

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації

«На правах рукопису»
УДК 621.039.58+004.89

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 20__ р

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані технології
та системи навігації і керування»**

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

на тему: «Автономний пристрій визначення радіаційного фону»

Виконала:

студентка VI курсу, групи ПГ-91мп
Фесенко Вероніка Ігорівна

Науковий керівник:

Доцент каф. ПСОН, к.т.н., доц.,
Павловський Олексій Михайлович

Консультант з розробки стартапу:

Доцент каф. менеджменту, д.е.н., доц.,
Бояринова Катерина Олександрівна

Рецензент:

Доцент каф. ПБ, к.т.н., доц.,
Андрєєва Олена Вікторівна

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студентка

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-професійна програма - Комп'ютерно - інтегровані технології та системи навігації і керування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«___» _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Фесенко Вероніці Ігорівні

1. Тема дисертації «Автономний пристрій визначення радіаційного фону», науковий керівник дисертації Павловський Олексій Михайлович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження Середовище з радіаційним полем.
4. Предмет дослідження Модифікація існуючих алгоритмів та методів виявлення радіації.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити
 - 1) Огляд видів радіаційного випромінювання та існуючих систем контролю радіації;
 - 2) Огляд існуючих алгоритмів виявлення радіації;
 - 3) Розробка алгоритму для виявлення радіації на базі нейронної мережі
 - 4) Створення макетного зразку приладу радіаційного контролю із запропонованим алгоритмом;
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Ілюстративні матеріали, що розкривають суть дослідження
7. Орієнтовний перелік публікацій 2 матеріали науково-технічних конференцій у наукових збірниках

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	доц. Бояринова К. О.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент

(підпис)

Вероніка ФЕСЕНКО
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Олексій ПАВЛОВСЬКИЙ
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація за темою «Автономний пристрій визначення радіаційного фону» містить: 45 ілюстрацій, 31 таблиця, 2 додатки, 56 джерел.

В даній роботі розглядається аналіз існуючих пристроїв та алгоритмів радіаційного контролю, їх недоліки і переваги та розробка апаратно-програмного засобу для виявлення радіації з використанням сучасних мікроконтролерів.

Технології постійно змінюються та все більше впливають на діяльність людини. Проте не завжди діяльність людини приносить користь. Після аварії на Чорнобильській атомній електростанції питання радіаційної безпеки для України значно загострилось. Оскільки після вибуху четвертого блоку ядерного реактору у повітрі опинилось близько 7,4 тон радіоактивних речовин.

Повітря в чорнобильській зоні забруднено великою кількістю ізотопів, що будуть повільно вбивати природу й усе навколо ще майже 270 років. Нині визначення дози радіації не є проблемою, оскільки на ринку існує безліч пристроїв, що працюють у режимі спектрометрів, детекторів, дозиметрів, сигналізаторів і тощо.

Чуттєвими елементами даних дозиметрів є або лічильник Гейгера-Мюллера, або сцинтиляційний кристал. Дозиметри на базі лічильників Гейгера-Мюллера частіше за все реєструють гамма-випромінювання, а дозиметри на базі сцинтиляційних кристалів знімають енергію спектрів випромінювання. Проте, якими б не були чуттєві елементи та алгоритми роботи дозиметрів, всі вони надійно виконують поставлене завдання — виявлення радіоактивного випромінювання.

Зменшення габаритів пристрою без втрати його експлуатаційних характеристик стає досить актуальною темою в сфері радіаційного контролю. Оскільки зменшення габаритів дозволить завжди мати при собі пристрій для радіаційного контролю та у будь-який момент часу переконатись, що поблизу немає небезпечних радіоактивних речовин.

Метою дисертаційного дослідження є розробка автономної системи вимірювання радіації з використанням сучасних мікроконтролерів.

Для досягнення цієї мети необхідно було сформулювати і вирішити наступні завдання:

- Зменшення габаритів дозиметру за рахунок використання мікроконтролерних систем;
- Формалізація методів вимірювання радіації, входних впливів та характеристик середовища;
- Аналіз існуючих алгоритмів та методів виявлення радіації;
- Розробка алгоритму виявлення радіації;
- Підвищення точності вимірювальних значень;
- Порівняння отриманих значень з нормальними значеннями;

Об'єктом дослідження є середовище з радіаційним полем.

Предметом дослідження є модифікація існуючих алгоритмів та методів виявлення радіації.

Методи дослідження базуються на використанні нейронних мереж у алгоритмі для виявлення радіації.

Наукова новизна полягає у підвищенні точності виявлення джерел радіації, за рахунок модифікації існуючих алгоритмів нейронною мережею.

Практичне значення одержаних результатів: розроблено алгоритм, що компенсує недоліки існуючих алгоритмів для виявлення радіації

Апробація результатів дисертації:

Результати магістерської дисертації були оприлюднені на XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування» (Київ, 2020 р.) та XVI Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні» (Київ, 2020 р.)

Публікації:

1. Фесенко В. І., Павловський О. М. Огляд сучасних систем радіаційного контролю XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 177-180

2. Фесенко В. І., Павловський О. М. Огляд сучасних алгоритмів радіаційного контролю / В. І. Фесенко, О. М. Павловський. // XVI Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 р., м. Київ, Україні : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 407-410.

Ключові слова: гамма-випромінювання, трубки Гейгера-Мюллера, нейронна мережа, функція активації, дозиметр, радіаційний фон, Arduino Uno.

ABSTRACT

The master's dissertation on the topic «Autonomous device for determining the background radiation» contains 45 illustrations, 31 tables, 2 appendices, 56 sources.

This paper considers the analysis of existing devices and algorithms for radiation control, their disadvantages, and advantages, and the development of hardware and software for radiation detection using modern microcontrollers.

Technologies are constantly changing and increasingly affect human activities. However, human activity is not always beneficial. After the accident at the Chernobyl nuclear power plant, the issue of radiation safety for Ukraine has become much more acute. Because after the explosion of the fourth unit of the nuclear reactor, about 7.4 tons of radioactive substances were in the air.

The air in the Chernobyl zone is polluted with a large number of isotopes that will slowly kill nature and everything around for almost 270 years. Nowadays, determining the radiation dose is not a problem, because many devices on the market operate in the mode of spectrometers, detectors, dosimeters, alarms, and so on.

The sensory elements of these dosimeters are either a Geiger-Mueller counter or a scintillation crystal. Dosimeters based on Geiger-Mueller counters most often record gamma radiation, and dosimeters based on scintillation crystals capture the energy of the radiation spectra. However, no matter what the sensory elements and algorithms of the dosimeters, they all reliably perform the task - the detection of radioactive radiation.

Reducing the size of the device without losing its performance becomes a very important topic in the field of radiation control. Because the reduction of dimensions will allow you to always have a device for radiation monitoring and at any time to make sure that there are no dangerous radioactive substances nearby.

The aim of the study research is to develop an autonomous system for measuring radiation using modern microcontrollers.

To achieve this goal, it was necessary to formulate and solve the following tasks:

- Reducing the dimensions of the dosimeter through the use of microcontroller systems;
- Formalization of methods for measuring radiation, input effects, and environmental characteristics;
- Analysis of existing algorithms and methods for radiation detection;
- Development of a radiation detection algorithm;
- Improving the accuracy of measured values;
- Comparison of the obtained values with normal values;

The object of study is a medium with a radiation field.

The subject of the study is the modification of existing algorithms and methods of radiation detection.

Methods of research are based on the use of neural networks in the algorithm for radiation detection.

The scientific novelty is to increase the accuracy of the detection of radiation sources by modifying existing algorithms by a neural network.

The practical significance of the obtained results: an algorithm has been developed that compensates for the shortcomings of existing algorithms for radiation detection

Approbation of dissertation results:

The results of the master's dissertation were published at the XIII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists «Look into the future of instrument making» (Kyiv, 2020) and XVI scientific-practical conferences of students, graduate students and young scientists «Efficiency and automation of engineering solutions in instrument making» (Kyiv, 2020).

Publications:

1. Fesenko V., Pavlovsky O. Review of modern radiation control systems XIII / V. Fesenko, O. Pavlovsky. // All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists «Look into the future of

instrumentation», May 13-14, 2020, Kyiv, Ukraine: a collection of works / KPI them. Igor Sikorsky, PBF. Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2020. P. 177-180

2. Fesenko V, Pavlovsky O. Review of modern algorithms for radiation control / V. Fesenko, O. Pavlovsky. // XVI Scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists «Efficiency and automation of engineering solutions in instrument making», December 08-09, 2020, Kyiv, Ukraine: a collection of works / KPI. Igor Sikorsky, PBF. Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2020. P. 407-410.

Keywords: gamma radiation, Geiger-Mueller tubes, neural network, activation function, dosimeter, background radiation, Arduino Uno.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	12
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЇ.....	15
1.1 Види радіаційного випромінювання	15
1.1.1 Радіаційний фон	15
1.1.2 Альфа-випромінювання	17
1.1.3 Бета-випромінювання	18
1.1.4 Гамма-випромінювання	19
1.1.5 Рентгенівське випромінювання	19
1.1.6 Нейтронне випромінювання	20
1.2 Огляд існуючих пристроїв для виявлення радіації	21
1.2.1 Радіометр з Glonass приймачем	23
1.2.2 Atom Fast КБ «Радар»	26
1.2.3 Smart Geiger PRO	27
1.2.4 СИГ-PM1208M	28
1.2.5 Спектрометр «Exploranium GR-130»	28
1.2.6 Побутові дозиметри-індикатори	29
1.2.7 Сигналізатори	30
1.3 Порівняння існуючих систем контролю радіації	31
1.4 Огляд раніше виконаних робіт за напрямком дослідження	33
1.5 Мета і задачі наукових досліджень	36
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ВИБІР МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ РАДІАЦІЇ	37
2.1 Огляд існуючих алгоритмів виявлення радіації	37
2.1.1 Метод широкозонного напівпровідникового детектору	37
2.1.2 Вимірювання рівня радіації з використанням багатоканального спектрометру	39
2.1.3 Диференційний алгебраїчний метод та його модифікація	41
2.1.4 Метод вимірювання потужності дози радіоактивного джерела	43
2.2 Порівняння існуючих алгоритмів виявлення радіації	45
2.3 Розробка алгоритму виявлення радіації	46

2.3.1 Обґрунтування вибору технологій для створення алгоритму ...	46
2.3.2 Опис розробленого алгоритму.....	51
Висновки до розділу	62
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МАКЕТНОГО ЗРАЗКУ ТА ЙОГО ТЕСТУВАННЯ	64
3.1 Розробка макетного зразку.....	64
3.1.1 Технічні характеристики апаратної платформи Arduino Uno .	64
3.1.2 Технічні характеристики модуля зарядки TP4056.....	65
3.1.3 Технічні характеристики перетворювача напруг MT3608	66
3.1.4 Характеристики модулю Wi-Fi Esp-01	67
3.1.5 Технічні характеристики перетворювача напруг лічильника Гейгера-Мюллера	68
3.1.6 Технічні характеристики трубок Гейгера-Мюллера.....	69
3.1.7 Технічні характеристики транзистору 2N3904	70
3.2 Основні етапи створення макету	70
3.3 Тестування макетного зразку та розробленого алгоритму	73
Висновки до розділу	81
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	83
4.1 Розробка стартап-проекту «RadioInstant».....	83
4.2 Опис ідеї.....	83
4.3 Технологічний аудит ідеї проекту.....	86
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	87
4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту	95
4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	98
Висновки до розділу	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	105
ДОДАТОК А.....	112
ДОДАТОК Б	116

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АЕС	—	Атомна електростанція
ЧІФП	—	Число-імпульсні функціональні перетворювачі
ШНМ	—	Штучна нейронна мережа
FNN	—	Fully-connected neural networks
CNN	—	Convolutional neural network
RNN	—	Recurrent neural networks
MSE	—	Mean Squared Error
CE	—	Cross-Entropy

ВСТУП

В сучасному світі питання радіаційної безпеки все гостріше постає перед мешканцями Землі. Своєю діяльністю люди все частіше призводять до викидів великої кількості радіаційних речовин у повітря. Яскравим тому прикладом є Аварія на Чорнобильській атомній електростанції (АЕС) та на АЕС Фукусіма-1, наслідки цих аварій ще багато років будуть завдавати шкоди та небезпеки мешканцям Землі. Наприклад, з моменту аварії на Чорнобилі вже пройшло 34 роки, а рівень радіації в чорнобильський зоні досі завищений і Чорнобиль став зоною відчуження.

Проте, не лише аварії на АЕС впливають на радіаційний фон. Космічному випромінюванню піддається уся поверхня Землі, а деякі породи та мінерали в Земній корі випромінюють радіонукліди, що в значній мірі впливає на рівень радіації.

Окрім цього, кожного року будь-який мешканець Землі проходить медичні обстеження та отримує дозу випромінювання 140 мбер/рік. Літаючи у літаках за рік можна отримати дози випромінювання до 0,5 мбер/рік. Продовжувати список джерел випромінювання можна нескінченно довго, оскільки упродовж всього свого життя людина постійно стикається з джерелами випромінювання, навіть не підозрюючи про це. Тому питання радіаційної безпеки стає все важливішим у житті кожного мешканця планети.

Нині існує безліч систем радіаційного контролю [1]. Детектори на основі трубок Гейгера-Мюллера реєструють бета- та гамма-випромінювання, а детектори на основі сцинтиляторів реєструють енергію альфа-, бета- та гамма-частинок [1]. Проте використання пристроїв радіаційного контролю потребує зменшення габаритів пристроїв, без втрат їх експлуатаційних характеристик.

Головною ознакою гарного дозиметричного пристрою є висока точність роботи його алгоритму та головним недоліком більшості дозиметрів на ринку є його велика ціна.

Використання мікропроцесорних систем для розробки дозиметричного пристрою дає ряд переваг, в порівнянні з аналогічними пристроями на ринку.

Метою дисертаційного дослідження є розробка автономної системи вимірювання радіації з використанням сучасних мікроконтролерів.

Для досягнення цієї мети необхідно було сформулювати і вирішити наступні завдання:

- Зменшення габаритів дозиметру за рахунок використання мікроконтролерних систем;
- Формалізація методів вимірювання радіації, вхідних впливів та характеристик середовища;
- Аналіз існуючих алгоритмів та методів виявлення радіації;
- Розробка алгоритму виявлення радіації;
- Підвищення точності вимірювальних значень;
- Порівняння отриманих значень з нормальними значеннями;

Об'єктом дослідження є середовище з радіаційним полем.

Предметом дослідження є модифікація існуючих алгоритмів та методів виявлення радіації.

Методи дослідження базуються на використанні нейронних мереж у алгоритмі для виявлення радіації.

Наукова новизна полягає у підвищенні точності виявлення джерел радіації, за рахунок модифікації існуючих алгоритмів нейронною мережею.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЇ

1.1 Види радіаційного випромінювання

1.1.1 Радіаційний фон

Радіаційний фон – це радіоактивне випромінювання низького рівня, джерелом якого є космічні промені і радіоактивні речовини, які в природних умовах містяться в недрах Землі та атмосфері в незначних кількостях. З початку 19 століття радіаційний фон Землі зріс на 10% та нині продовжує зростати. Причиною такого стрімкого збільшення радіаційного фону стало добування корисних копалин з недр Землі, що містять в своєму складі мінерали, у складі яких є радіоактивні ізотопи. Також, при спалюванні енергетичних ресурсів в атмосферу потрапляю певна кількість радіоактивних ізотопів.

З середини 20 століття відбулась низка наукових відкриттів та досліджень у сфері радіоактивного випромінювання. Наприклад, англійський фізик Е. Резерфорд, який започаткував основи вчення про радіоактивність, відомий як «батько ядерної фізики», і французький фізик П. Війяр у 1898–99 рр. установили, що випромінювання яке випускається радіоактивними елементами, складається з позитивно заряджених ядер атомів гелію (α -промені), негативно заряджених електронів (β -промені) і електромагнітних хвиль дуже високої частоти й великої енергії (γ – променів).

Усі ці випромінювання є іонізуючими. Іонізуюче випромінювання - це будь-яке випромінювання, взаємодія якого із середовищем призводить до утворення електричних зарядів різних знаків. Було відкрито такі елементи: уран, радон, актиній, торій, плутоній та інші. Виявлено радіоактивність ізотопу калію, елемента, який у великих кількостях знаходиться у всіх клітинах живих організмів [2].

Основними видами радіації є: α -, β -, γ - випромінювання, рентгенівські промені, нейтрони. Подібність їх полягає в тому, що всі вони відрізняються високою енергією, мають властивість іонізувати середовище

й руйнувати біологічні об'єкти. Особливості різних видів випромінювання радіоактивними речовинами вивчалися за відхиленням цих променів у електричному та магнітному полях [2]. Промені, які відхилялися від негативно зарядженої частинки умовно назвали α -променями; ті, що відхилялися від позитивно зарядженої пластинки — β -промені, а промені, які зовсім не відхилялися — γ -променями (рис. 1.1).

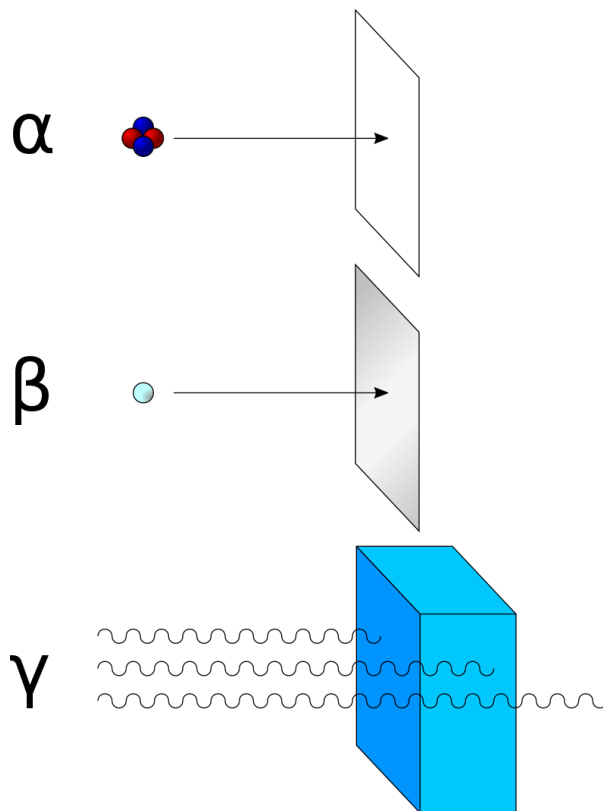


Рис. 1.1 — Проникна спроможність альфа, бета та гама випромінювання α -частинки зупиняються аркушем паперу, тоді як β -частинки зупиняються до олов'яної фольги. γ -випромінювання згасає, коли воно проникає в речовину. γ -промені можна зупинити з 4 метрів свинцю. Вольфрам і вольфрамові сплави можуть зупинити γ -випромінювання з набагато меншою масою, ніж свинець [3].

Випромінювання характеризуються за своєю іонізуючою й проникною спроможностями (табл. 1.1). Спроможна здатність випромінювання визначається шляхом, пройденим частинкою в речовині до її повного зникнення. Різні види випромінювання супроводжуються

вивільненням різної кількості енергії, що має різну проникаючу здатність, тому вони здійснюють неоднаковий вплив на тканини живого організму [3].

Таблиця 1.1.

Характеристика α -, β -, γ - випромінювань за іонізуючою й проникною спроможностями

Типи випромінювання	Склад випромінювання	Іонізуюча спроможність	Проникна спроможність
α -випромінювання	Іони гелію	Дуже висока	Низька
β -випромінювання	Електрони	Значно висока	Висока
γ -випромінювання	Електромагнітне випромінювання	Значно низька	Дуже висока

1.1.2 Альфа-випромінювання

Альфа-випромінювання (α -випромінювання) – іонізуюче випромінювання, яке являє собою потік відносно важких частинок (ядр гелію, що складаються з двох протонів і двох нейтронів), що випускаються при ядерних перетвореннях. Кожна альфа-частинка складається з 2 нейтронів і 2 протонів, тобто є ядром атома гелію ${}^4\text{He}^{2+}$.

Енергія частинок складає декілька мегаелектрон-вольт і різна для різних радіонуклідів. При цьому деякі радіонукліди випускають α -частинки кількох енергій [4].

Цей вид випромінювання, маючи малу довжину пробігу частинок, характеризується слабкою проникаючою здатністю, затримуючись навіть листком паперу. Наприклад, пробіг α -частинок з енергією 4 MeV в повітрі складає 2,5 см, а в біологічній тканині лише 31 мкм. Випромінювання практично не спроможне проникнути через зовнішній шар шкіри, утворений відмерлими клітинами. Тому α -випромінювання не небезпечно до тих пір, поки радіоактивні речовини, що випускають α -частинки, не потраплять всередину організму через органи дихання, травлення або через відкриті рани і опікові поверхні. Ступінь небезпеки радіоактивної речовини залежить від енергії частинок, які нею випускаються. Оскільки

енергія одного атома складає одиниці-десятки електрон-вольт, кожна α -частинка здатна іонізувати до 100000 молекул усередині організму [3].

Фізичні властивості [3]:

- Альфа частинка є сферично-симетричним об'єктом, має радіус приблизно 2×10^{-13} сантиметрів і заряд +2.
- Маса альфа-частинки складає 3,727 ГеВ, що відповідає 4,0015 а.о.м. або $6,645 \times 10^{-27}$ кілограмів.
- Для розділення альфа-частинки на складові, потрібно витратити 28,3 МеВ (7,08 МеВ на нуклон), тобто альфа-частинка є дуже сильно зв'язаною й стабільною.
- Спін і магнітний момент альфа-частинки дорівнює нулю, тобто альфа-частинка належить до бозонів.

1.1.3 Бета-випромінювання

Бета-випромінювання – потік β -частинок (електронів і позитронів), які мають більшу проникаючу здатність в порівнянні з β -випромінюванням. Частки, які випускаються, мають безперервний енергетичний спектр, розподіляючись за енергією від нуля до певного максимального значення, характерного для даного радіонукліда. Максимальна енергія β -спектру різних радіонуклідів лежить в інтервалі від декількох кеВ до декількох МеВ [4].

Пробіг β -часток в повітрі може досягати декількох метрів, а в біологічній тканині декількох сантиметрів. Так, пробіг електронів з енергією 4 МеВ в повітрі складає 17,8 м, а в біологічній тканині 2,6 см. Однак вони легко затримуються тонким листом металу. Як і джерела α -випромінювання, β -активні радіонукліди більш небезпечні при попаданні всередину організму.

Існує кілька типів бета-розпаду, і, відповідно, кілька типів бета-частинок, що при цьому утворюються [5]:

- β - частинка — електрон. Утворюється при розпаді нейтрона за схемою $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$, де n — нейтрон, p^+ — протон, e^- —

електрон, $\bar{\nu}$ — антинейтрино. За такою схемою розпадаються як вільні нейтрони, так і багато природних ізотопів, що мають надлишок нейтронів.

- β^+ частинка — позитрон. Утворюється при розпаді протона за схемою $p^+ \rightarrow n + e^- + \nu$. За цією схемою розпадаються протононадлишкові ядра.

1.1.4 Гамма-випромінювання

Гамма-випромінювання має внутрішньоядерне походження і являє собою досить жорстке електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 10^{-8} – 10^{-11} нм. Енергія кванта γ -випромінювання E пов'язана з довжиною хвилі співвідношенням $E = \frac{1230}{\lambda}$ де λ виражена в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) [6].

Поширюючись зі швидкістю світла, γ -промені мають високу проникаючу здатність, значно більшу, ніж α - і β -частинки. Їх може затримати лише товста свинцева або бетонна плита. Чим вище енергія γ -випромінювання і відповідно менше довжина його хвилі, тим вище проникаюча здатність. Зазвичай енергія гамма-квантів лежить в діапазоні від декількох кеВ до декількох МеВ [7].

1.1.5 Рентгенівське випромінювання

Рентгенівське проміння — короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 10 нм до 0.01 нм. В електромагнітному спектрі діапазон частот рентгенівського випромінювання лежить між ультрафіолетом та гамма-променями [3].

Рентгенівське випромінювання виникає від різкого гальмування руху швидких електронів у речовині, при енергетичних переходах внутрішніх електронів атома. Воно використовується у науці, техніці, медицині. Рентгенівське випромінювання змінює деякі характеристики гірських порід, наприклад, підвищує їх електропровідність. Короткочасне опромінення кристалів кам'яної солі знижує їхнє внутрішнє тертя.

Рентгенівське випромінювання використовуються для флюорографії, рентгенофлуоресцентного аналізу і в кристалографії для визначення атомної структури кристалів. Методи дослідження речовини за допомогою рентгенівських променів об'єднує термін рентгенівська спектроскопія.

На відміну від γ -випромінювання рентгенівське має атомне походження, Воно утворюється в збуджених атомах при переході електронів з віддалених орбіт на ближчу до ядра орбіту або виникає при гальмуванні заряджених часток в речовині. Відповідно перше має дискретний енергетичний спектр і називається характеристичним, друге – безперервний спектр і називається гальмівним. Незважаючи на різне походження цих випромінювань, природа їх однакова, і тому рентгенівське і γ -випромінювання називають фотонним випромінюванням. Під дією фотонного випромінювання відбувається опромінення всього організму. Воно є основним фактором ураження при впливі на організм випромінювання від зовнішніх джерел [3].

1.1.6 Нейтронне випромінювання

Нейтронне випромінювання — вид корпускулярного випромінювання, що представляє собою потік вільних нейтронів. Вільні нейтрони виникають під час ядерних реакцій, наприклад, під час поділу ядер урану чи плутонію. Таке випромінювання виникає, зокрема, під час роботи прискорювачів заряджених частинок і реакторів, які утворюють потужні потоки теплових та швидких нейтронів [7].

Оскільки нейтрони є електронеутральними частинками, нейтронне випромінювання має велику проникну здатність [8]. Однією з особливостей нейтронного випромінювання є здатність перетворювати атоми стабільних елементів у їх радіоактивні ізотопи, що різко підвищує небезпеку нейтронного опромінення

1.2 Огляд існуючих пристроїв для виявлення радіації

З роками атомна енергетика все більше і більше використовується у виробництві енергії. Багато країн світу починають розвиватись у цій галузі. Україна та Франція є світовими лідерами у атомній енергетиці та мають наміри розширяти співробітництво у цій галузі.

Використання атомної енергетики має як свої переваги, так і недоліки. Основним недоліком атомної енергетики є складність утилізації радіоактивних відходів і небезпека аварій. Також однією з проблем атомної енергетики України є те, що система українських атомних електростанцій орієнтована на реактори, що були розроблені та виготовлені в СРСР. Оскільки цим реакторам понад тридцять років це знижує продуктивність станцій, в межах відповідних норм безпеки.

Однак проблеми атомної енергетики існують і не можуть стосуватися тільки однієї держави або групи людей. Це справа всього людства і вирішувати його треба спільно. Головною проблемою ядерної енергетики в світі є наслідки аварій на атомних електростанціях. Варто згадати лише аварію на японській АЕС під час цунамі чи аварію на Чорнобильській АЕС. Наприклад, в результаті вибуху четвертого блоку ЧАЕС в навколишнє середовище потрапило близько 7,4 тони радіоактивної речовини. В перші тижні аварії на Чорнобилі основну небезпеку становило гамма-випромінювання і наявність ізотопу йоду-131 в атмосфері. Окрім йоду-131 в повітрі були й інші радіоактивні ізотопи, такі як барій-140, цезій-137, рутеній-103 та інші.

Незважаючи на те що з моменту аварій на Чорнобилі чи на японській АЕС пройшло вже багато років, проте наслідки даних аварій помітні й досі. Наприклад, в місті Прип'ять дотепер високий рівень радіаційного забруднення повітря. Більша частина чорнобильської зони забруднена радіоактивним цезієм, стронцієм та плутонієм. Повний розпад плутонія настане через 23000 років, також територія навколо ЧАЕС забруднена трансурановими елементами, період напіврозпаду яких становить близько

300 років тому визначення кількості радіації є важливим. Побудований над четвертим реактором енергоблок має тріщини, тому реактор досі випромінює незначну радіацію, тому визначення кількості радіації є важливим фактором.

Так як поширюючись зі швидкістю світла, γ -промені мають найвищу проникну здатність, що значно більшу, ніж α - і β -частинки, то вимірювання даного випромінювання є актуальною задачею.

Існує два типи детекторів гамма випромінювання: на основі лічильників Гейгера-Мюллера [9] і кристалічні детектори на основі сцинтиляторів [10]. Кожен з цих детекторів має переваги і недоліки. До недоліків детекторів на основі лічильників Гейгера-Мюллера можна віднести те, що вони реєструють лише бета- і гамма-частинки, тобто вони не здатні реєструвати альфа-частинки.

Детектори на основі сцинтиляційних кристалів реєструють енергію альфа- бета- і гамма-частинки, проте дані детектори значно дорожчі за детектори на основі лічильників Гейгера-Мюллера, мають достатньо великі габарити. При зменшенні габаритів, як правило, суттєво зменшується і чутливість таких сцинтиляторів.

Нині існують безліч систем радіоактивного контролю, що базуються як на лічильниках Гейгера-Мюллера, так і сцинтиляційному кристалі, а використання сучасних мікроконтролерів, зменшує вартість і габарити таких пристроїв, а також дозволяє додати функції бездротової передачі даних, позиціонування та ін.

Для розгляду було обрано наступні існуючі пристрої радіоактивного контролю: «Вимірювач радіоактивності (радіометр) з Глонасс приймачем і передачею даних по Wi-Fi» Сергія Дронського, «Кишеньковий дозиметр нового покоління Atom Fast», Інтелектуальний дозиметр «Smart Geiger PRO» спектрометр «Exploranium GR-130», годинник-дозиметр «СИГ-PM1208M», дозиметр-індикатор «Radex РД1706» та сигналізатори «Terra-P» та «Terra».

1.2.1 Радіометр з Glonass приймачем

Більш детально розглянемо «Вимірювач радіоактивності (радіометр) з Glonass приймачем і передачею даних по Wi-Fi» [11], що показано на рис.

1.2 Зовнішній вигляд радіометра представлено на рис. 1.2. Даний радіометр побудований на основі лічильників Гейгера-Мюллера БЕТА-2 [12], який чутливий до бета-випромінювання. Принцип роботи даного датчика полягає у іонізації газу в камері при польоті зарядженої частинки і подальшому лавинному пробої, що реєструється мікроконтролером. Датчику після гасіння розряду необхідно деякий час для відновлення чутливості. Даний час називається «мертвим часом». Для БЕТА-2 значення «мертвого часу» становить як мінімум 140 мкс, а перерахунок в частоту становить максимальну частоту імпульсів від датчика в районі 8 кГц.



Рис. 1.2 — Зовнішній вигляд радіометра

Існують два методи знімання даних з лічильника Гейгера-Мюллера. Перший - послідовно з анодом ставиться резистор в районі 10 МОм і негативний імпульс через конденсатор з ємністю 1 пФ і робочою напругою близько 500 В подається на схеми реєстрації. Імпульс придатний для прямого управління КМОП входом мікросхеми.

Другий - резистор ставиться в ланцюзі катода і на ньому виробляється позитивний імпульс, що подається на базу транзистора. При такому включенні не потрібно високовольтного конденсатора, оскільки великий катод оточує анод і грає роль екрану для анода. В своїй роботі

автор вибрав другий метод, оскільки таке включення зменшує перешкоди і число помилкових спрацьовувань [11].

Сигнали з датчиків через формуючі захисні ланцюги можна подавати напряму на входи мікроконтролера. В якості обчислювального ядра радіометру було вибрано платформу Arduino Nano. Автор додав додатковий формуючий елемент на здвоєному одновібраторі 564ФГ1. Дані одновібратори формують імпульси, для подачі на світлодіод, довжиною у 50 мкс та 2,5 мс відповідно. Світлодіод виступає індикатором радіоактивного випромінювання, та є резервною схемою сповіщення, при виході основного мікроконтролера з ладу.

Алгоритм перерахунку числа накопичених імпульсів за певний час заснований на паспортної характеристиці лічильника: Чутливість до 60 Со імп/мкР: $160 \div 240$.

Тобто для розрахунку мкР/год треба знати число імпульсів, часовий інтервал і чутливість лічильника. Формула розрахунку для чутливості 200 виглядає так:

$$R = \frac{N}{\Delta T} \quad (1.1)$$

де N - число імпульсів за інтервал ΔT в секундах, а R - поточне значення радіації в мкР/год.

Також автор розробив адаптивний алгоритм вимірювання. Для цього в процесі рахунку імпульсів постійно перевіряється вміст лічильника, і якщо число імпульсів більше ніж 100, що відповідає підвищеному фону, лічильник скидається і виводиться відповідний сигнал на екран. Якщо перевищення немає, то вимірювання продовжується виборками по 120 секунд, після чого показання виводяться на вбудований дисплей та передаються у зовнішні системи наприклад на ПК, що показано на рис. 1.3.

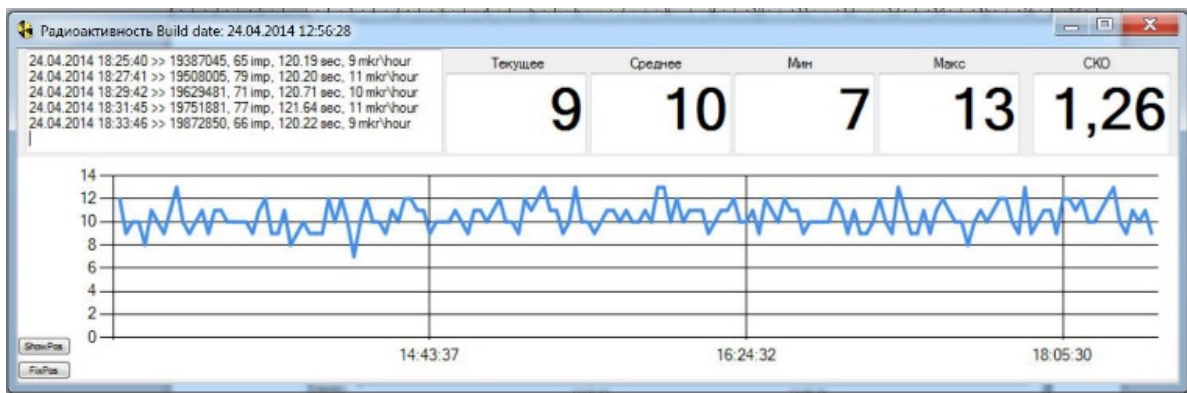


Рис. 1.3 — Результат роботи дозиметра при вимірюванні фонових значень

Якщо ж обстановка різко змінюється - рахунок закінчується значно раніше і показання як вбудованого дисплея, так і зовнішнього приймача оновлюються значно швидше. Уставка для імпульсів «100» вибрана з спостереження за вимірами фону, за 2 хвилини число імпульсів зазвичай знаходиться в діапазоні 50-80. При вимірюванні активності компаса цикл рахунку становить близько 10 секунд, що показано на рис. 1.4.

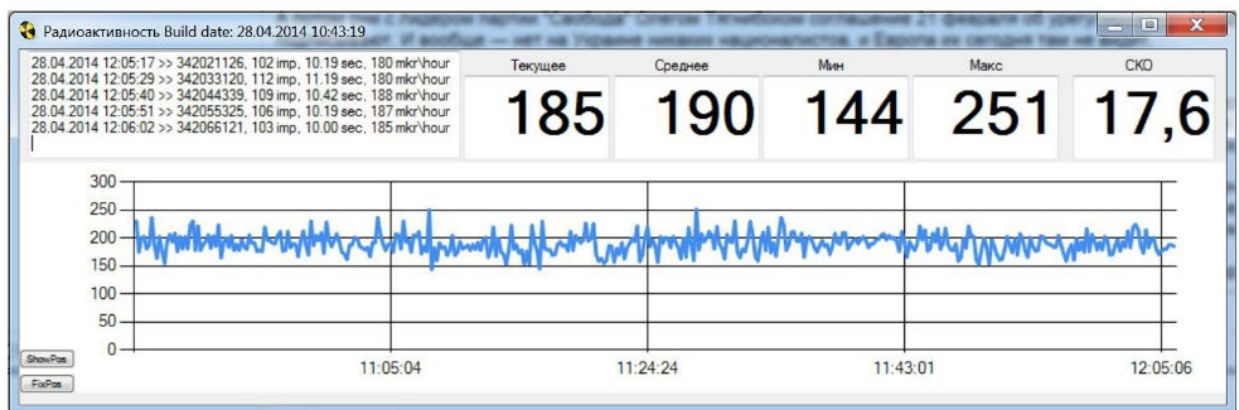


Рис. 1.4 — Результат роботи дозиметра при вимірюванні радіоактивності старого компаса

Для живлення лічильника Гейгера-Мюллера потрібно джерело стабільного напруги 400 В, тому у даній роботі автор скористався готовим перетворювачем PN3-400-0.1М.

Із сучасних функцій, розробка має Wi-Fi, що дозволяє приєднуватись до бездротової мережі і передавати отримані дані, та модуль Глонасс для позиціонування.

Недоліками радіометру є:

- Тривалість обробки результатів;
- Завдяки Глонасс модулю радіометр отримує покази лише з Глонасс сузір'я;
- Радіометр реєструє лише бета- та гамма-частинки.

1.2.2 Atom Fast КБ «Радар»

У якості детектора використано сцинтиляційний кристал, що запаковано у непрозору фольгу та підключено до твердотільного фотопомножувача. Дозиметр Atom Fast за формою корпусу нагадує кишеньковий ліхтарик (рис. 1.5), що зручно у якості індивідуального дозиметра [13]. Дані передаються через Bluetooth LE, час роботи в такому режимі близько двох місяців. Крім Bluetooth, в дозиметрі є і вбудований зумер, що дозволяє використовувати його автономно і подає сигнали у разі небезпеки.



Рис. 1.5 — Кишеньковий дозиметр Atom Fast

Розроблене програмне забезпечення для Android-смартфонів дозволяє зберігати в архів всі вимірювання, також у програмі є карта на яку накладаються виміряні покази дозиметру, що показана на рис. 1.6. Якщо поблизу спостерігається збільшення радіаційного фону, то на смартфон приходить оповіщення. Через мобільний додаток можна налаштувати пороги спрацьовування дозиметру.

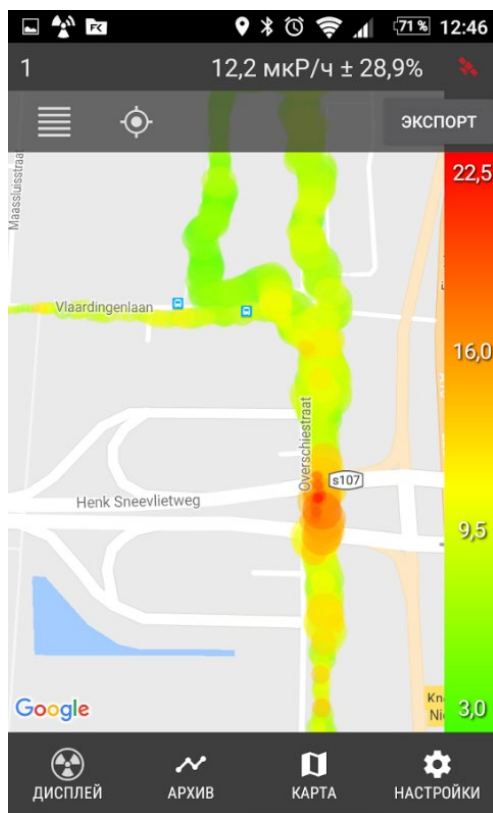


Рис. 1.6 — Карта з показами Atom Fast

Недоліки Atom Fast [13]:

- Велика ціна;
- На самому дозиметрі немає екрана, тобто переглядати покази можна лише зі смартфона;
- Даний пристрій реєструє лише гамма-випромінювання.

1.2.3 *Smart Geiger PRO*

На рис. 1.7 показано вигляд інтелектуального дозиметра Smart Geiger PRO [13]. Даний дозиметр підключається до смартфона через аудіо роз'єм 3.5мм, та сумісний як з Apple так і з Android.



Рис. 1.7 — Інтелектуальний дозиметр Smart Geiger PRO

В табл. 1.2 наведено технічні характеристики дозиметру.

Технічні характеристики Smart Geiger PRO

<i>Вимірювані типи випромінювання</i>	<i>Гамма-випромінювання, рентгенівське випромінювання</i>
Діапазон вимірювання	0,05~200 мкЗв/год
Точність вимірювання	<±15% (0.1~200 мкЗв/год)
Тип датчику	напівпровідниковий
Матеріал корпусу	пластик
Лінійність	98% при 30~70% мкЗв/год

Недоліками даної системи є не дуже висока точність вимірювання та неможливість вимірювати бета-випромінювання.

1.2.4 СИГ-PM1208M

Ще один дозиметр для індивідуального користування, виконаний у форм факторі наручного годинника «СИГ-PM1208M» [15] і показаний на рис. 1.8. Використовують у якості ЧЕ лічильник Гейгера-Мюллера, дозволяє зберігати до 500 значень вимірів у енергонезалежній пам'яті та обмінюватись інформацією через вбудований ІЧ порт із ПК. Недоліком такого дозиметру є його низька чутливість, необхідність заміни елементу живлення та висока вартість [14].



Рис. 1.8 — Годинник-дозиметр «СИГ-PM1208M»

1.2.5 Спектрометр «Exploranium GR-130»

Один із найбільш поширених сучасних систем радіаційного контролю - спектрометр «Exploranium GR-130» (рис. 1.9). Даний пристрій працює в режимі радіометру, гамма-спектрометру та ідентифікатора ізотопів [16]. Спектр ізотопів, що ідентифікує Exploranium GR-130 доволі великий: Am-241, Cs-137, Co-57, K-40, Ir-192, Ra-226 та Th-232. Спектрометр має можливість дротового підключення до ПК, а програмне

забезпечення «Specview», що входить в комплект приладу дозволяє оброблювати отримані сигнали, будувати спектри випромінювання та архівувати отримані дані на жорсткому диску. Портативний спектрометр GR-130 у якості ЧЕ використовує сцинтиляційний детектор йодиду натрію та додатковий трубчастий детектор Гейгера-Мюллера. Отже, даний спектрометр GR-130 поєднує в собі функції чутливого лічильника Гейгера і багатоканального аналізатора.



Рис. 1.9 — Exploranium GR-130

Exploranium GR-130 дозволяє не тільки визначити потужність випромінювання радіоактивного джерела, але й ідентифікувати природу випромінювання за допомогою вбудованих бібліотек нуклідів і програмного забезпечення для аналізу. Додаткова трубка Гейгера-Мюллера розширює дальність дії приладу, дозволяючи значно збільшити швидкість аналізу [16]. До недоліків даного пристрою відносять його високу ціну.

1.2.6 Побутові дозиметри-індикатори

У 90-хх роках минулого століття і початку 2000-хх на ринку з'явилася величезна кількість побутових дозиметрів-індикаторів. Таку потребу у пристроях для вимірювання радіаційного фону викликала аварія на ЧАЕС, тому дані асортимент даних дозиметрів-аналізаторів був великим. Проте, спільною рисою у всіх дозиметрів було використання одного лічильника типу СБМ-20, часто з вбудованим незнімним екраном, Таким приладом можна тільки визначити радіоактивний предмет і дуже приблизно оцінити рівень його радіоактивності. З розвитком техніки

сучасні індикатори стали більш досконалі. У них використовується мікропроцесорна схема обробки сигналу, більш економічний режим енергоспоживання, що дозволило значно збільшити час роботи від батареї і досягти більшої точності вимірювання. Прилад з двома лічильниками СБМ-20 буде працювати швидше і потребує менше часу для вимірювання. Ці дані вказуються в технічних характеристиках приладу. Іноді зустрічаються індикатори зі слюдяними датчиками типу СБТ-11, СБТ-9 або Бета вони так само вельми чутливі і хороші. Прикладом сучасного дозиметра-індикатора є Radex РД1706 [17] (рис. 1.10). Недоліком даного дозиметру є його висока вартість та можливість реєстрації лише гамма-випромінювання.



Рис. 1.10 — Radex РД1706

1.2.7 Сигналізатори

Наступною системою для вимірювання радіації є сигналізатори. Сигналізатори - це ті ж індикатори, але у них є одна корисна властивість - спрацьовування сигналізації при досягненні певного порогу фону. Найпоширеніший сигналізатор з цієї серії – Терра [17]. Існує 2 види Терри: Терра-П Терра (рис. 1.11). Терра-П недорога і цілком задовольняє основні потреби недосвідченого користувача. Ресурсу батареї в «сплячому» режимі вистачає приблизно на 1,5 року. Це практично рекорд серед сигналізаторів. Терра-П вимірює забрудненість середовища бетта-

радіонуклідами. Terra вважаються більш професійною, вони мають розширений функціонал, а саме: похибка вимірювань 12%, потужність вимірюваної дози становить 0,1-9999 мкЗв/год, є можливість вимірювання щільності потоку бета-частинок, має 5 каналів вимірювання та неперервно працює 6000 годин.



Рис. 1.11 — Terra-П та Terra

Terra хороший сигналізатор і індикатор і не більше. Як пошуковик вона занадто повільна, а як вимірювач – малочутлива [18].

1.3 Порівняння існуючих систем контролю радіації

Загалом у пристроях радіоактивного контролю: «Вимірювач радіоактивності (радіометр) з Глонасс приймачем і передачею даних по Wi-Fi» Сергія Дронського, «Кишеньковий дозиметр нового покоління Atom Fast», Інтелектуальний дозиметр «Smart Geiger PRO» спектрометр «Exploranium GR-130», годинник-дозиметр «СИГ-PM1208М», дозиметр-індикатор «Radex РД1706» та сигналізатори «Terra-P» та «Terra», що були розглянуті у аналізі вирішується задача вимірювання радіації, проте кожна з цих систем має певні недоліки, а саме висока ціна та тривалість вимірювання.

Оцінюючи параметричні похибки експлуатації проаналізованих пристроїв можна зробити аналіз, що показаний в Таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Аналіз розглянутих пристроїв вимірювання радіації

	Радіометр	Atom Fast	Smart Geiger PRO	Exploranium GR-130	СИГ-PM1208M	Radex РД1706	Terra-P та Terra
Вимірювані типи випромінювання	β-, γ-випромінювання	β-, випромінювання	γ- та рентгенівське випромінювання	γ-спектрометр та ідентифікатора ізотопів	β-випромінювання	γ-випромінювання	γ-випромінювання
Діапазон вимірювання	0,05~100 мкЗв/год	0,05~50 мкЗв/год	0,05~200 мкЗв/год	0,05~200 мкЗв/год	0,05~10 мкЗв/год	0,05~50 мкЗв/год	0,09~9999 мкЗв/год
Точність вимірювання	<±15%	<±25%	<±15%	<±15%	<±35%	<±15%	<±12%
Лінійність	80% при 30~70% мкЗв/год	70% при 30~70% мкЗв/год	98% при 30~70% мкЗв/год	98% при 30~70% мкЗв/год	50% при 30~70% мкЗв/год	80% при 30~70% мкЗв/год	89% при 30~70% мкЗв/год
Тип датчику	Лічильник Гейгера-Мюллера	Сцинтиляційний кристал	Напівпровідниковий	Лічильний Гейгера-Мюллера та сцинтиляційний кристал	Лічильник Гейгера-Мюллера	Лічильник Гейгера-Мюллера	Лічильник Гейгера-Мюллера

Врахувавши вище зазначені критерії виникає необхідність розробити власний дозиметр, який би поєднував переваги проаналізованих пристроїв і з економічної точки зору був доступний більшості користувачів.

1.4 Огляд раніше виконаних робіт за напрямком дослідження

У статті [19] було запропоновано новий диференційний алгебраїчний метод для порівняння гістограм спектрів радіоактивного випромінювання.

У результаті проведення спостереження за об'єктом з ядерно-радіаційними матеріалами реєструється n радіоактивних частинок, отриманих у заданому часовому інтервалі довжини t . Результат вимірювань утворює вибірку $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ з генеральної сукупності, причому розподіл кожного x_i описується розподілом Пуассона. Значення вибірки x укладаються між фіксованими значеннями X_0 і X_m . Вірогідність потрапляння вимірюваної величини x в інтервал від X_0 до X_m описується функцією розподілу:

$$F(x) - P(X_0 < x < X_m) \quad (1.2)$$

Де, $F(x)$ — розривна ступінчаста функція, що дорівнює нулю, при $x < X_0$ та одиниці, при $x > X_m$, компоненти вибірки x — результати однакових вимірювань. Далі вибірку розбивають на окремі інтервали і шукають ймовірність того, що окремий результат вимірювання міститься в даних інтервалах. А частоту подій потрапляння радіоактивної частинки в окремі інтервали позначають N_j . Згрупований таким чином ряд оформлюють у виді гістограм.

І якщо кожному розрядному інтервалу поставити у відповідність енергію зареєстрованої частки, то отримаємо спектральний розподіл енергій радіоактивного випромінювання.

Для виконання зазначених завдань вся система повинна безперервно контролювати радіоактивність на територіях. Основним елементом такої системи є комплекс для реєстрації радіоактивних випромінювань. В якості такого реєстратора застосовуються спектрометри, які забезпечують можливість отримання спектрів гамма-випромінювання, що випромінюються

радіоізотопами. А використання диференційного алгебраїчного методу дозволяє підвищити точність роботи системи радіаційного контролю.

Проте, використання даного методу не дозволяє виявити джерело випромінювання низької активності.

У статті [20] наведений метод, що базується на методі представленому у [19], проте модифікований за рахунок використання нового критерію порівняння гістограм, що дозволило підвищити точність виявлення і розпізнавання джерела випромінювання по його енергетичному спектру.

У якості критерія порівняння гістограм було запропоновано:

$$\begin{cases} A = 1 - \frac{H}{H_n}; \\ H = \sum_{i=1}^n (P_i * \log P_i) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N_0} * \log \frac{N_i}{N_0} \right); \\ H_0 = \log n. \end{cases} \quad (1.3)$$

Де $0 \leq A \leq 1$, H_0 – максимальна ентропія масивів даних, H – поточна ентропія масивів даних, P_i – ймовірність прийняття системою вимірювання i -того стану; n – число класів гістограми, N_i – число влучень радіоактивних часток в даний клас та N_0 – число спостережень.

В роботі [21] досліджені статичні характеристики генератора пуассонівської імпульсної послідовності, за допомогою якого формується вихідний сигнал дозиметричного детектора. Потік вхідних імпульсів генератора розділяють на n однакових груп, кожна з яких складається з i_{max} імпульсів. Завдяки такому розділенню імпульсів на групи відбувається перевірка гіпотези про розподіл генеральної сукупності за законом Пуассона з використанням критерію Пірсона (критерію χ^2).

В результаті застосування гіпотези знаходять значення χ_c^2 та порівнюють з критичним значенням $\chi_{кр}^2$. І відповідно до значення χ_c^2 роблять висновки щодо імпульсного потоку пуассонівського закону розподілу, що як вже було зазначено вище, формує вихідний сигнал дозиметричного детектору.

В статті [22] розглядають алгоритм роботи дозиметру-радіометр, що призначений для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалентної дози гамма та рентгенівського випромінювання, а також поверхневої щільності потоку бета-частинок. В роботі наведено структурні схеми, що дозволяє розібратись у принципі роботи даного детектору.

В афторефераті дисертації [23] досліджено апаратні та програмні засоби опрацювання вихідних сигналів дозиметричних детекторів. Для удосконалення апаратних засобів використано методики синтезу скінченних цифрових автоматів. Для оцінки та покращення метрологічних характеристик дозиметричних пристроїв алгоритмічними методами та апаратними засобами застосовані методи математичної статистики – точкові і інтегральні статистичні оцінки параметрів розподілів.

Щоб покращити метрологічні характеристики автором було запропоновано використовувати цифровий інтенсиметр. Інтенсиметр забезпечує вимірювання інтенсивності імпульсних потоків, з опрацюванням вхідної інформації в процесі її надходження до дозиметру.

Недоліком даної роботи є достатньо тривалий час проведення вимірювання радіації та радіаційного фону.

Проблема компенсації «мертвого» часу детекторів іонізуючого випромінювання розглядається в роботах [24], [25]. В даній статті розглядаються принципи роботи двох пристроїв для вимірювання інтенсивності дози на основі число-імпульсних функціональних перетворювачів та досліджуються їхні методичні похибки. В роботі представлено структурні схеми даних пристроїв та наведено результати моделювання роботи даних пристроїв при різних діапазонів інтенсивності дози.

В роботі [26] розглянуто існуючі системи контролю об'єктів з ядерними та радіаційними матеріалами. На базі отриманого аналізу було проведено порівняння цих систем. Також, було наведено метод детектування низькоактивних речовин. Даний метод зводиться до усереднення обмеженої

кількості реалізацій широкосмугового спектра, що детектується за достатньо короткий проміжок часу.

В статті [27] досліджено статистичні характеристики дозиметрів з детекторами, що мають мертвий час непродовжуючого типу, в яких використовується мікропроцесорне оброблення вимірювальної інформації. Для дослідження статистичних характеристик було розроблено імітаційну модель з генератором псевдовипадкової імпульсної послідовності. В роботі наведено структурну схему дозиметричного пристрою, що пояснює алгоритм його роботи.

1.5 Мета і задачі наукових досліджень

У результаті проведеного пошуку та аналізу сучасних пристроїв та методів вимірювання радіації та порівнюючи існуючі пристрої та їх покази **метою роботи є** розробка автономної системи вимірювання радіації з використанням сучасних мікроконтролерів.

Для досягнення вказаної мети необхідно **вирішити такі задачі:**

1. Зменшення габаритів дозиметру за рахунок використання мікроконтролерних систем;
2. Формалізація методів вимірювання радіації, вхідних впливів та характеристик середовища;
3. Аналіз існуючих алгоритмів та методів виявлення радіації;
4. Розробка алгоритму виявлення радіації;
5. Підвищення точності вимірювальних значень;
6. Порівняння отриманих значень з нормальними значеннями;

Об'єктом дослідження є середовище з радіаційним полем.

Предметом дослідження є модифікація існуючих алгоритмів та методів виявлення радіації.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ВИБІР МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ РАДІАЦІЇ

2.1 Огляд існуючих алгоритмів виявлення радіації

2.1.1 Метод широкозонного напівпровідникового детектору

Розглянемо вимірювання рівня радіації методом широкозонного напівпровідникового детектора (рис. 2.1), що включає реєстрацію детектором квантів іонізуючого випромінювання, перетворення отриманого від детектора сигналу і його попереднє посилення, подальше перетворення отриманого сигналу відбувається в обчислювальній пристрої [28]. Вихідний аналоговий сигнал детектора попередньо підсилюють в каскадному помножувачі шляхом подачі сигналу з виходу напівпровідникового детектора на вхід зарядочутливого зовнішнього підсилювача, виконаного у вигляді складеного каскаду з польового і біполярного транзистора, що підключенні за каскадною схемою з диференціальними входами, отриманий сигнал перетворюють в імпульсну напругу з формуванням сигналу типу квазі-Гаусс в формуючому підсилюючому каскаді на біполярних транзисторах, пропускаючи сигнал через диференційний і інтегруючий каскад, що працюють в мікроструменевому режимі і виконані у вигляді єдиної схеми.

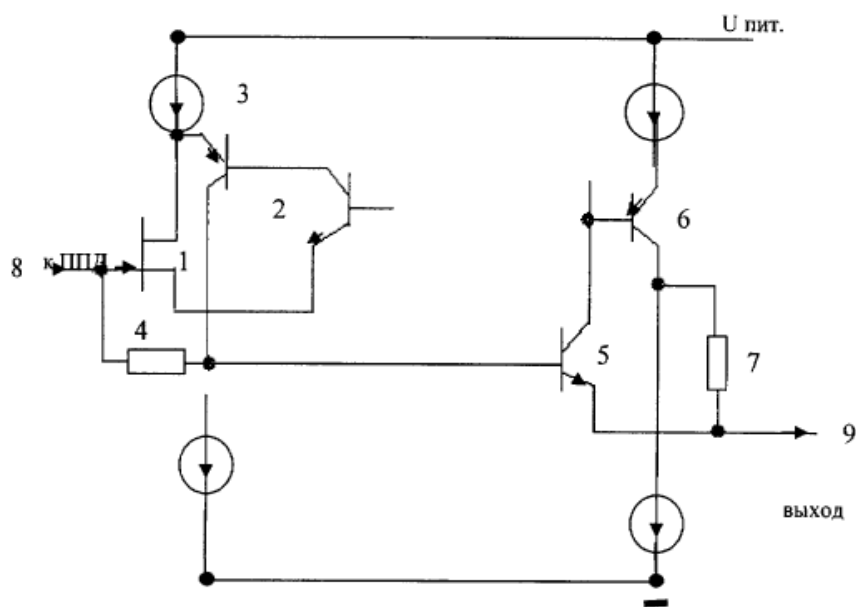


Рис. 2.1 — Вимірювання рівня радіації методом широкозонного напівпровідникового детектора

Вихідний аналоговий сигнал детектора попередньо підсилюють в перетворюючому підсилюючому каскаді шляхом подачі сигналу з виходу напівпровідникового детектора на вхід зарядочуттєвого зовнішнього підсилювача, виконаного на елементах 1, 2, 3, 4 у вигляді складеного каскаду з польового 1 і першого біполярного 2 транзисторів, включених по каскадній схемі з диференціальними входами.

У сукупності з біполярним транзистором 3 в диференціальному включенні загальний коефіцієнт підсилення схеми на частоті 10 МГц без ланцюга зворотного зв'язку 4 становить не менше 100. Отриманий сигнал перетворюється в імпульсну напругу з формуванням сигналу типу квазі Гаусс в формуючому підсилюючому каскаді на біполярних транзисторах, пропускаючи сигнал через диференціальний і інтегруючий каскади, що працюють в мікροструменевому режимі і виконані у вигляді єдиної схеми.

При включенні ланцюга зворотного зв'язку 4 схема працює в режимі зарядочуттєвого зовнішнього підсилювача для напівпровідникового детектора. Напівпровідниковий детектор підключається до виходу 8 схеми через розділову ємність. Яка Формує підсилювальний каскад зроблений на біполярних транзисторах 5, 6, включених за схемою складеного транзистора і частотнозалежної ланцюга зворотного зв'язку 7.

Сигнал від напівпровідникового детектора після аналогового формування і проходження порогової схеми надходить на обчислювальний пристрій (наприклад, процесор), що обробляє ці сигнали. Обчислювальний пристрій коригує рахунок за кожному енергетичним діапазоном, використовуючи розрівнюючі коефіцієнти [29].

Недоліком цього методу вимірювання потоку іонізуючого випромінювання та пристрою для його здійснення є великий час вимірювання радіаційного фону, складність конструктивного виконання пристрою для вимірювання радіації і значний вплив ходу жорсткості на результат вимірювання.

2.1.2 Вимірювання рівня радіації з використанням багатоканального спектрометру

Багатоканальний спектрометр (включаючи прилад без кристала-аналізатора і без фотопомножувача), що містить сцинтилятор, фотопомножувач, підсилювач та багатоканальний спектрометр, використовується для виявлення гамма-променів і ідентифікації нуклідів, в якому використовується стандартна обробка, що включає наступні операції: сцинтилятор поглинає (повністю або частково) гамма-промені, кристал випромінює світло, який збирається фотопомножувачі, який виконує фотоелектричне перетворення світла і лінійно примножує його у вигляді електричного імпульсу; підсилювач виконує процес формування і посилення електричного імпульсу; потім багатоканальний аналізатор аналізує посилений електричний імпульс і перетворює його в цифровий сигнал для подальшої обробки [30]. Оскільки зазначена обробка є процесом лінійного посилення і перетворення, тоді багатоканальний спектрометр може використовуватися для виявлення спектра гамма-променів.

Діапазон енергії гамма-променів, що включаються в область виявлення радіації, в цілому, лежить в межах від 0,03 до 3 МеВ. Різні області енергії гамма-променів, в основному, відповідають різним областям застосування джерел радіоактивного випромінювання, наприклад енергії гамма-променів від концентратів спеціальних ядерних матеріалів з відносно низьким енергетичним рівнем гамма-променів, які використовуються в медицині, до концентратів радіоактивного матеріалу в середньому діапазоні енергії і енергії гамма-променів, що використовуються в промисловості в концентратах радіоактивного матеріалу в відносно високому енергетичному рівні.

На рис. 2.2 представлений метод визначення рівня радіації з використанням багатоканального спектрометру. Система виявлення рівня радіації 1 містить спектрометр (оснащений сцинтилятором 2, фотопомножувачем 3, підсилювачем 4 та багатоканальним аналізатором 5) та систему обробки даних 6. Спектрометр отримує інформацію про спектр гамма-

променів, що падають на спектрометр і може виконати калібровку енергії вказаного спектрометру, методом стандартного джерела радіоактивного випромінювання.

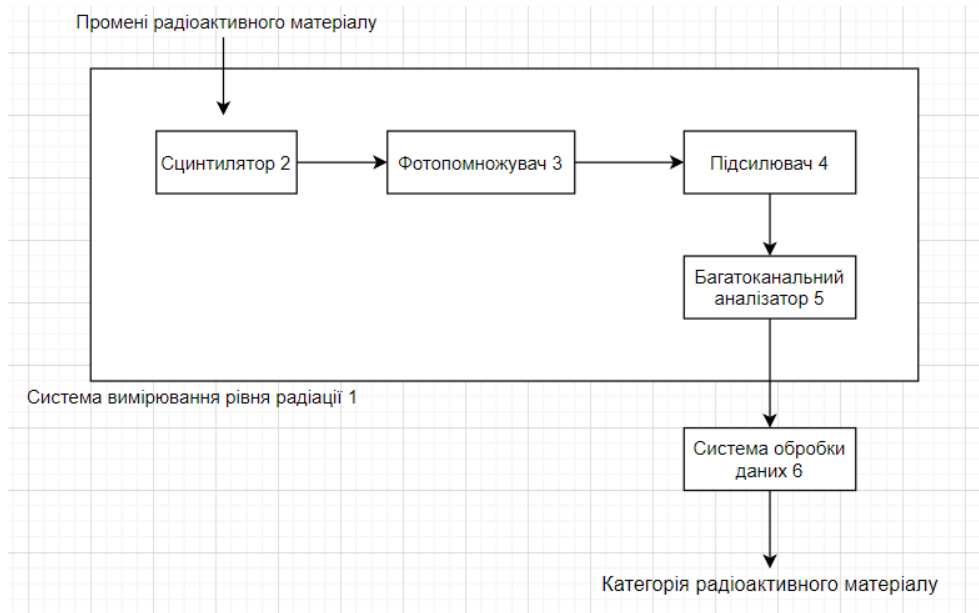


Рис. 2.2 — Метод виявлення радіації з використанням багатоканального спектрометру

Калібровка енергії вказаного спектрометру може бути визначена: $E_i = A \cdot i + b$, де $i=1,2,3,\dots,l$; E_i - енергія i -того каналу; A та B – коефіцієнти калібровки.

Фотопомножувач 3 та підсилювач 4 відрегульовані так, що діапазон енергії охоплює 0,03-3 МеВ. Багатоканальний аналізатор 5 додатково виконує калібровку енергії фоновому спектру D і спектру вимірювань d за допомогою калібровки енергії, щоб отримати значення D_i , що являє собою i -тий канал фоновому спектру та d_i , що є i -тим каналом спектру вимірювань. Після того як багатоканальний аналізатор 5 отримає інформацію про фоновий спектр D_i , спектр вимірювання d_i та номер каналу l , що використовуються в спектрометрі, ця інформація передається в систему обробки даних 6.

Пристрій обробки даних отримує інформацію, що представляє багатоканальний аналізатор 4 та перетворює багатоканальні спектри в спектри обмежених номерів каналів та, відповідно, перетворює фоновий спектр D_i та спектр вимірювання d_i в фоновий вироджений спектр N_j та вироджений спектр вимірювань C_j , розраховують коефіцієнт використання енергії H_j та виконує пікове

детектування вказаного коефіцієнту використання енергії H_j , щоб знайти вироджений канал h , в якому знаходиться пікове значення, потім відбувається порівняння знайденого спектра з початковим, використовуючи порогове значення та виводить на екран діапазон енергії, що відповідає вказаному виродженому каналу h та одночасно показує дані про категорію радіоактивного матеріалу, що відповідає вказаному діапазону енергії.

Недоліком такого методу вимірювання радіації є тривалий час вимірювання радіації та складність конструкції. Перевагами даного методу є точність отриманих результатів.

2.1.3 Диференційний алгебраїчний метод та його модифікація

Розглянемо більш детально диференційний алгебраїчний метод порівняння гістограм спектрів радіоактивного випромінювання, що запропонований у роботі [19] та його покращення за рахунок використання нового критерію порівняння гістограм [20].

У результаті проведення спостереження за об'єктом з ядерно-радіаційними матеріалами реєструється n радіоактивних частинок, отриманих у заданому часовому інтервалі довжини t . Результат вимірювань утворює вибірку $x = (x_1, x_2 \dots x_n)$ з генеральної сукупності, причому розподіл кожного x_i описується розподілом Пуассона. Значення вибірки x укладаються між фіксованими значеннями X_0 і X_m . Вірогідність потрапляння вимірюваної величини x в інтервал від X_0 до X_m описується функцією розподілу:

$$F(x) - P(X_0 < x < X_m) \quad (2.1)$$

Де, $F(x)$ — розривна ступінчаста функція, що дорівнює нулю, при $x < X_0$ та одиниці, при $x > X_m$, компоненти вибірки x — результати однакових вимірювань.

Компоненти вибірки x є результатами незалежних, але однакових вимірювань. Отже, $F(x) = f(x_1)f(x_2) \dots f(x_n)$, де $f(x_i)$ — розподіл i -тої компоненти змінної x . Далі вибірку x , що містить результати окремих вимірювань розбивають на m інтервалів, таких що: $X_{j-1} \leq x_i \leq X_j, j = \overline{1, m}$.

Частоту подій потрапляння радіоактивної частинки в окремі інтервали позначають N_j . Згрупований таким чином ряд оформлюють у виді гістограм — статичного аналога кривої розподілу. Гістограма зображує розподіл зареєстрованих радіоактивних частинок. І якщо кожному розрядному інтервалу поставити у відповідність енергію зареєстрованої частки, то отримаємо спектральний розподіл енергій радіоактивного випромінювання.

Основною властивістю гістограм є те, що при великій кількості інтервалів збільшуються випадкові флуктуації чисел N_j і це виправдовує себе лише при достатньо великій вибірці n (у даному випадку, це можливо тільки при досить високій інтенсивності джерела випромінювання або тривалому часі вимірювання). При невеликій кількості інтервалів розбивки було отримано велике значення N_j і тим самим було заглажено зміни розподілу $F(x)$ у кожному окремому інтервалі, це дозволяє зменшити флуктуації цього числа (його відхилення від середнього).

У статті [20] наведений метод, що базується на методі представленому у [19], проте модифікований за рахунок використання нового критерію порівняння гістограм, що дозволило підвищити точність виявлення і розпізнавання джерела випромінювання по його енергетичному спектру.

У результаті проведення спостереження за об'єктом з ядерно-радіаційними матеріалами реєструється n радіоактивних частинок, отриманих у заданому часовому інтервалі довжини t . Результат вимірювань утворює вибірку $x = (x_1, x_2 \dots x_n)$ з генеральної сукупності, причому розподіл кожного x_i описується розподілом Пуассона. Значення вибірки x укладаються між фіксованими значеннями X_0 і X_m . Вибірку x , що містить результати окремих вимірювань розбивають на m інтервалів, таких що: $X_{j-1} \leq x_i \leq X_j, j = \overline{1, m}$, тоді сумарне число усіх частинок N_0 , які містяться в інтервал $[X_0, X_m]$ дорівнює:

$$\sum_{i=1}^m N(x_i) = N_0 \quad (2.2)$$

де $N(x_i)$ – кількість частинок з енергією x_i . Якщо розділити праву і ліву частини рівняння (2.2) на повне число частинок N_0 , то одержимо:

$$\sum_{i=1}^m f(x_i) = 1 \quad (2.3)$$

Де функція $f(x_i) = \frac{N(x_i)}{N_0}$ показує, яка доля зареєстрованих частинок енергії x_i , потрапляє в інтервал $[X_{i-1}, X_i]$ $i = \overline{1, m}$.

Ймовірність P_j того, що окремих результат x_i міститься в j -тому інтервалі дорівнює:

$$P_j(x_i) = \int_{x_j}^{x_{j+1}} f(x_i) dx_i \quad (2.4)$$

Отримані результати представляють у вигляді гістограм, а у якості критерія порівняння гістограм було запропоновано:

$$\begin{cases} A = 1 - \frac{H}{H_n}; \\ H = \sum_{i=1}^n (P_i * \log P_i) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N_0} * \log \frac{N_i}{N_0} \right); \\ H_0 = \log n. \end{cases} \quad (2.5)$$

Де $0 \leq A \leq 1$, H_0 – максимальна ентропія масивів даних, H – поточна ентропія масивів даних, P_i – ймовірність прийняття системою вимірювання i -того стану; n – число класів гістограми, N_i – число влучень радіоактивних часток в даний клас та N_0 – число спостережень.

2.1.4 Метод вимірювання потужності дози радіоактивного джерела

Програмна реалізація даного методу розглядається на базі блока детектування гамма-випромінювання [31]. Даний блок має два канали детектування: дозиметричний та спектрометричний. Дозиметричний канал реалізовано шляхом використання лічильника Гейгера-Мюллера та дозволяє визначити потужність дози гамма-випромінювання. Спектрометричний канал

реалізовано шляхом використання сцинтиляційного детектору та забезпечую ідентифікацію джерела випромінювання та визначення їх енергії.

Розрахунок потужності дози випромінювання здійснюється за наступною формулою:

$$P = \frac{1}{n \cdot K \cdot t_{\text{вим}}} \cdot \sum_{i=1}^K \frac{N_i \cdot C_i}{1 - \frac{N_i \cdot \tau}{t_{\text{вим}}}} \quad (2.6)$$

Де P – шукана потужність дози (мГр/год) N_i – кількість зареєстрованих імпульсів на лічильнику за час t (i – порядковий номер лічильника у дозиметричному каналі блоку детектування гамма-випромінювання), K – константа, що визначає кількість лічильників Гейгра-Мюллера, τ – «мертвий» час роботи пристрою, n – параметр чутливості лічильника та C_i – поправочний коефіцієнт.

Реєстрація імпульсів забезпечується блоком електроніки пристрою. Даний блок керує живленням лічильників та періодично відключає їх («мертвий» час), тим самим забезпечуючи примусове гасіння розряду в лічильнику, тим самим покращуючи лічильну характеристику пристрою.

Параметр чуттєвості лічильника реалізує перетворення імпульсу в значення, що використовується для розрахунку потужності дози. Це дозволяє використовувати даний алгоритм для будь-якої модифікації лічильника Гейгера-Мюллера.

Лічильники однієї модифікації мають різні характеристики навіть у рамках однакової виробничої партії (це можна пояснити особливостями їх виготовлення). Для компенсації різниць лічильника вводять поправочний коефіцієнт (C_i), розрахунок якого виконується в рамках метрологічної процедури для кожного лічильника індивідуально за наступною формулою:

$$C_i^m = \frac{P_d \cdot t_{\text{вим}} \cdot \eta}{N_i} \cdot \left(1 - \frac{\tau^m}{t_{\text{вим}}} \cdot N_i\right) \quad (2.7)$$

Де P_d – дійсне значення потужності дози (мГр/год) в точці розташування лічильника.

2.2 Порівняння існуючих алгоритмів виявлення радіації

Розглянуті вище алгоритми націлені на одну мету, а саме вимірювання радіоактивного випромінювання. Кожен алгоритм працює за різними методами, аналіз яких наведено у Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Аналіз розглянутих методів вимірювання радіації

Назва методу	Вимірюваний тип радіації	Можливість пошуку джерела випромінювання	Можливість пошуку низькоактивного джерела	Наявність компенсації «мертвого часу»	Складність технічної реалізації
Метод широкозонного напівпровідникового детектору	Кванти іонізуючого випромінювання	-	-	-	+
Метод багатоканального спектрометру	Гамма-випромінювання	-	+	-	+
Диференційний алгебраїчний метод	Ядерно-радіаційні матеріали	+	+, проте для цього треба трохи доповнити існуючий алгоритм	-	-
Модифікація диференційного алгебраїчного методу				-	-
Метод вимірювання потужності дози радіоактивного джерела	Гамма-випромінювання	-	-	+	-

Вищерозглянуті методи мають низку переваг, проте кожний метод має певні недоліки. Розглянемо недоліки кожного з методів.

Метод вимірювання радіації з використанням широкозонного напівпровідникового детектора не розрахований для використання в домашніх умовах та має складну конструкцію.

Метод вимірювання радіації з використанням багатоканального спектрометру за рахунок своїх складових має велику ціну, проте є дуже точним у вимірюванні.

В диференційному алгебраїчному методі порівняння гістограм спектрів радіоактивного випромінювання відсутнє достатнє теоретичне обґрунтування для побудови розрядних інтервалів гістограми. Сутність цих інтервалів полягає в класифікації – віднесення отриманих даних вимірювань до деяких сукупностей, що володіють певними властивостями. Для виявлення радіоактивного джерела використовується контрольована класифікація – використовують заздалегідь визначені людиною ознаки і критерії. Окрім цього, в даному методі використовується складна математична модель, що сповільнює час роботи радіаційного детектору.

В модифікації диференційного алгебраїчного методу порівняння гістограм спектрів випромінювання істотно обмежують область практичного застосування систем виявлення джерела радіоактивного випромінювання.

Метод вимірювання потужності дози радіоактивного джерела має певний процент хибних спрацьовувань пристрою та достатньо велике значення «мертвого» часу дозиметру.

Врахувавши вище зазначені недоліки існуючих алгоритмів виникає необхідність розробити власний алгоритм, який би компенсував недоліки існуючих методів.

2.3 Розробка алгоритму виявлення радіації

2.3.1 Обґрунтування вибору технологій для створення алгоритму

Як вже було значено вище, виникає необхідність розробки алгоритму для виявлення радіації, що буде компенсувати наступні недоліки:

- Складність технічної реалізації;
- Компенсація «мертвого» часу;
- Висока точність роботи та підвищена швидкодія алгоритму;
- Можливість пошуку низькоактивних джерел радіоактивного випромінювання.

Окрім цього, даний алгоритм має взаємодіяти з дозиметричним пристроєм на базі двох трубок Гейгера-Мюллера.

Наприклад, для компенсації «мертвого» часу пристрою пропонується застосування обчислень, що виконуються мікропроцесором, або апаратними засобами [24]. Конкурентоспроможність останніх зумовлена тим, що вони можуть бути реалізовані на програмованих логічних інтегральних схемах із забезпеченням високих технічних характеристик. Серед апаратних засобів слід виділити пристрої для відновлення пуассонівського імпульсного потоку, в основі яких є багаторозрядний регістр зсуву [32]. Однак існує також можливість компенсації «мертвого» часу детекторів з використанням число-імпульсних функціональних перетворювачів (ЧІФП).

Проте використання даних ЧІФП трохи ускладнює апаратну та програмну реалізацію системи радіаційного контролю. Отже необхідно розробити метод компенсації «мертвого» часу, що не буде ускладнювати технічну і програмну реалізацію системи радіаційного контролю.

Так у роботі [33] наведено метод компенсації «мертвого» часу дозиметру на базі трубок Гейгера-Мюллера з використанням систем штучного інтелекту.

Структура нейронної мережі наведена на рис. 2.3.

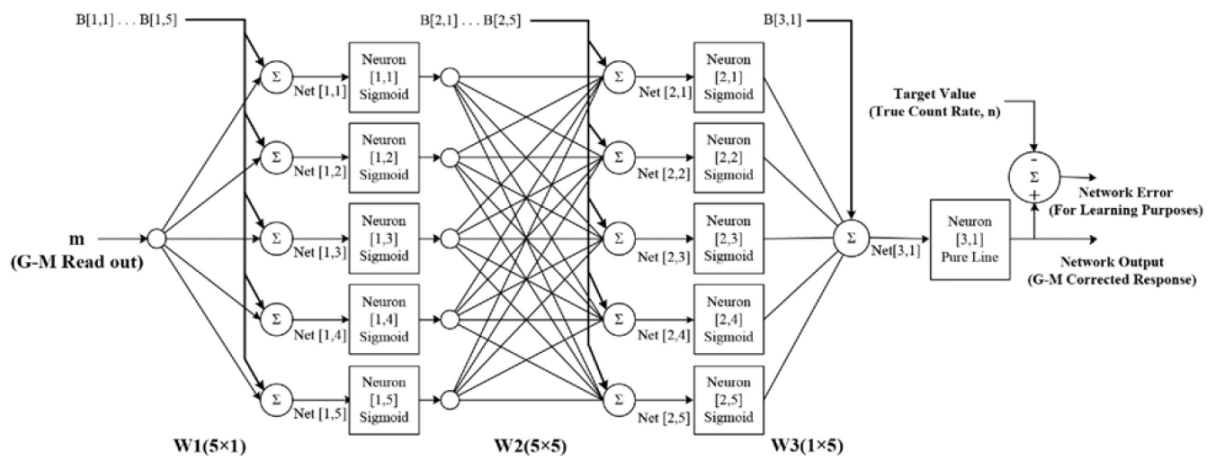


Рис. 2.3 — Структура нейронної мережі для компенсації «мертвого» часу дозиметру

Це тришарова штучна нейрона мережа (ШНМ), з однією вхідною і однією вихідною змінною. Кількість нейронів у вихідному шарі дорівнює кількості виходів мережі. Вхідний шар складається з п'яти нейронів, що дорівнює кількості нейронів у скритому шарі. Оскільки вхідні дані нормалізовані та приймають

значення між нулем і одиницею, була обрана сигмоїдна функція активації. Кожен шар зв'язаний з наступним за допомогою дерева ваг. На додаток до зважених входів, до кожного нейрону додається значення зсуву. Ваги та зсув є параметрами ШНМ, які змінюються в процесі навчання.

Зв'язок між входом и виходом ШНМ наведено у рівнянні (2.8).

Network Output

$$= \text{PureLine}(\text{Sigmoid}(\text{Sigmoid}(mW1 + B1) \cdot W2 + W2) \cdot W3 + B3) \quad (2.8)$$

Де $W1 \rightarrow W3$ та $B1 \rightarrow B3$ – вектори ваги та зсуву мережі відповідно.

Нейрони Pure Line застосовуються в останньому рівні ШНМ для підсумовування всіх результатів попередніх шарів. Дана мережа навчається на експериментальних даних, що показані на рис. 2.4 з використання алгоритму Левенберга-Марквардта.

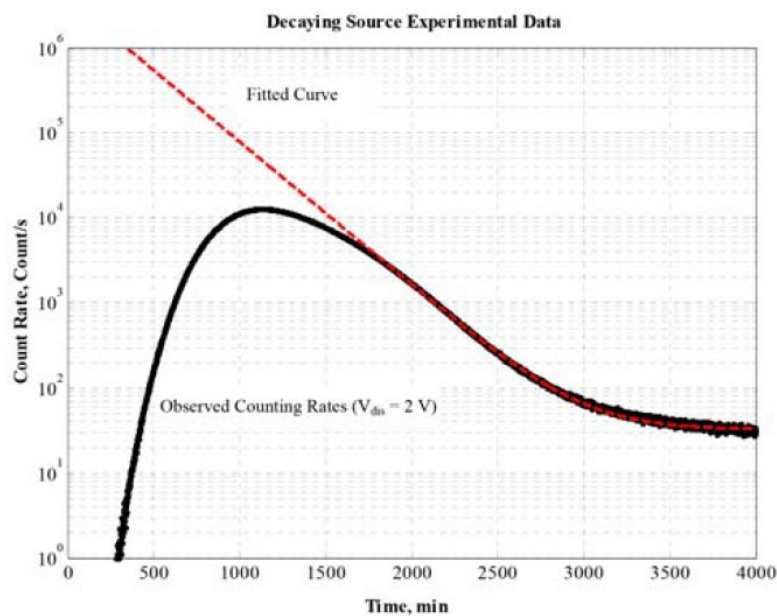


Рис. 2.4 — Експериментальні дані, що отримані методом затухаючого джерела, де пунктирна лінія показує реальну кількість імпульсів, а точки показують кількість імпульсів, що видає лічильник Гейгера-Мюллера

Тобто, в даному випадку нейронна мережа використовується для виправлення нелінійності трубок Гейгера-Мюллера. За технічними характеристиками «мертвий» час трубок Гейгера-Мюллера становить 200 мкс

[33], тоді як використання нейронної мережі значно зменшило «мертвий» час трубок.

Останнім часом все більшого поширення набуває застосування нейронних мережах у різних сферах діяльності людини. Наведемо деякі з них.

У статті [34] описано застосування нейрогнітивного елементу в реалізації когнітивних процесів. Застосування нейромереж в якості платформи для моделювання когнітивних процесів дозволить використовувати широкі можливості апарату нейросмережевого моделювання, включаючи методи навчання нейромереж для формування значень причинно-наслідкових зв'язків як відображення синаптичних зв'язків. А під час експериментальних досліджень було встановлено, що використання нейромережевого апарату забезпечує обчислювальну підтримку функцій формування, навчання та корегування когнітивний мереж.

У роботі [35] обґрунтовано практичне застосування штучної нейронної мережі для моделювання транспортних систем на прикладі побудови моделі розподілу пасажирських кореспонденцій, що має ряд переваг. Наведемо деякі з них: застосування ШНМ дає можливість створювати моделі у режимі реального часу, що для керування транспортними системами є важливим аспектом та можливість ШНМ до адаптації та функціонуванню в режимі реального часу дозволяє вирішувати задачі, що притаманні складним системам (задачі спостережуваності або керованості).

Використання традиційного підходу до моделювання нестационарних аеродинамічних характеристик за допомогою аеродинамічних похідних не дає необхідної точності результатів на великих кутах атаки через істотні динамічних ефектів, викликаних динамікою відриву потоку і руйнування вихорів. В роботі [36] показана можливість застосування ШНМ для моделювання аеродинамічних характеристик в широкому діапазоні кутів атаки в разі гармонійних коливань на прикладі трикутного крила.

Експериментально було доведено, що розроблена модель на базі ШНМ і в разі вимушених коливань з малою амплітудою непогано описує дані експериментів. Незважаючи на те, що основним завданням є моделювання аеродинамічних коефіцієнтів при коливаннях моделі з великими амплітудами, модель може бути використана також і для моделювання коливань з малими амплітудами.

У роботі [37] за допомогою нейромережевих технологій розраховують потоки сумарної сонячної радіації. Для аналізу автором було розроблено 10 ШНМ, що використовували різні вхідні параметри. Наприклад, перша модель використовує стан сонячного диску та кількість загальної хмарності, модель 2 використовує стан сонячного диску та температуру ґрунту і тд. Аналіз отриманих результатів показує, що моделі з використанням ШНМ мають незначні похибки у навчанні (наприклад, похибка навчання у 2 моделі становить — 0.0125) та мають результати точніші, ніж при використанні загальних моделей для моделювання.

Тобто, з розглянутих вище робіт можна зробити висновки, що застосування ШНМ при моделюванні будь-яких процесів та систем показує більш точні результати та можуть бути використані при рішенні складних прикладних задач, що потребують значних обчислювальних потужностей.

Однією з переваг у використанні нейронних мереж у тому, що можна провести певну кількість експериментів з використанням різної кількості шарів нейронів та вибрати ту, що працює краще.

А головною перевагою у використанні ШНМ є те, що для отримання математичної моделі об'єкта або явища, маючи вхідні та вихідні дані певної структури, потрібно лише провести декілька експериментів з навчання мережі, використовуючи при цьому різні параметри архітектури, такі як кількість шарів або кількість нейронів певного шару. Це дозволяє автоматизувати процес пошуку моделі, а також дає можливість моделювати складні об'єкти чи явища, на які, зазвичай, впливає велика кількість параметрів.

2.3.2 Опис розробленого алгоритму

В кожній нейронній мережі перший шар завжди є вхідним. Цей шар не виконує ні перетворень, ні обчислень, завдання даного шару приймати і розподіляти вхідні шари іншими нейронами. Цей шар єдиний, яких є загальним для всіх типів мереж, подальша класифікація нейронних мереж базується на їх застосуванні.

Для задач комп'ютерного зору, в більшості випадків використовуються згорткові нейронні мережі (Convolutional neural network — CNN), для обробки мови та текстів – рекурентні нейронні мережі (Recurrent neural networks — RNN), для обробки табличних даних та при рішенні задач в областях, що є нестандартними та добре дослідженими – повнозв'язні (Fully-connected neural networks — FNN).

Так як вхідні дані що приходяться з лічильників Гейгера-Мюллера, можна легко представити у вигляді табличних та не має інших досліджень, які б використовували у схожих випадках типи RNN чи CNN, для написання алгоритму було обрано Fully-connected neural networks (FNN).

Суть архітектури даної мережі (рис. 2.5) полягає у тому, що кожен нейрон одного шару зв'язано з кожним нейроном наступного і попереднього (якщо вони є) шарів [38].

У даному типі ШНМ існує три типи шарів:

- Вхідний шар, куди подають вхідні сигнали;
- Вихідний шару, що видає результати роботи;
- Скриті шари, шари що знаходяться між вхідним та вихідним шаром та, зазвичай, містять більшу кількість нейронів.

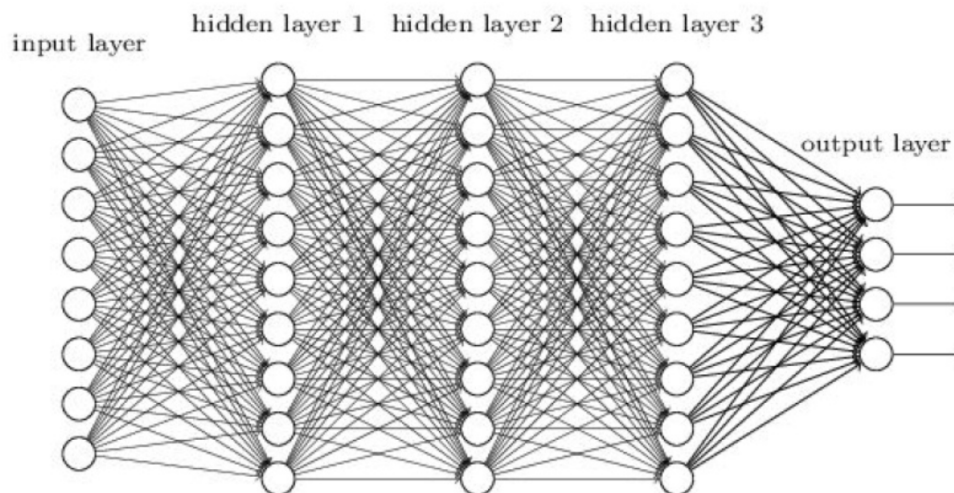


Рис. 2.5 — Fully-connected neural networks

Перший шар є вхідним, а кількість нейронів на виході — це кількість ознак, які будуть передбачені. В загальному випадку по вихідному шару мережі можна майже напевно сказати, яке завдання вона вирішує.

Для написання алгоритму для виявлення радіації було обрано тип FNN, що складається з 5 шарів. Данні параметри кількості шарів та кількості нейронів у кожному з шарів була визначена за допомогою експериментів.

Для досягнення максимальної точності роботи ШНМ важливою задачею є знаходження значення кількості використовуваних шарів. При занадто великому значенні, нейронну мережу стає складно тренувати. З іншого боку, при недостатній кількості, модель буде слабкою та не зможе в достатній мірі вирішувати поставлені задачі. Як можна бачити на рис. 2.6, оптимальним варіантом є використання 5-ти шарів нейронів.

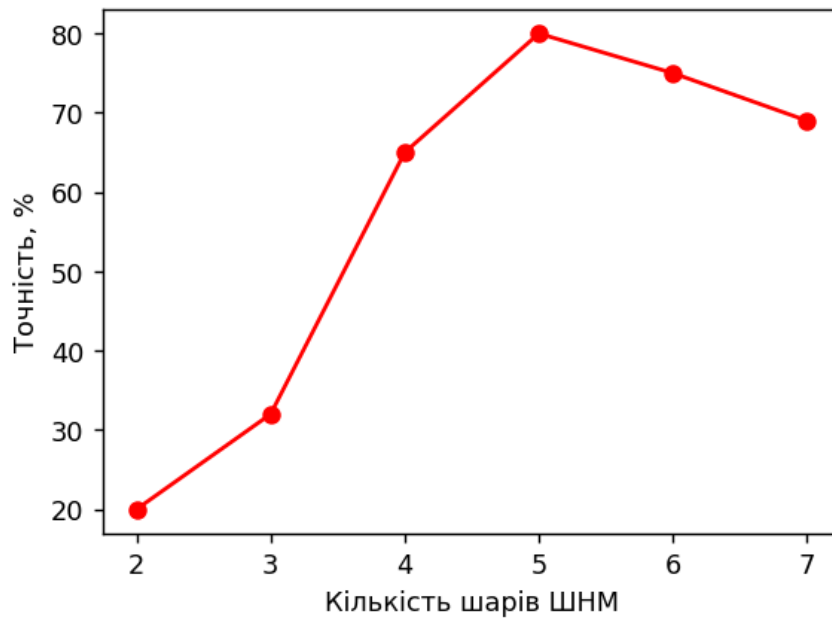


Рис. 2.6 — Відношення точності вимірювання до шарів нейронної мережі

Всі скриті шари мають однакову кількість нейронів (64 нейрони), окрім останнього шару. Останній (вихідний) шар має 6 нейронів. Перші два нейрони відповідають за передбачення координати місцезнаходження джерела випромінювання. 3-5 нейрони будуть відповідати за його класифікацію. А останній нейрон виводить наближене значення у мкЗв/год радіоактивного випромінювання.

В більшості випадків, штучні нейронні мережі використовуються для створення моделей, в умовах коли вхідні та вихідні параметри взаємо пов'язані складними нелінійними залежностями. В даному випадку, вхідними даними є кількість імпульсів та часовий проміжок що приходять з кожної трубки, а вихідними відстань та кут до передбачуваного джерела випромінювання.

Процес прогнозування місцеположення об'єкту полягає в наступному: координати об'єкту подаються у вигляді часового ряду, що складається з дискретних даних. Шляхом спеціальної вибірки з даних дискретних значень можна отримати безперервну функцію. Для часових рядів прогнозування застосовується, коли значення змінних функції варіюються в рівновіддалених проміжках часу, тоді можна спробувати спрогнозувати розвиток значень на основі попередніх показників.

Прогнозування часових рядів здійснюється шляхом навчання нейронної мережі. Процес навчання відбувається в обраному обмеженому часу. Дані про характер попереднього розвитку процесу і відповідних значеннях параметрів надходять на входи нейронної мережі, а прогноз представляється у вигляді виходів мережі.

Виходячи з цього, було проведено декілька експериментів, для дослідження можливості коректного передбачення штучною нейронною мережею координат. В результаті, було отримано модель, яка вирішує поставлену задачу з припустимою похибкою.

Радіоактивне випромінювання в даному алгоритмі буде класифікуватись за трьома класами: фон, підвищене випромінювання та небезпечне випромінювання. В даному випадку, кожен з останніх трьох нейронів вихідного шару буде видавати число від 0 до 1 – вірогідність що джерело відноситься до певного класу. Для такої поведінки, використовується функція активації Softmax (2.9).

Softmax – це математична функція, яка перетворює вектор чисел у вектор імовірностей, де ймовірності кожного значення пропорційні відносному масштабу кожного значення у векторі. Якщо мережа налаштована на виведення N значень, по одному для кожного класу в задачах класифікації, то функція Softmax використовується для нормалізації результатів, перетворюючи їх із зважених значень суми у ймовірності, які складаються в одиницю. Кожне значення на виході функції Softmax інтерпретується як ймовірність для кожного класу.

$$\sigma(\vec{z})_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^K e^{z_j}} \quad (2.9)$$

Технологія навчання нейронної мережі з вчителем передбачає наявність двох однотипним множин:

- Навчальна множина (використовується для «налаштування» нейронної мережі);

- Контрольна множина (використовується для оцінка якості роботи нейронної мережі).

Процедура навчання нейронної мережі зводиться до процедури корекції ваги зв'язків нейронної мережі. Тобто, метою корекції ваги є мінімізації функції похибки. Так як в даній нейронній мережі вихідний шар видає, як координати так і клас об'єкту, то в якості функцій похибки було обрано Mean Squared Error (MSE) та Cross-Entropy (CE) для знаходження відхилення координат та класів відповідно.

MSE — середньоквадратична похибка, що необхідна для підрахунку вихідних даних ШНМ в порівнянні з еталонним значенням при рішенні задачі регресії, тобто вихідне число може приймати будь-яке значення.

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2.10)$$

де n — кількість прикладів з вибірки, Y_i — еталонні значення та \hat{Y}_i —прогнозовані значення

Вагові коефіцієнти підбираються наступним чином [39]:

$$\Delta\omega_{ij} = -h \frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}} \quad (2.11)$$

де ω_{ij} — ваговий коефіцієнт синаптичного зв'язку, що з'єднує i -тий та j -тий вузол нейронної мережі, $h \in (0.1)$ — коефіцієнт швидкості навчання.

$$\frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial S_j} \cdot \frac{\partial S_j}{\partial \omega_{ij}} \quad (2.12)$$

Де y_j — вихід нейрону j ; S_j — аргумент функції активації.

$$\frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial S_k} \cdot \frac{\partial S_k}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial S_k} \cdot \omega_{jk}^{[n+1]} \quad (2.13)$$

Де k — число нейронів шару $n+1$; $\frac{\partial y_k}{\partial S_k}$ — це похідна функції активації по її аргументу, $\frac{\partial S_k}{\partial y_j}$ — вихід i -того нейрона попереднього шару.

Введемо нову змінну:

$$\delta_j^{[n]} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \quad (2.14)$$

Отже, отримаємо рекурсивну формули для підрахунку величини $\delta_j^{[n]}$ шару n з величин $\delta_k^{[n+1]}$ шару n+1

$$\delta_j^{[n]} = \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \cdot \sum_k \delta_k^{[n+1]} \cdot \omega_{jk}^{[n+1]} \quad (2.15)$$

Для вихідного шару маємо:

$$\delta_j^{[N]} = \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \cdot (y_i^{[N]} - d_i) \quad (2.16)$$

Тобто, (2.11) можна записати:

$$\Delta \omega_{ij} = -h \cdot \delta_j^{[n]} \cdot \delta y_i^{[n-1]} \quad (2.17)$$

Отже, повний алгоритм навчання нейронної мережі:

- 1) Ініціалізація випадковим чином всі вагові коефіцієнти нейронної мережі;
- 2) Послідовно подати на вхід нейрону всі дані із навчальної множини: Для кожного входу:
 - 2.1) Фаза прямого поширення сигналу (розрахувати вихід кожного нейрону ШНМ);
 - 2.2) Фаза зворотного поширення сигналу. Для вихідного шару розрахувати зміну ваги $\Delta \omega^{[N]}$ за (2.15) та (2.14). Для усіх інших шарів розрахувати $\Delta \omega^{[n]}$ за (2.15) та (2.13), де $n=(N-1), \dots, 1$
 - 2.3) Скорегувати всі ваги нейронної мережі:

$$\omega_{ij}^{[n]}(t) = \omega_{ij}^{[n]}(t-1) + \Delta \omega_{ij}^{[n]}(t) \quad (2.18)$$

- 3) Якщо помилка нейронної мережі значна, то перейти до кроку 2. Інакше- кінець роботи.

Також для навчання нейронної мережі застосовано перехресну ентропію (CE). Перехресна ентропія - це міра з області теорії інформації, що базується на ентропії та загалом обчислює різницю між двома розподілами ймовірностей. Вона тісно пов'язана, але відрізняється від дивергенції Кульбака–Лейблера, яка обчислює відносну ентропію між двома розподілами ймовірностей, тоді як

перехресну ентропію можна використовувати для обчислення загальної ентропії між розподілами. У даному алгоритмі перехресна ентропія буде застосовуватись для розрахунку похибки у задачі класифікації радіаційного випромінювання.

Так як наша контрольна множина має три класи, будемо використовувати наступну формулу, для розрахунку похибки:

$$\sum_{c=1}^M y_{o,c} \log(p_{o,c}) \quad (2.19)$$

де $y_{o,c}$ – бінарний індикатор коректності передбачення класу, $p_{o,c}$ – передбачена ймовірність класу.

При навчанні нейронних мереж для задач класифікації, крім проблеми запам'ятовування тренувальної вибірки (індикатором цього є висока точність роботи на тренувальному наборі даних, та низька на тестовому наборі), додається проблема надмірної впевненості у передбачуваному класі.

Жодна ШНМ не є досконалою, тому алгоритм класифікації може визначати об'єкт хибним класом. Як правило, в процесі навчання алгоритм дбає про клас із найбільшим значенням («найімовірніший» клас), тоді результати класифікатора з виходом функції Softmax будуть невизначеними оцінками. Наприклад, з 1000 класифікацій, значення яких були 0.8, приблизно 800 має бути правильним, якщо система добре відкалібрована. У випадках, коли важко розрізнити дві категорії, кращі результати будуть при добре відкалібрований невизначеності. Тоді, прогнози не будуть ні надто впевненими, ні недостатньо невпевненими.

Для вирішення даної проблеми, будемо використовувати метод class label smoothing. Class Label Smoothing — це один із способів, щоб зробити нейронну мережу більш надійною [40]. Так як вхідні данні можуть містити ознаки декількох класів, тоді буде не коректним серед цільових класів визначати лише один повністю правильним, а інші повністю хибними. Тому застосувавши наступну формулу до цільових прикладів, можна частково вирішити дану проблему та покращити роботу ШНМ у випадках невизначеності:

$$y_{ls} = (1 - \alpha) * y + \frac{\alpha}{K} \quad (2.20)$$

де y – цільові класи, α – коефіцієнт згладжування, K – кількість класів.

Так як y подається у формі, де правильному класу відповідає 1, а всім іншим 0, то при застосуванні (2.19) правильний клас матиме значення менше одиниці, а всі інші класи $\frac{\alpha}{K}$.

Останні роки в якості функції активації для прихованих шарів використовували ReLU [41], але дана функція активації має свої недоліки. Серед них відсікання градієнтної інформації для від’ємних значень входів активацій, велика кількість перепадів та значних мінімумів на ландшафті градієнту. Це призводить до меншої точності роботи нейронної мережі та її довшому навчанню. Тому для знаходження функції активації, яка б могла вирішити ці недоліки команда науковців з GoogleBrains вирішила цю задачу за допомогою машинного навчання. Дана функція має назву Swish (рис. 2.6) та реалізована у наступному вигляді:

$$f(x) = x * sigmoid(\beta x) \quad (2.21)$$

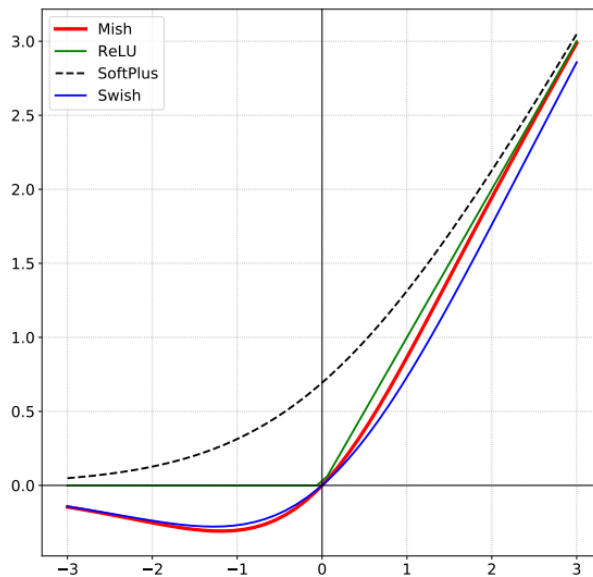


Рис. 2.6 – Графік функції ReLU, Swish та Mish

Іншій команді науковців [42], використовуючи схожий метод, вдалося знайти кращу функцію активації, яка має назву Mish та реалізовано наступним чином:

$$f(x) = x * \tanh(\text{softplus}(x)) \quad (2.22)$$

Порівнявши ландшафти градієнтів які створюють функції ReLU, Swish та Mish, можна спостерігати, що функція Mish дає більш гладкий контур ландшафту (рис. 2.7). Також, як можна побачити, Mish має більшу широку та гладку поверхню мінімуму ніж інші функції.

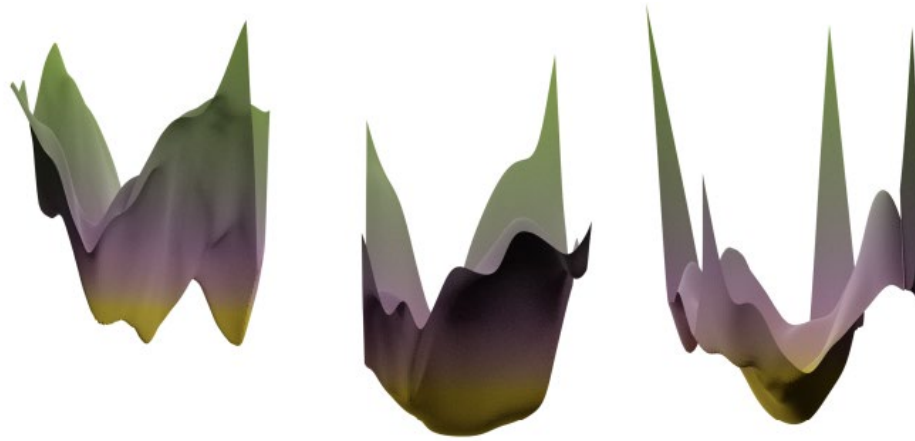


Рис. 2.7 – Ландшафти градієнтів функції втрат ReLU, Mish та Swish відповідно

Серед всіх популярних та поширених мов програмування, Python є однією з багатьох, що гарно підходить для реалізації архітектури та процесу навчання ШНМ. Це досягається завдяки можливості використовувати функціональний та імперативний підхід програмування і, порівняно, великій кількості написаних бібліотек для машинного навчання. Серед бібліотек було обрано бібліотеку PyTorch[43], так як вона має зручні інтерфейс для побудови та роботи з нетиповими архітектурами та потребує використовувати менше внутрішніх об'єктів для запуску тренування.

Кожен рівень, крім вихідного, нейронної мережі буде містити об'єкт повнозв'язного шару Linear, об'єкт нормалізації виходу BatchNorm1d та функцію активації Mish. Вихідний рівень матиме лише повнозв'язний шар з параметрами зсуву. Так як Pytorch не має імплементації для Mish, було також реалізовано дану функцію.

Код створення рівня та реалізація Mish:

```
class Mish(nn.Module):

    def __init__(self):
```

```

        super().__init__()

    def forward(self, input):
        return mish(input)

def create_block(in_f,out_f,last=False):
    return nn.Linear(in_f,out_f,bias=last) if last else nn.Sequential(
        nn.Linear(in_f,out_f,bias=last),
        nn.BatchNorm1d(out_f),
        Mish()
    )

```

Використовуючи функцію `create_block` визначаємо клас об'єкту нейронної мережі. На вхід конструктор класу приймає кількість прихованих шарів, які вона буде мати.

Код імплементації нейронної мережі:

```

class RadNet(nn.Module):

    def __init__(self,num_blocks=3):
        super(RadNet,self).__init__()
        blocks = [create_block(4,64)]
        for i in range(num_blocks+2,2,-1):
            blocks.append(create_block(64,64))
            blocks.append(create_block(64,6,True))

        self.layers = nn.Sequential(*blocks)

    def forward(self,x):
        return self.layers(x)

```

При створенні об'єкту нейронної мережі, можна переглянути всю структуру її рівнів (рис. 2.8).

```

(layers): Sequential(
  (0): Sequential(
    (0): Linear(in_features=4, out_features=64, bias=False)
    (1): BatchNorm1d(64, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True, track_running_stats=True)
    (2): Mish()
  )
  (1): Sequential(
    (0): Linear(in_features=64, out_features=64, bias=False)
    (1): BatchNorm1d(64, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True, track_running_stats=True)
    (2): Mish()
  )
  (2): Sequential(
    (0): Linear(in_features=64, out_features=64, bias=False)
    (1): BatchNorm1d(64, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True, track_running_stats=True)
    (2): Mish()
  )
  (3): Sequential(
    (0): Linear(in_features=64, out_features=64, bias=False)
    (1): BatchNorm1d(64, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True, track_running_stats=True)
    (2): Mish()
  )
  (4): Sequential(
    (0): Linear(in_features=64, out_features=64, bias=False)
    (1): BatchNorm1d(64, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True, track_running_stats=True)
    (2): Mish()
  )
  (5): Sequential(
    (0): Linear(in_features=64, out_features=64, bias=False)
    (1): BatchNorm1d(64, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True, track_running_stats=True)
    (2): Mish()
  )
  (6): Linear(in_features=64, out_features=6, bias=True)
)

```

Рис. 2.8 – Структура нейронної мережі

Реалізація функції для застосування методу class label smoothing наведена нижче.

```

def label_smooth(input, alph=0.1):
    return (1-alph)*input + alph/input.shape[-1]

```

Дана функція приймає вхідний тензор та параметр альфа, який за замовчуванням заданий 0.1.

Код для тренування нейронної мережі:

```

for epoch in range(epochs):
    losses = []
    mse_losses = []
    cls_losses = []
    for i, (x, y) in enumerate(dl):
        optim.zero_grad()
        x, y = x.to(device), y.to(device)
        y_hat = model(x)

        cls_hat = nn.Softmax(dim=0)(y_hat[:, -3:])
        cls_ls = label_smooth(y[:, -3:])

        cls_loss = cls_loss_fn(cls_hat, cls_ls)
        reg_loss = regression_loss_fn(y_hat[:, :2], y[:, :2])
        loss = 5*cls_loss + reg_loss

    cls_losses.append(cls_loss.item())
    mse_losses.append(reg_loss.item())

```

```
losses.append(loss.item())
```

```
loss.backward()
```

```
optim.step()
```

Варто зауважити, що тренування нейронної мережі було виконано протягом 100 епох, що, з використанням графічного прискорювача, для більш швидкої обробки операції матричного множення, тривало 1 годину 23 хвилини.

Так як набір даних генерується з моделі, його можна використовувати для як для тренування так і для тестування. На рис. 2.9 наведені результати для співставлення точності роботи ШНМ.

[0.5161, 0.6156, 0.0000, 0.0000, 1.0000],	[0.6086, 0.6310],	[0., 0., 1.],
[0.8027, 0.6238, 1.0000, 0.0000, 0.0000],	[0.8816, 0.6544],	[1., 0., 0.],
[0.2442, 0.4718, 0.0000, 1.0000, 0.0000],	[0.3324, 0.4743],	[0., 1., 0.],
[0.2209, 0.7231, 1.0000, 0.0000, 0.0000],	[0.3010, 0.7431],	[1., 0., 0.],
[0.3196, 0.3066, 1.0000, 0.0000, 0.0000],	[0.4061, 0.2961],	[1., 0., 0.],
[0.8227, 0.5867, 1.0000, 0.0000, 0.0000],	[0.8973, 0.6160],	[1., 0., 0.],
[0.3630, 0.4604, 1.0000, 0.0000, 0.0000],	[0.4510, 0.4624],	[1., 0., 0.],
[0.5380, 0.3603, 0.0000, 1.0000, 0.0000],	[0.6275, 0.3494],	[0., 1., 0.],
[0.3906, 0.6145, 0.0000, 1.0000, 0.0000],	[0.4841, 0.6305],	[0., 1., 0.],
[0.6786, 0.2484, 0.0000, 0.0000, 1.0000],	[0.7666, 0.2192],	[0., 0., 1.],
[0.8266, 0.4560, 0.0000, 1.0000, 0.0000],	[0.8987, 0.4623],	[0., 1., 0.],
а)	б)	в)

Рисунок 2.9 – Порівняння результатів роботи нейронної мережі, де а) цільова вибірка даних; б) передбачене положення об'єктів; в) передбачені класи об'єктів

Висновки до розділу

При аналізі робіт [33]-[37] було встановлено, що використання нейронних мереж показує більш точні результати та значно спрощує процес моделювання явищ та процесів, що потребують значних обчислювальних потужностей.

Головною перевагою у використанні ШНМ є те, що для отримання математичної моделі об'єкта або явища, маючи вхідні та вихідні дані певної структури, потрібно лише провести декілька експериментів з навчання мережі, використовуючи при цьому різні параметри архітектури, такі як кількість шарів або кількість нейронів певного шару.

Оскільки існуючі алгоритми для виявлення радіація мають низку недоліків, а саме: складність технічної реалізації; висока точність роботи і підвищена швидкодія алгоритму та можливість пошуку низькоактивних джерел радіоактивного випромінювання, без додаткових технічних або алгоритмічних ускладнень, то виникає необхідність розробки алгоритму для компенсації даних недоліків.

У даному розділі обґрунтовано вибір основних складових нейронних мереж: MSE, CE, Class Label Smoothing, функція активації Mish та наведено код для реалізації та тренування штучної нейронної мережі.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МАКЕТНОГО ЗРАЗКУ ТА ЙОГО ТЕСТУВАННЯ

3.1 Розробка макетного зразку

Макетний зразок реалізовано на базі апаратної платформи Arduino Uno (рис 3.1).

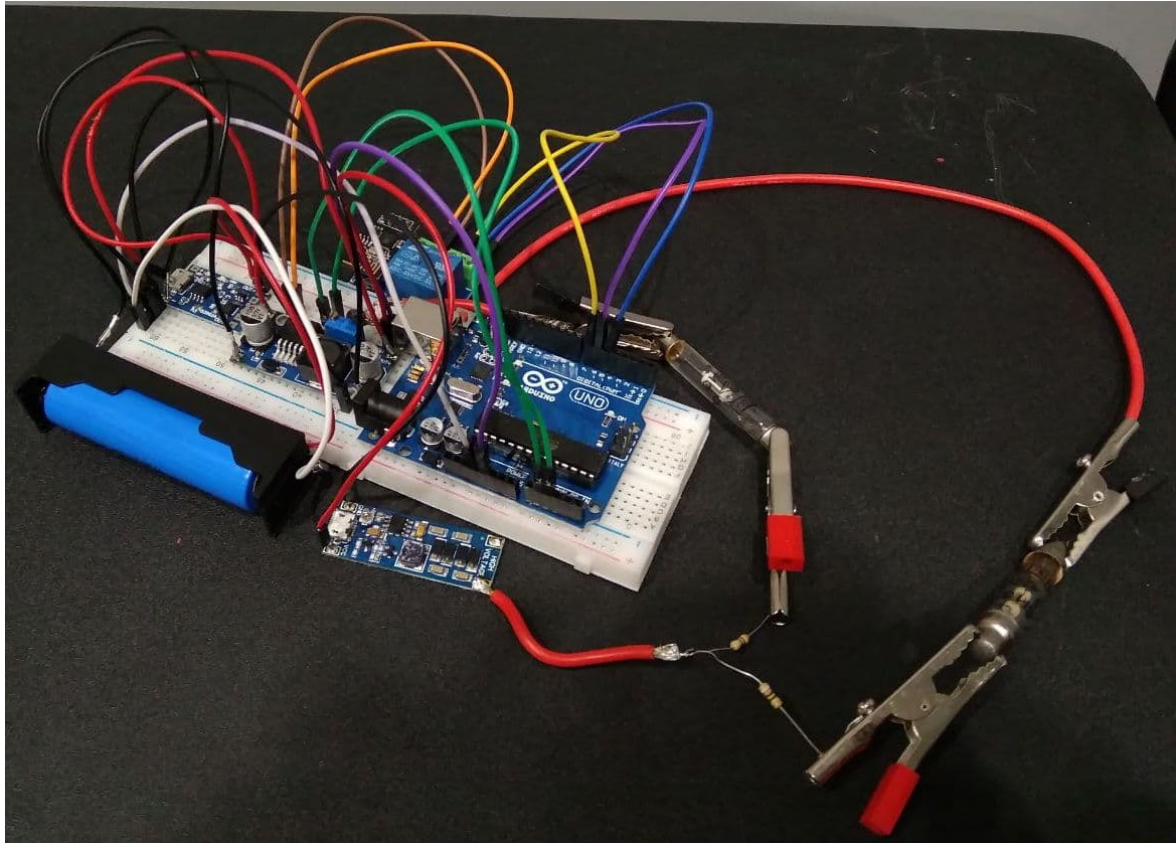


Рис. 3.1 — Макетний зразок

Для розробки макетного зразку було обрано наступні складові: акумулятор 18650, модуль зарядки TP4056, перетворювач напруг MT3608, Wi-Fi модуль Esp-01, перетворювач напруг лічильника Гейгера-Мюллера (модуль HV3V3-400), дві трубки Гейгера-Мюллера (СИЗБГ), два резистори на 10 МОм, два конденсатори на 470 пФ та два транзистори 2N3904.

Розглянемо більш детально технічні характеристики основних елементів схеми.

3.1.1 Технічні характеристики апаратної платформи Arduino Uno

Arduino Uno — це пристрій на базі мікроконтролеру ATmega328. Дана апаратна платформа має 14 входів/виходів, 6 аналогових входів, кварцевий

резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення та роз'єм для внутрішнього програмування (ICSP) [44].

Зовнішній вигляд Arduino Uno представлено на рис. 3.2.

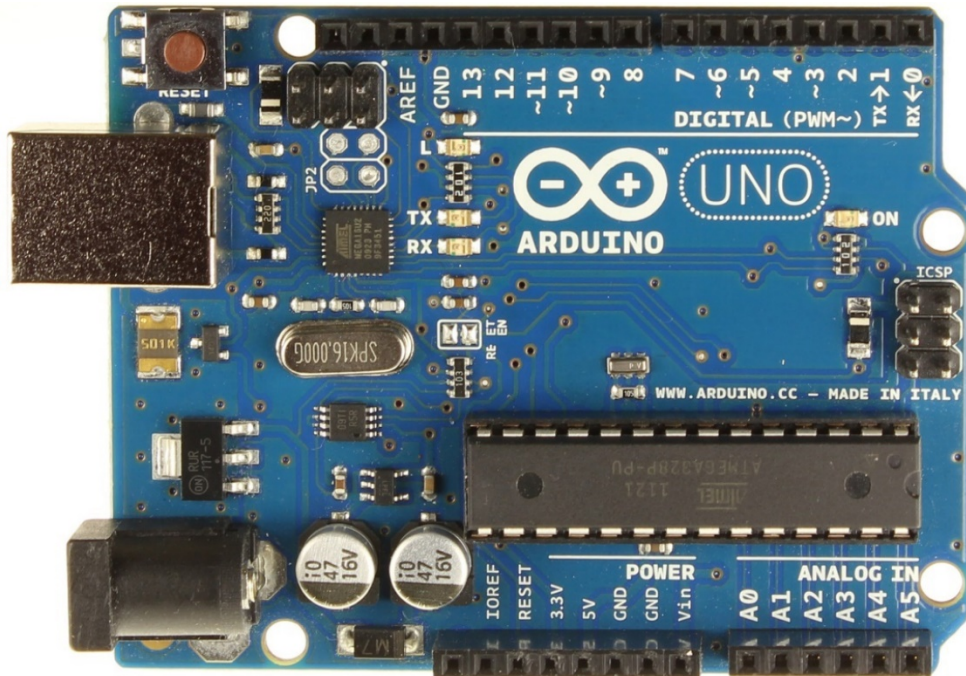


Рис. 3.2 — Arduino Uno

В таблиці 3.1 наведено технічні характеристики Arduino Uno [44].

Таблиця 3.1

Технічні характеристики Arduino Uno

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Напруга джерела (рекомендована)	7-12В
Напруга джерела (гранична)	6-20В
Цифрові входи/виходи	14
Аналогові виходи	6
Максимальний струм одного виводу	40мА
Максимальний вихідний струм виводу	50мА
Flash-пам'ять	32КБ (ATmega328)
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактова частота	16МГц

Для того, щоб передавати дані з Arduino Uno до комп'ютера використовується Wi-Fi модуль.

3.1.2 Технічні характеристики модуля зарядки TP4056

Даний модель реалізовано на базі мікросхеми TP4056 (рис. 3.3). Плата зарядки акумуляторів TP4056 1A Micro USB з захистом, підходить для зарядки Li-Ion елементів з номінальною напругою 3,7В (максимальна напруга 4,2В). Даний модуль видає струм зарядки 1А і відключається після закінчення зарядки. Крім того, коли напруга батареї падає нижче 2,5В навантаження відключається, щоб захистити модуль від роботи при малих напругах, також контролер відключить акумулятор, якщо струм навантаження буде більше 3А [45].



Рис. 3.3 — Контролер заряду Li-Ion акумуляторів TP4056

В таблиці 3.2 наведено технічні характеристики модуля зарядки TP4056 [45].

Таблиця 3.2

Технічні характеристики модуля зарядки TP4056

Метод заряду	CC-CV
Напруга, В	4,2В
Максимальний струм напруги, А	1А
Вихідна напруга, В	4,5-5,5В

3.1.3 Технічні характеристики перетворювача напруг MT3608

Перетворювач напруг MT3608 (рис. 3.4) з вихідною напругою до 28В і максимальним струмом до 2А.



Рис. 3.4 — Перетворювач напруг MT3608

Технічні характеристики модуля зарядки TP4056 [46]:

- Вхідна напруга: 2В-24В;
- Максимальний вихідний струм: 2А;
- Максимальна вихідна напруга: 5В-28В.

3.1.4 Характеристики модулю Wi-Fi Esp-01

Даний модуль застосовується для зв'язку макетного зразку з мобільним пристроєм або ноутбуком через Wi-Fi (рис. 3.5).

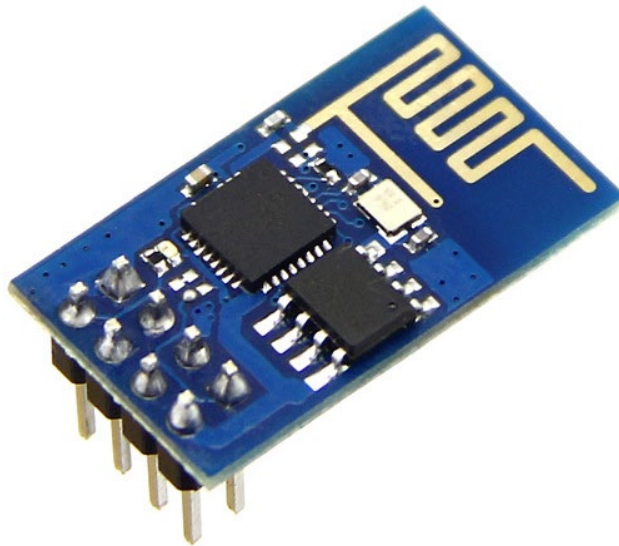


Рис. 3.5 — Wi-Fi модуль Wi-Fi Esp-01

Для роботи з Wi-Fi модулем необхідно створити автономний Web-сервер. Даний Web-сервер контролюється мобільним пристроєм, і до нього можна отримати доступ в будь-якого пристрою з браузером в локальній мережі. Web-

сервер створювався за допомогою Arduino IDE [47]. Код створення Web-серверу наведено в [47].

3.1.5 Технічні характеристики перетворювача напруг лічильника Гейгера-Мюллера

Даний перетворювач напруг зображено на рис. 3.6. При подачі на даний модуль напруг 3-5В на виході модуля генерується висока напруга. Технічні характеристики наведені в таблиці 3.3 [48].

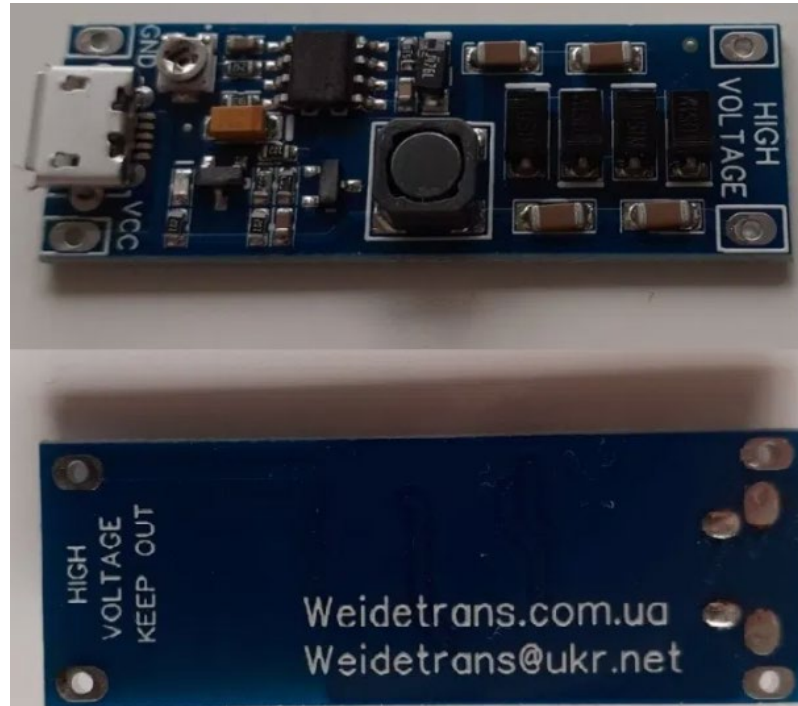


Рис. 3.6 — Перетворювач напруг лічильника Гейгера-Мюллера

Таблиця 3.3

Технічні характеристики перетворювача напруг лічильника Гейгера-Мюллера

Вхідна напруга	3-5В
Рекомендована вхідна напруга	3,3В
Діапазон регулювання вихідної напруги	
- При вхідній напрузі 3,3В	100-800В
- При вхідній напрузі 5В	150-1000В
Максимальне навантаження	1мкА
Рекомендований опір навантаження	10МОм
Споживання	
- При вхідній напрузі 3,3В	18мА
- При вхідній напрузі 5В	28мА

3.1.6 Технічні характеристики трубок Гейгера-Мюллера

Лічильник Гейгера-Мюллера (рис. 3.7) призначено для реєстрації бета- та гамма-випромінювання.



Рис. 3.7 — Лічильник Гейгера-Мюллера

Технічні характеристики трубок наведено в таблиці 3.4 [49]:

Таблиця 3.4

Технічні характеристики лічильника Гейгера-Мюллера

Робоча напруга:	290-330В
Напруга на початку роботи трубки:	380-460В
Швидкість підрахунку імпульсів при 3,6мкР/год:	48-72 імп/хв
Потужність дози:	300 Р/год
Максимальна потужність дози:	900 Р/год
Робочий струм лічильника Гейгера-Мюллера	15-20мкА
Напруга на аноді	
- В імпульсному режимі	380-460В
- У струменевому режимі	382-398В
Термін роботи лічильника	не менше 100 год

3.1.7 Технічні характеристики транзистору 2N3904

Біполярний транзистор 2N3904 (рис. 3.8) використовується в даному макеті оскільки імпульси струму з трубок мають напругу 400В і якщо струм такої напруги подати на Arduino Uno, то вона згорить. Тому через базу та емітер транзистора проходять високовольтні імпульси, а з колектору виходить сигнал 5В на Arduino. Технічні характеристики транзистору 2N3904 наведено в таблиці 3.5 [50].

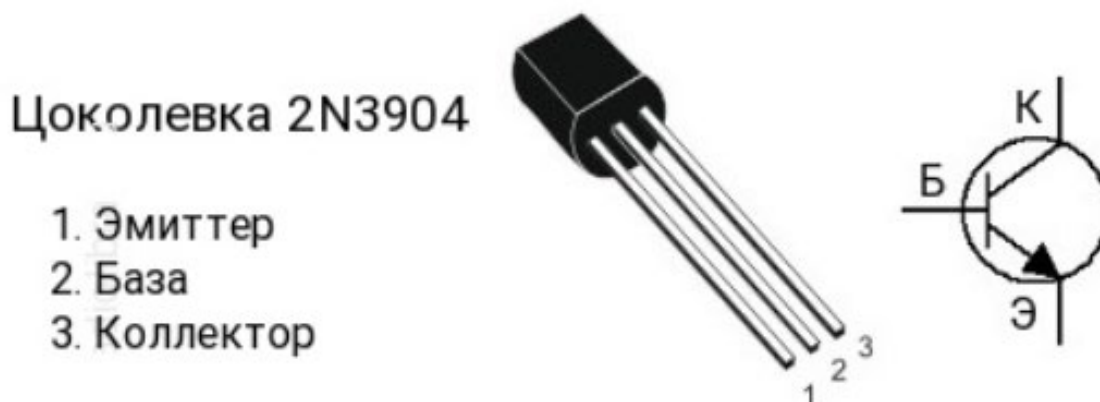


Рис. 3.8 — Біполярний транзистор 2N3904

Таблиця 3.5

Технічні характеристики транзистору 2N3904

Структура	n-p-n
Вихідна напруга колектор-емітер	Не більше 40В
Вихідна напруга колектор-база	Не більше 60В
Вихідна напруга емітер-база	Не більше 6В
Струм колектору	Не більше 2А
Коефіцієнт підсилення транзистору за струмом (h_{fe})	100-300
Розсіювальна здатність колектору	Не більше 0,625Вт
Гранична частота коефіцієнта передачі струму	300МГц

3.2 Основні етапи створення макету

Структурна схема макету зображено нижче:

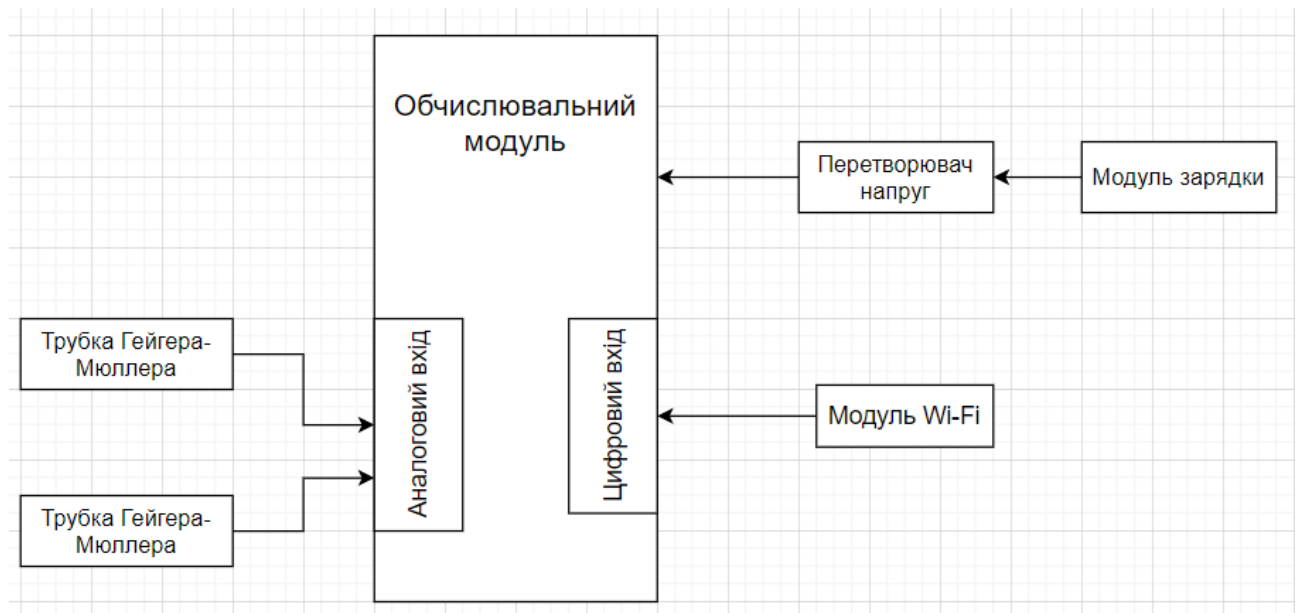


Рис. 3.9 — Структурна схема розробленого макету

Під час зборки макету для початку необхідно підключити модуль зарядки до акумулятору (рис. 3.10).

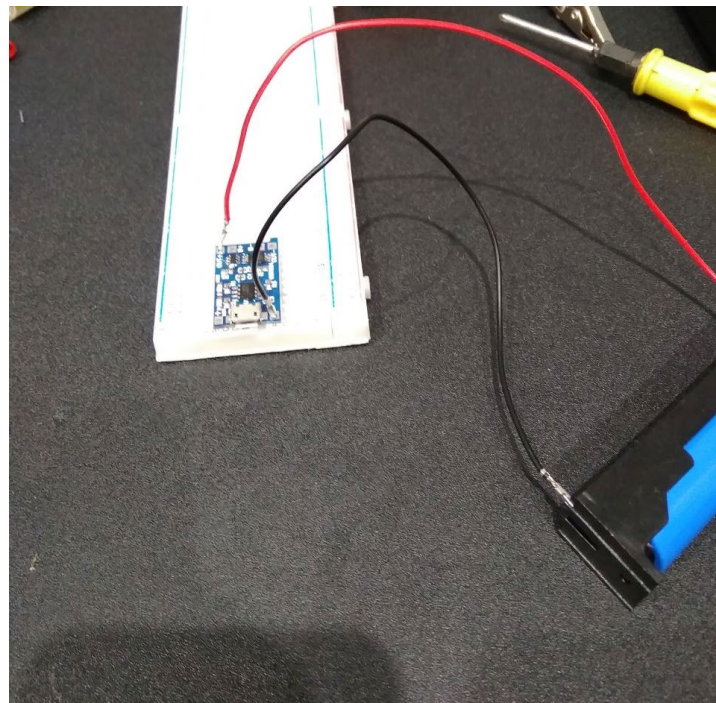


Рис. 3.10 — Підключення модулю зарядки до акумулятору

Потім необхідно підключити маловольтний перетворювач напруги (рис. 3.11).

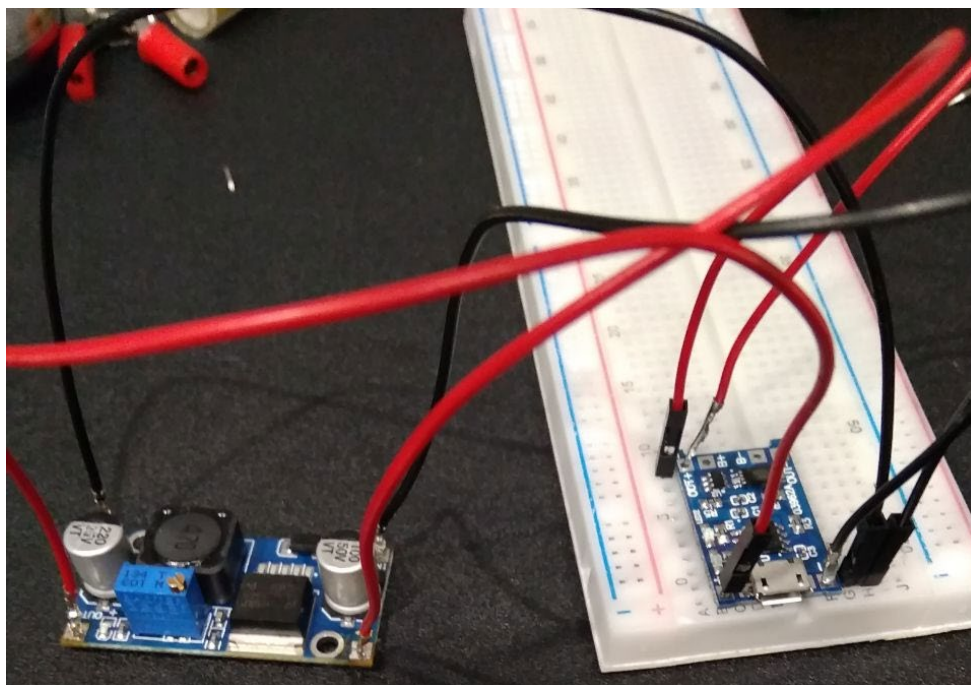


Рис. 3.10 — Підключення маловольтного перетворювача напруги

Змінюючи опір на потенціометрі виставляємо напругу 5В на виході перетворювача. Потім підключаємо модуль високовольтного перетворювача напруг (рис. 3.11).

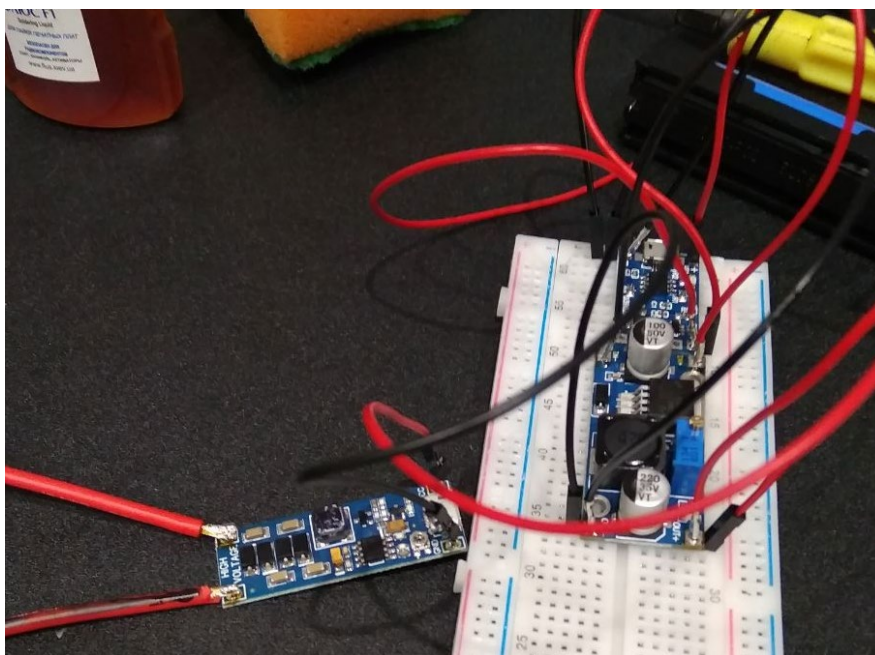


Рис. 3.11 — Підключення високовольтного перетворювача напруги

Потім необхідно припаяти резистори 10 мОм до зажимів, що будуть тримати трубки Гейгера-Мюллера. Далі необхідно спаяти транзистор, конденсатор і резистор на 10 кОм, резистор підключаємо до бази та емітора, а

конденсатор до емітора і колектору. Вхід низьковольтного перетворювача підключаємо до акумулятору. Модуль зарядки, Arduino Uno та вхід високовольтного перетворювача напруг підключаємо до виходу низьковольтного перетворювача. Сам модуль зарядки підключаємо до акумулятору (рис. 3.12).

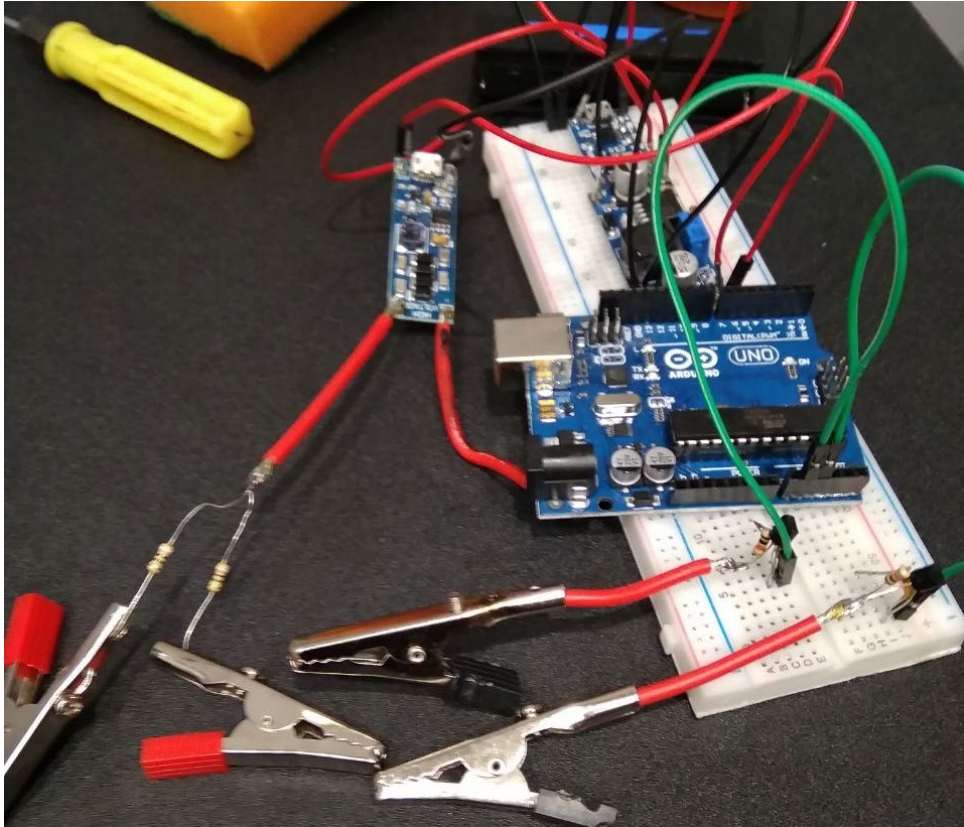


Рис. 3.12 — Підключення транзисторів до Arduino Uno

Після чого вставляємо трубки Гейгера-Мюллера в зажими та підключаємо Wi-Fi модуль до Arduino Uno.

3.3 Тестування макетного зразку та розробленого алгоритму

Після того, як макетний зразок було зібрано перейдемо до тестування його роботи. Для початку перевіримо роботу трубок Гейгера-Мюллера, що підключені до Arduino. Далі отримані дані з Arduino передаються на ноутбук. На рис. 3.13 зображено номер трубки і її кількість імпульсів за секунду. Тобто, трубки Гейгера-Мюллера на вихід подають кількість зареєстрованих радіоактивних частинок

```

File Edit View Terminal Tabs Help
Tube:1 Value:3
Tube:1 Value:1
Tube:1 Value:2
Tube:2 Value:1
Tube:2 Value:3
Tube:2 Value:1
Tube:2 Value:2
Tube:2 Value:3
Tube:2 Value:1
Tube:1 Value:2
Tube:2 Value:3
Tube:2 Value:2
Tube:1 Value:3
Tube:1 Value:1
Tube:2 Value:1
Tube:1 Value:3
Tube:1 Value:3
Tube:2 Value:3
Tube:2 Value:3
Tube:2 Value:3
Tube:1 Value:3
Tube:1 Value:2
Tube:2 Value:1

```

Рис. 3.13 — Тестування роботи трубок Гейгера-Мюллера, що підключені до Arduino Uno

Після того, як було протестовано режим передачі даних з Arduino на ноутбук, протестуємо роботи алгоритму виявлення радіації на базі нейромережі.

Для виявлення різних джерел випромінювання в реальних умовах, був виконаний експеримент, в ході якого тестовий зразок, що має радіаційний фон приблизно 0,02 мкЗв/год. розміщуємо на відстані 50 см від макетного зразку (рис. 3.14) та запускаємо нейромережу (рис. 3.15).



Рис. 3.14 — Розміщення тестового зразку на відстані 50 см

File	Edit	View	Terminal	Tabs	Help
Відстань:0.375 м, Кут:2.93 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год					
Відстань:0.379 м, Кут:2.90 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год					
Відстань:0.392 м, Кут:0.93 град, Клас: фон, Значення:0.017 мкЗв/год					
Відстань:0.375 м, Кут:1.05 град, Клас: фон, Значення:0.017 мкЗв/год					
Відстань:0.391 м, Кут:3.31 град, Клас: фон, Значення:0.019 мкЗв/год					
Відстань:0.389 м, Кут:1.99 град, Клас: фон, Значення:0.022 мкЗв/год					
Відстань:0.382 м, Кут:2.91 град, Клас: фон, Значення:0.019 мкЗв/год					
Відстань:0.381 м, Кут:2.03 град, Клас: фон, Значення:0.019 мкЗв/год					
Відстань:0.370 м, Кут:2.45 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год					
Відстань:0.375 м, Кут:1.59 град, Клас: фон, Значення:0.017 мкЗв/год					
Відстань:0.375 м, Кут:1.48 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год					
Відстань:0.390 м, Кут:3.42 град, Клас: фон, Значення:0.023 мкЗв/год					
Відстань:0.392 м, Кут:3.43 град, Клас: фон, Значення:0.018 мкЗв/год					
Відстань:0.390 м, Кут:2.89 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год					
Відстань:0.372 м, Кут:1.83 град, Клас: фон, Значення:0.022 мкЗв/год					
Відстань:0.374 м, Кут:2.68 град, Клас: фон, Значення:0.025 мкЗв/год					
Відстань:0.381 м, Кут:1.29 град, Клас: фон, Значення:0.019 мкЗв/год					
Відстань:0.384 м, Кут:3.39 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год					
Відстань:0.383 м, Кут:2.23 град, Клас: фон, Значення:0.023 мкЗв/год					
Відстань:0.391 м, Кут:2.50 град, Клас: фон, Значення:0.024 мкЗв/год					
Відстань:0.391 м, Кут:1.04 град, Клас: фон, Значення:0.016 мкЗв/год					
Відстань:0.373 м, Кут:3.37 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год					
Відстань:0.393 м, Кут:2.16 град, Клас: фон, Значення:0.018 мкЗв/год					
Відстань:0.390 м, Кут:1.53 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год					

Рис. 3.15 — Результат роботи нейронної мережі. Якщо тестовий зразок розміщено приблизно на відстані 50 см від макету

Дані з прибору передаються по мірі реєстрації імпульсів. Для роботи нейронної мережі використовуються значення, що були отримані за останні 2 секунди, тому на вихід формується значення за даним інтервалом.

Під час проведення наступного експерименту тестовий зразок знаходився відносно макета на відстані 80 см (рис. 3.16).



Рис. 3.16 — Розміщення тестового зразку на відстані 80 см від макету

Результат роботи нейронної мережі показано на рис. 3.17.


```

File Edit View Terminal Tabs Help
Відстань:0.757 м, Кут:1.10 град, Клас: фон, значення:0.017 мкЗв/год
Відстань:0.766 м, Кут:0.73 град, Клас: фон, значення:0.021 мкЗв/год
Відстань:0.765 м, Кут:0.67 град, Клас: фон, значення:0.017 мкЗв/год
Відстань:0.753 м, Кут:0.68 град, Клас: фон, значення:0.023 мкЗв/год
Відстань:0.755 м, Кут:1.13 град, Клас: фон, значення:0.022 мкЗв/год
Відстань:0.763 м, Кут:0.82 град, Клас: фон, значення:0.016 мкЗв/год
Відстань:0.771 м, Кут:0.93 град, Клас: фон, значення:0.017 мкЗв/год
Відстань:0.774 м, Кут:0.91 град, Клас: фон, значення:0.022 мкЗв/год
Відстань:0.775 м, Кут:1.11 град, Клас: фон, значення:0.021 мкЗв/год
Відстань:0.755 м, Кут:1.14 град, Клас: фон, значення:0.020 мкЗв/год
Відстань:0.755 м, Кут:1.04 град, Клас: фон, значення:0.023 мкЗв/год
Відстань:0.771 м, Кут:1.07 град, Клас: фон, значення:0.022 мкЗв/год
Відстань:0.763 м, Кут:0.92 град, Клас: фон, значення:0.022 мкЗв/год
Відстань:0.751 м, Кут:1.01 град, Клас: фон, значення:0.023 мкЗв/год
Відстань:0.757 м, Кут:0.78 град, Клас: фон, значення:0.023 мкЗв/год
Відстань:0.770 м, Кут:1.06 град, Клас: фон, значення:0.021 мкЗв/год
Відстань:0.767 м, Кут:1.03 град, Клас: фон, значення:0.015 мкЗв/год
Відстань:0.772 м, Кут:0.98 град, Клас: фон, значення:0.015 мкЗв/год
Відстань:0.769 м, Кут:1.01 град, Клас: фон, значення:0.020 мкЗв/год
Відстань:0.763 м, Кут:0.75 град, Клас: фон, значення:0.023 мкЗв/год
Відстань:0.764 м, Кут:0.71 град, Клас: фон, значення:0.024 мкЗв/год
Відстань:0.772 м, Кут:0.58 град, Клас: фон, значення:0.016 мкЗв/год
Відстань:0.752 м, Кут:0.92 град, Клас: фон, значення:0.022 мкЗв/год
Відстань:0.759 м, Кут:0.82 град, Клас: фон, значення:0.017 мкЗв/год

```

Рис. 3.17 — Результат роботи нейронної мережі, під час проведення другого експерименту

В ході виконання третього експерименту було незначно змінено кут розташування тестового зразку відносно (рис. 3.18), а відстань до макету залишилась такою ж.



Рис. 3.18 — Розміщення тестового зразку під кутом до макету

Результат роботи нейронної мережі під час проведення третього експерименту зображено нижче.

```

File Edit View Terminal Tabs Help
Відстань:0.803 м, Кут:4.89 град, Клас: фон, Значення:0.018 мкЗв/год
Відстань:0.800 м, Кут:5.98 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год
Відстань:0.792 м, Кут:6.07 град, Клас: фон, Значення:0.017 мкЗв/год
Відстань:0.783 м, Кут:5.60 град, Клас: фон, Значення:0.016 мкЗв/год
Відстань:0.795 м, Кут:4.98 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год
Відстань:0.783 м, Кут:5.78 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год
Відстань:0.800 м, Кут:7.09 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год
Відстань:0.796 м, Кут:6.02 град, Клас: фон, Значення:0.019 мкЗв/год
Відстань:0.805 м, Кут:4.78 град, Клас: фон, Значення:0.023 мкЗв/год
Відстань:0.804 м, Кут:6.33 град, Клас: фон, Значення:0.016 мкЗв/год
Відстань:0.802 м, Кут:7.05 град, Клас: фон, Значення:0.019 мкЗв/год
Відстань:0.798 м, Кут:5.46 град, Клас: фон, Значення:0.017 мкЗв/год
Відстань:0.788 м, Кут:5.82 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год
Відстань:0.802 м, Кут:4.95 град, Клас: фон, Значення:0.025 мкЗв/год
Відстань:0.789 м, Кут:5.81 град, Клас: фон, Значення:0.020 мкЗв/год
Відстань:0.796 м, Кут:6.49 град, Клас: фон, Значення:0.023 мкЗв/год
Відстань:0.795 м, Кут:5.71 град, Клас: фон, Значення:0.016 мкЗв/год
Відстань:0.787 м, Кут:6.29 град, Клас: фон, Значення:0.024 мкЗв/год
Відстань:0.792 м, Кут:6.74 град, Клас: фон, Значення:0.017 мкЗв/год
Відстань:0.803 м, Кут:5.32 град, Клас: фон, Значення:0.016 мкЗв/год
Відстань:0.800 м, Кут:6.57 град, Клас: фон, Значення:0.018 мкЗв/год
Відстань:0.801 м, Кут:7.26 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год
Відстань:0.801 м, Кут:6.71 град, Клас: фон, Значення:0.016 мкЗв/год
Відстань:0.802 м, Кут:5.17 град, Клас: фон, Значення:0.017 мкЗв/год

```

Рис. 3.19 — Результат роботи нейронної мережі, під час проведення третього експерименту

Під час проведення четвертого експерименту було протестовано алгоритм на фонове випромінювання гранітних пам'ятників (рис. 3.20). Граніт має рівень випромінювання 0,02-0,05 мкЗв/год і майже не несе для людини ніяких загроз.

```

Відстань:0.20 м, Кут:86.09 град, Клас: фон, Значення:0.031 мкЗв/год
Відстань:0.26 м, Кут:88.72 град, Клас: фон, Значення:0.026 мкЗв/год
Відстань:0.23 м, Кут:87.19 град, Клас: фон, Значення:0.028 мкЗв/год
Відстань:0.24 м, Кут:88.39 град, Клас: фон, Значення:0.024 мкЗв/год
Відстань:0.31 м, Кут:88.28 град, Клас: фон, Значення:0.028 мкЗв/год
Відстань:0.34 м, Кут:87.85 град, Клас: фон, Значення:0.033 мкЗв/год
Відстань:0.22 м, Кут:86.68 град, Клас: фон, Значення:0.021 мкЗв/год
Відстань:0.25 м, Кут:86.76 град, Клас: фон, Значення:0.022 мкЗв/год
Відстань:0.26 м, Кут:88.31 град, Клас: фон, Значення:0.022 мкЗв/год
Відстань:0.30 м, Кут:87.05 град, Клас: фон, Значення:0.034 мкЗв/год

```

Рис. 3.20 — Тестування роботи алгоритму для виявлення радіаційного фону

Для оцінки точності передбачення відстані до джерела випромінювання та знаходження робочого радіусу, було побудовано графік залежності середньоквадратичної похибки від відстані. Виходячи з графіку (рис. 3.21), робочий радіус знаходження координат радіоактивних об'єктів становить 7 метрів.

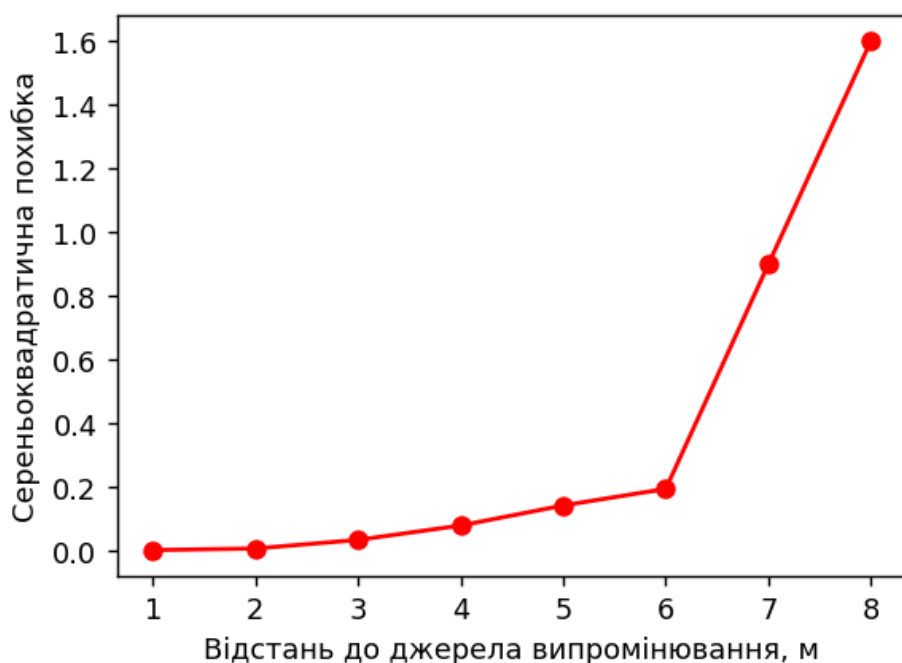


Рис. 3.21 — Графік залежності середньоквадратичної похибки від відстані

Так як розроблений алгоритм також класифікує джерела за рівнем небезпеки, було проведено дослідження точності визначення класу в залежності від відстані (рис. 3.22). У якості джерела випромінювання було обрано контрольне джерело гамма випромінювання на основі радіозотопу ^{152}Eu , що було надано в оренду для проведення оцінки точності класифікації [51].

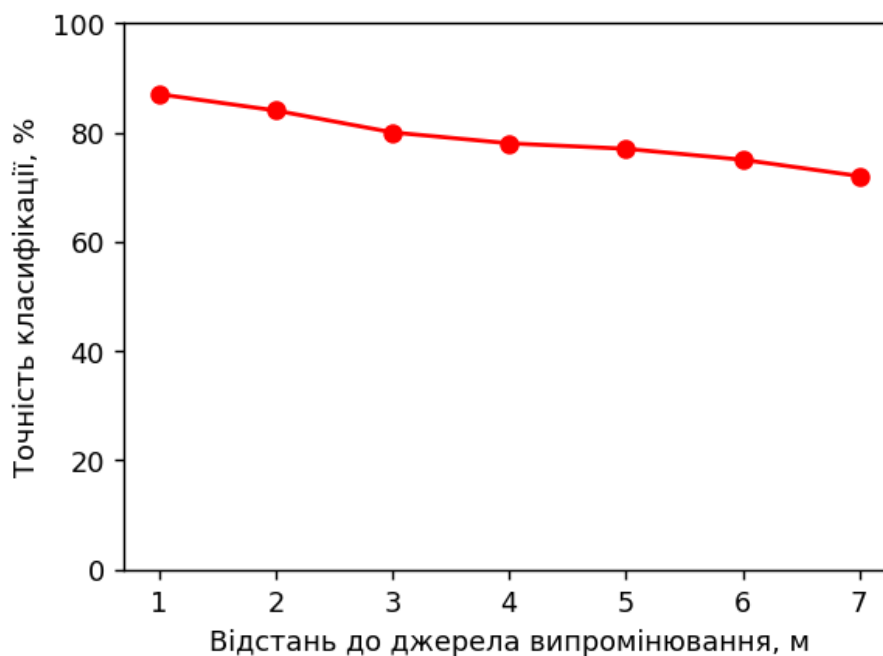


Рис. 3.22 — Точність визначення класу в залежності від відстані до об'єкту

Як можна бачити, відстань у робочому діапазоні не суттєво впливає на передбачення класу джерела випромінювання.

З [52] було отримано статистичні дані щодо роботи дозиметру гамма-випромінювання та рентгенівського випромінювання ДКГ-РМ1610. На основі цих даних було проведено дослідження швидкості підрахунку імпульсів, середнього значення точності в залежності від затраченого часу виміру та точності вимірювання до кількості радіоактивних джерел в радіусі 10 метрів.

На графіку (рис. 3.23) зображено залежність необхідного часу вимірювання від швидкості підрахунку імпульсів. При малій швидкості реєстрування проходження частинок через трубку, зменшується точність виміру радіаційного фону.

Даний графік демонструє, скільки часу потрібно щоб середнє значення вимірів припинило виходити за рамки 5-ти відсоткового діапазону.

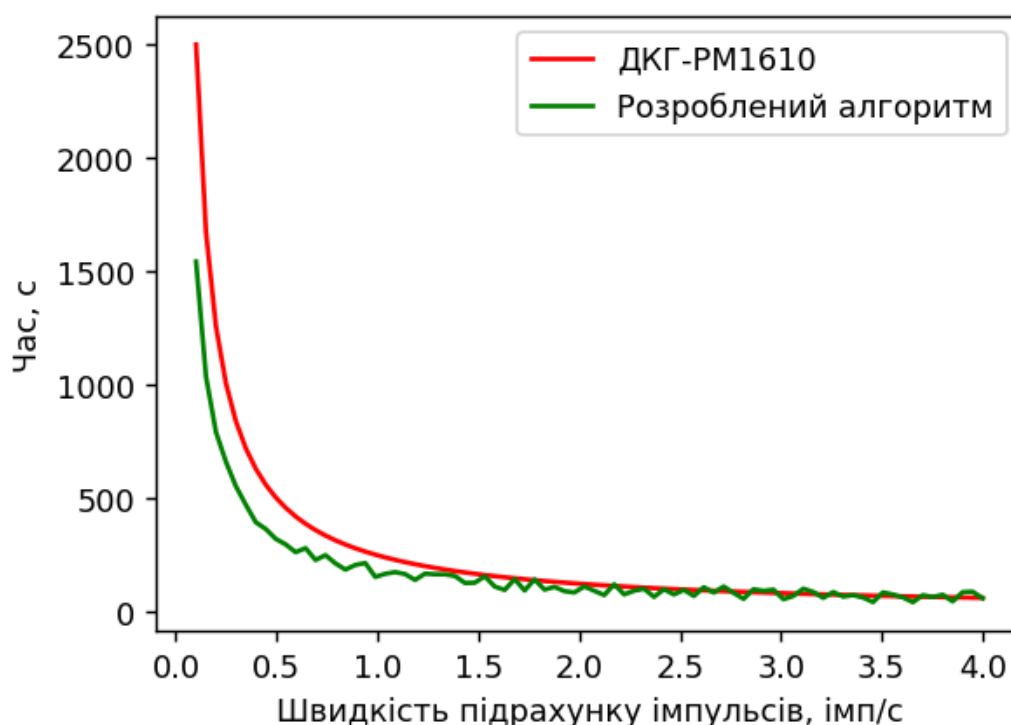


Рис. 3.23 — Залежність часу вимірювання від швидкості підрахунку імпульсів у дозиметрі ДКГ-РМ1610 та власному алгоритмі

Середнє значення точності в залежності від затраченого часу виміру (рис. 3.24).

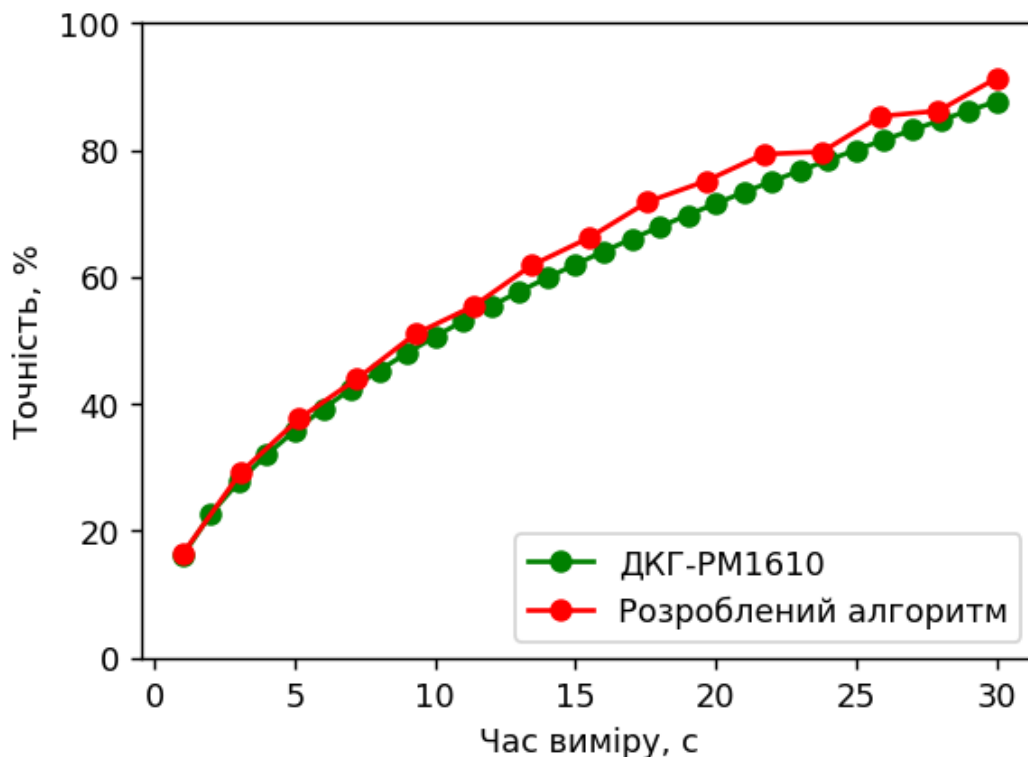


Рис. 3.24 — Середнє значення точності в залежності від затраченого часу виміру у дозиметрі ДКГ-PM1610 та власному алгоритмі

Як можна бачити, розроблений алгоритм має невелику перевагу в порівнянні з ДКГ-PM1610. Середнє значення точності були розраховані на вибірках розміром від 10 до 30 значень.

На рис. 3.25 графік зображує відношення точності вимірювання до кількості радіоактивних джерел в радіусі 10 метрів. Додавання нового джерела збільшує показники радіоактивності, таким чином, зашумуючи новими імпульсами канал рахунку. Точність ДКГ-PM1610 при збільшенні числа джерел стрімко падає, що свідчить про неможливість використовувати його для достовірного визначення фону декількох об'єктів. Натомість, спад точності при використанні розробленого алгоритму не є суттєвим, що становить однією з його головних переваг.

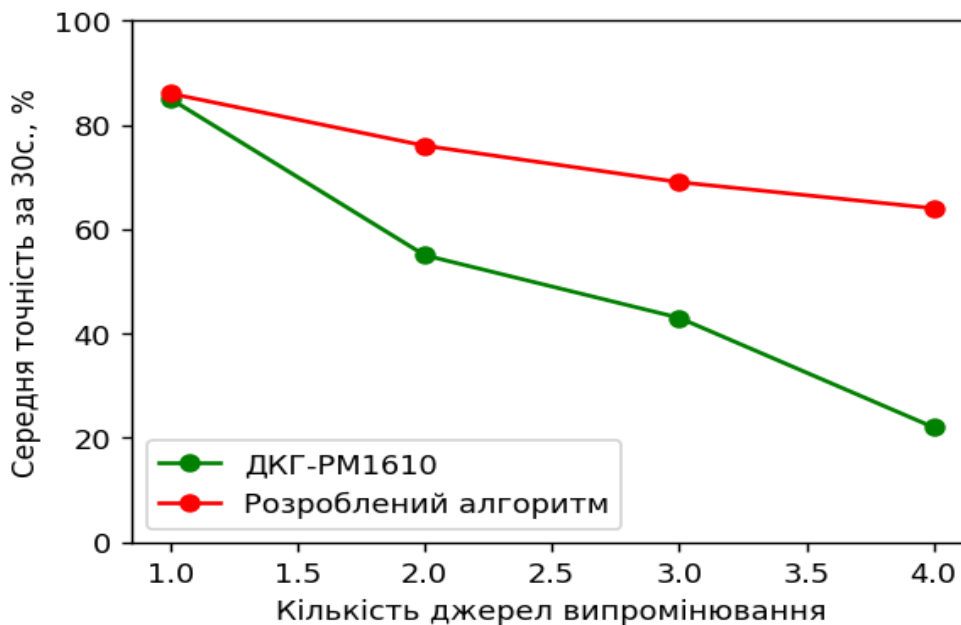


Рис. 3.25 — Відношення точності вимірювання до кількості радіоактивних джерел в радіусі 10 метрів у дозиметрі ДКГ-РМ1610 та власному алгоритмі

Висновки до розділу

В даному розділі наведено реалізація макетного зразку, описані технічні характеристики основних елементів схеми та описано процес проведення тестувань робити даного алгоритму.

Для підтвердження працездатності і ефективності розробленого методу було створено макетний зразок на базі апаратної плати Arduino Uno чутливими елементами трубками Гейгера-Мюллера.

Алгоритм, що базується на нейронній мережі типу FNN при проведенні випробовувань з визначення рівня радіації показав ефективність у порівнянні із показами «ДКГ-РМ1610» на 2-3%. Дані результати пов'язані з тим, що у дозиметрі «ДКГ-РМ1610» використано більш чутливі трубки Гейгера-Мюллера (Гамма-3-1, з чутливістю $1900 \div 2700 \text{ імп} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Р}^{-1} \cdot \text{год}$), а у макетному зразку використано найпростіші трубки Гейгера-Мюллера (СИЗБГ, з чутливістю $800 \div 1200 \text{ імп} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Р}^{-1} \cdot \text{год}$), проте використання нейронної мережі компенсує різницю чуттєвості трубок. Також використання нейронних мереж дозволяє визначати наближені координати джерела радійного фону.

При тестуванні макетного зразку було проведені випробування з визначення місцеположення радіоактивних об'єктів. Так як серед існуючих приборів не має аналогів, оцінка роботи була проведена за допомогою розрахунку середньоквадратичної похибки (MSE) від еталонних даних.

В подальшому можлива модифікація алгоритму та розробка нових функцій. Також можна змінити чуттєвий елемент (трубки Гейгера-Мюллера) на більш сучасний елемент для більш кращої роботи дозиметру.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Розробка стартап-проекту «RadioInstant»

Базовою стратегією стартапу є задоволення спільних інтересів шляхом формування прийнятної пропозиції з обопільною корисністю. Однак, створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка.

У даному розділі наведена розробка проектної пропозиції для проекту, що було створено у рамках магістерської дисертації. Очевидно, що результати даної дисертаційної роботи є важливими з соціальної та економічної точок зору. Дана робота є інноваційною та потрібною суспільству. У загальному, суттю роботи є виявлення радіації автономним пристроєм на базі апаратної плати Arduino Uno.

4.2 Опис ідеї

Надмірна діяльність людини дуже часто призводить до катастроф, яскравим тому прикладом є аварія на ЧАЕС. Після вибуху 4 ядерного реактору у навколишнє середовище потрапило близько 7,4 тони радіоактивної речовини. В перші тижні аварії на Чорнобилі основну небезпеку становило гамма-випромінювання і наявність ізотопу йоду-131 в атмосфері.

Проте не лише аварії на атомних станціях призводять до підвищення рівня радіації у повітрі. Радіаційний фон формується під впливом трьох чинників: космічне випромінювання, випромінювання від корисних копалин, що знаходяться в земній корі та штучне випромінювання радіонуклідів.

Космічне випромінювання потрапляє до Землі у вигляді протонів, з великою кількістю енергії. Кожен житель нашої планети в середньому від випромінювання з космосу одержує протягом року дозу в 300 мкЗв. До земних джерел радіаційного випромінювання належить близько 60 природних радіонуклідів. Наприклад, на території України є велика кількість граніту, гнейсу, глини — ці породи мають в своєму складі радіоактивні елементи, а отже вони випромінюють радіаційний фон, величина якого складає 10-20 мкР/год.

Предметом проекту є розробка автономної системи радіаційного контролю на базі апаратної платформи Arduino Uno та з застосуванням систем штучного інтелекту.

Основними задачами проекту є розробка алгоритму виявлення радіації з використанням нейронної мережі; підвищення точності виявлення радіоактивного джерела; розробка алгоритму для виявлення низькоактивних радіоактивних джерел та побудова радіаційних карт в режимі реального часу.

Основною ідеєю проекту є підвищення точності виявлення радіоактивних джерел, що дозволяє попередити користувача пристрою про наближення до небезпечного об'єкту.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Алгоритм виявлення радіоактивного джерела	Використання окремими користувачами у власних цілях	Точність виявлення радіоактивного джерела, виявлення низькоактивних радіоактивних джерел та побудова радіаційних карт в режимі реального часу.
	Використання на АЕС	
	Побутове використання	

Отже, пропонується алгоритм для виявлення радіоактивного джерела, що працює з більшою точністю виявлення радіоактивних джерел відносно більшості представлених на ринку автономних систем радіаційного контролю.

Проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів. Для цього необхідно визначити перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; попередній перелік конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та провести збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів

відповідно до визначеного вище переліку і провести порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають гірші значення, аналогічні значення та кращі значення (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ н/ п	Техніко- Економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральн а сторона	S (сильна сторона)
		Мій проект	Atom Fast	Smart Geiger PRO			
1	Вартість пристрою (у грн.)	750	5000	3600	-	-	+
2	Складність технічної реалізації	Відсутня	Наявна	Відсутня	-	+	-
3	Точність роботи алгоритму	Висока	Середня	Середня	-	-	+
4	Технології, що застосовані в дозиметрі	Старі покраще ні	Нові	Нові	-	+	-
5	Крос-платформна робота мобільного додатку для обробки отриманих результатів	Ні, на даний момент мобільни й додаток працює лише на Android	Так	Так	+	-	-

Отже, можна зробити висновок, що головними перевагами для користувача є вартість пристрою та точність роботи алгоритму. Нейтральними сторонами є складність технічної реалізації та технології, що були застосовані під час розробки пристрою. Складність технічної реалізації, а іншими словами її відсутність одна з основних переваг серед аналогів, оскільки чим легша схема пристрою, тим менше буде ціна дозиметру. З технологіями, що використовуються в дозиметрі ситуація аналогічна, чим новіші технології використовуються, тим дорожче буде кінцева вартість товару.

Проте, можна помітити, що у приладу окрім сильних та нейтральних сторін є й слабка сторона, а саме: мобільний додаток для обробки результатів

вимірювання, на даний момент часу, є лише для користувачів Android. За статистикою користувачів Android більше, чим користувачів IOS. Оскільки проект тільки виходить на ринок і немає можливості охопити інтереси усіх користувачів, то проект розроблений лише під більшу частину ринку.

4.3 Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 4.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

В таблиці 4.3 проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Алгоритм для виявлення радіоактивних джерел	Розробка алгоритму виявлення радіації з використанням нейронних мереж	Нова технологія	Доступна технологія
2		Розробка алгоритму з використанням диференційно алгоритмічного методу	Існуюча технологія	Доступна технологія
3		Розробка алгоритму роботи пристрою в режимі детектору	Існуюча технологія	Доступна технологія
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: за рахунок розробки алгоритму з використанням нейронних мереж				

Проаналізувавши таблицю 4.3. було обрано пункт під номером 1, оскільки використання систем штучного інтелекту не лише покращить точність виявлення радіоактивних джерел, а й збільшить швидкість роботи алгоритму, що в свою чергу дозволить даному проекту конкурувати на ринку. Окрім цього,

використання нейронних мереж для радіаційного контролю принципово нове рішення, а отже даний продукт на ринку буде єдиний.

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, що можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяють спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів конкурентів.

Рентабельність – поняття, що характеризує економічну ефективність виробництва, за якої за рахунок грошової виручки від реалізації продукції (робіт, послуг) повністю відшкодовує витрати на її виробництво й одержується прибуток як головне джерело розширеного відтворення [53].

Для кількісного виміру рентабельності в цілому по аграрних підприємствах використовують такі три традиційні показники: рівень рентабельності, норму прибутку і приведену до земельної площі масу прибутку. Рівень рентабельності (R) визначається за формулою 4.1:

$$R = \frac{\Pi}{Вв} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

де Π — валовий прибуток від реалізації (робіт, послуг); $Вв$ — виробничі витрати на реалізовану продукцію (її виробнича собівартість).

Для повнішої уяви про реальну ефективність певного виду товарної продукції доцільно цей показник обчислювати з врахуванням витрат на її збут, зменшивши при цьому валовий прибуток на величину цих витрат і водночас збільшивши на них знаменник формули .

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За умови, що останній є вищим, можливо, має сенс вкласти кошти в інший проект.

Проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	5000-10000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнація
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Висока конкуренція
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність стандартам ГОСТ 14254-96, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 26104-89, ГОСТ 12.1.004-9 та ГОСТ 12.2.007.0-75.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	34%

Провівши аналіз попиту, можна зробити висновок, що коефіцієнт рентабельності достатньо високий. Оскільки, середня норма рентабельності складає більш ніж 30%, що майже вдвічі вигідніше за депозити в банку, а це в свою чергу, найбільше приваблює інвесторів.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Точність виявлення радіоактивного джерела	Ліквідатори аварій на АЕС, інспектори радіаційної безпеки	Перевага надається новим алгоритмам з покращеними характеристиками	Низька ціна та висока точність кінцевого продукту
2	Виявлення низькоактивних джерел радіації	Інспектори радіаційної безпеки	Перевага надається сигналізаторам або детекторам	Низька ціна та висока точність кінцевого продукту

3	Побудова радіаційних карт в режимі реального часу	Інспектори радіаційної безпеки та будь-які заінтересовані особи	Перевага надається дозиметрам, що можуть підключатись до телефонів	Точність побудови та низька ціна
---	---	---	--	----------------------------------

Потреби, що формують ринок є точність виявлення радіоактивного джерела, можливість виявлення низькоактивних джерел радіації та побудова радіаційних карт в режимі реального часу. При цьому потенційні клієнти потребують нижчої ціни пристрою та високої точності роботи

Ринкові можливості – це сприятливі обставини, які підприємство може використовувати для отримання переваг. Як приклад ринкових можливостей можна привести погіршення позицій конкурентів, різке зростання попиту, появу нових технологій виробництва продукції, зростання рівня доходів населення і т. п. Слід зазначити, що можливостями з погляду SWOT-аналізу є не всі можливості, які існують на ринку, а тільки ті, які можна використовувати [54].

Проведемо аналіз факторів ринкового середовища, що сприяють ринковому впровадженню (табл. 4.6) проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.7).

Таблиця 4.6
Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Потреба в розробці точніших алгоритмів виявлення радіації	Знаходження або переманювання кваліфікованих кадрів для написання алгоритму	Підвищення робітникам заробітної плати для утримання їх на робочих місцях
2	Потреба в крос-платформленості пристрою	Програма не повинна працювати тільки на одному програмному забезпеченні	Відведення додаткового часу та ресурсів для вирішення цієї проблеми
3	Потреба в сучасних технологіях розробки	Використання сучасних компонентів сприятиме підвищенні	Співпраця з виробниками напівпровідників, взаємовигода від співпраці

		ефективності системи в цілому	
4	Потреба роботи пристрою у режимі спектрометру	Програма має працювати у різних режимах для задоволення потреб усіх користувачів	Написання програмістами компанії оновлених алгоритмів
5	Потреба роботи пристрою у режимі детектору		

Отже, при виведенні проекту на ринок необхідно враховувати усі загрози та ризики. Основними ризиками даного проекту може бути потреба у різних режимах роботи та точності роботи алгоритмів, використання сучасних алгоритмів роботи дозволить швидко реагувати на можливі загрози.

Розглянемо можливості даного проекту (табл. 4.7)

Таблиця 4.7

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання конкурентів	Зростання конкурентноспроможних розробок	Покращення характеристик системи та розробка нових функцій
2	Поява схожих алгоритмів виявлення радіації у конкурентів	Конкуренти можуть розробити аналогічні або дуже схожі алгоритми роботи	Оформлення заявки на патент для власної розробки
3	Стрімкий розвиток технологій	Розвиток нових сучасних технологій	Перехід на сучасні технології

Разом з розширенням ринку та плином часу фактори можливостей будуть збільшуватись, разом з тим будуть збільшуватись і загрози, тому необхідно швидко реагувати за можливості і загрози.

Проведемо аналіз пропозиції (табл. 4.8) та визначимо загальні риси конкуренції на ринку:

Таблиця 4.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії)
--------------------------------------	---	--

		компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: Олігополія	На ринку налічується не багато фірм, що випускають дані пристрої.	Необхідно слідкувати за якістю елементів пристрою та точністю роботи алгоритмів
2. За рівнем конкурентної боротьби: національний	Користувачами даного пристрою можуть бути фірми з усього світу. Доставка товару не відіграє особливої ролі для користувачів	Необхідно розширювати сегмент користувачів
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Основною галуззю є радіаційний контроль.	Необхідно розширювати функціональні можливості даного пристрою
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Спостерігається конкуренція між схожими алгоритмами	Підвищення точності та ефективності алгоритмів
5. За характером конкурентних переваг: цінова	Ціни на дані пристрої не високі, за допомогою нового алгоритму та нових компонентів збільшується якість продукції	Необхідність використання нових технологій та якісних елементів для дозиметричного пристрою.
6. За інтенсивністю: марочна	Велику роль відіграє репутація компанії, що виготовляє пристрій	Збільшити просування товару, покращити взаємодію з користувачами

Провівши ступеневий аналіз на ринку, можна зробити висновок, що на ринку достатньо конкурентоспроможних пристроїв, проте як вже було зазначено вище, використання елементів штучного інтелекту для радіаційного контролю дає змогу покращити швидкодію та точність алгоритму, при цьому не збільшуючи кінцеву вартість пристрою.

Далі проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю п'яти сил М. Портера (табл. 4.9) [55].

Таблиця 4.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
--	------------------	-----------------------	---------------	---------	------------------

Складові аналізу	ти в галузі				
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки: ринок є достатньо заповнений конкурентоспроможними пристроями, конкуренція висока, оскільки дані пристрої добре зарекомендували себе в якості систем контролю радіації. Завадою до входу на ринок також є значна сума капіталовкладень.	Atom Fast, Smart Geiger PRO, Terra-P, Gamma Sapiens, Ecotest VIP, дозиметр-радіометр МКС-АТ6130 та МКС-17Д «Зяблик»	Висока репутація конкурентних фірм; необхідний розмір інвестицій та необхідний час для проходження сертифікацій якості та безпечності пристрою.	Зазвичай постачальники не диктують умови співпраці	Користувачам важлива низька ціна та висока точність роботи	Точніші алгоритми для виявлення радіоактивних джерел, які можуть надати товари-замінники.

Провівши аналіз конкуренції в галузі за М. Портером видно, що є достатня кількість прямих конкурентів, що гарно зарекомендували себе на ринку, тому необхідно постійно слідкувати за якістю та точністю роботи свого пристрою. Також, необхідно постійно покращувати алгоритми роботи та технології.

На основі аналізу конкуренції в галузі, що наведено в таблиці 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, які були розглянуті в таблиці 4.2, вимог споживачів до товару (табл. 4.5.) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6, 4.7) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз конкурентоспроможності представлено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
-------	-------------------------------	---

1	Швидкодія роботи алгоритму виявлення радіації та його точність	Використання нових алгоритмів та систем, що підвищують швидкодію та точність алгоритму
2	Цінова політика	Ціна на продукт буде значно нижчою ніж у конкурентів
3	Крос-платформленість	Зв'язок дозиметру не тільки з Android, а й з IOS. В подальшому робота зв'язок пристрою з ПК та ноутбуками.
4	Зворотній зв'язок	Користувачі потребуються консультування як в технічних так і в експлуатаційних питаннях
5	Репутація	У зв'язку з тим, що пристрій буде використовуватись для радіаційної безпеки, то репутація є важливим фактором під час вибору пристрою

Як можна побачити з таблиці було обґрунтовано основні п'ять факторів конкурентоспроможності, основними з яких стали: цінова політика, швидкодія роботи алгоритму та його точність і репутація компанії.

Проведемо порівняльний аналіз сильних та слабких сторін факторів конкурентоспроможності (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з власним пристроєм «RadioInstant»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Швидкодія роботи алгоритму та його точність	20						+	
2	Цінова політика	16			+				
3	Крос-платформленість	15						+	
4	Зворотній зв'язок	17				+			
5	Репутація	13					+		

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні на ринок пристрою «RadioInstant». Основною перевагою даного пристрою є висока точність алгоритму та низька ціна.

Далі проведемо SWOT-аналіз стартап-проекту [55], що наведено в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12

SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гнучка цінова політика; 2. Можливість побудови радіаційних карт в режимі реального часу; 3. Висока точність алгоритму; 4. Виявлення низькоактивних джерел радіації 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низька репутація пристрою на початку впровадження проекту; 2. Необхідність значного початкового капіталовкладення (кредит в банку або сторонні інвестиції)
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Стрімке поширення товару на ринку за рахунок доступності технології; 2. Розробка нових функцій пристрою 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка кращих алгоритмів виявлення радіації; 2. Мінливість ринку.

Для успішності впровадження стартап-проекту на ринку необхідно враховувати появу ризиків та слабких сторін проекту. Наприклад, для покращення репутації пристрою необхідно враховувати побажання користувачів та постійно оновлювати алгоритми роботи.

На основі SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Створити прототип пристрою контролю радіації	Доставка елементів для розробки прототипу не займе багато часу	14-22 днів
2	Використання сучасних чуттєвих елементів з вже існуючих дозиметрів	Для цього необхідно замовити велику партію сучасних дозиметрів на	20-38 днів

		мікроконтролерних платах, потім необхідно їх розібрати та підключити сучасні чуттєві елементи до власної плати.	
--	--	---	--

Краще за все використовувати підхід, що наведено у першому пункті, оскільки час його реалізації до трьох тижнів. Використання сучасних чуттєвих елементів з вже існуючих дозиметрів не найкращий варіант, оскільки виникають ризики складності підключення чуттєвих елементів та пошук альтернативних варіантів підключення. Також використання сучасних чуттєвих елементів значно підвищить ціну пристрою. З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Побудова радіаційних карт	Висока	Середній	Не інтенсивна	Середня складність
2	Виявлення низькоактивних джерел радіації	Висока	Середній	Не інтенсивна	Середня складність
Цільова група: інспекторів з радіаційної безпеки та працівники АЕС					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів було обрано працівників АЕС та інспекторів з радіаційної безпеки. Цей вибір аргументовано тим, що для даних груп користувачів конкуренція не дуже висока та невисока складність входу на ринок для даних груп користувачів. Оскільки важливим фактором залишається ціна продукції, тоді при відповідності ціновим

очікуванням користувача та якістю роботи алгоритмів потрапити до даного сегменту буде неважко.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Створення прототипу пристрою контролю радіації	Швидке налаштування виробництва	Можливо закупляти вже готові автономні дозиметри та розробляти для них власні алгоритми контролю радіації, але в такому випадку кінцевий продукт від конкурентів буде відрізнятись лише ціною	Стратегія спеціалізації

Визначена базова стратегія розвитку проекту – стратегія спеціалізації, оскільки ця стратегія передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Така стратегія може спиратися як на диференціацію, так і на лідерство по витратах, або і на те, і на інше, але тільки у рамках цільового сегменту [55]. Тоді, точність роботи алгоритму дає можливість встановлювати вищу ціну на продукцію, так як споживачі готові їх сприйняти.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати	Чи буде компанія копіювати основні характеристики	Стратегія конкурентної поведінки

		існуючих у конкурентів?	товару конкурента, і які?	
1	Ні	Компанія буде забирати існуючих клієнтів у конкурентів	Ні, плануються власні інноваційні розробки	Наступальна стратегія

На основі проведеного аналізу для вибору стратегії конкурентної поведінки була обрана наступна стратегія — наступальна стратегія. Наступальна стратегія припускає збільшення своєї частки ринку. При цьому переслідувана мета полягає в подальшому підвищенні прибутковості роботи компанії на ринку за рахунок максимального використання ефекту масштабу. Наступальна стратегія припускає активну інноваційну політику компанії. Вона постійно атакує власні ж досягнення, збільшуючи розрив між собою і основними конкурентами [56].

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробимо стратегію позиціонування (табл. 4.17).

Таблиця 4.17

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні і позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Постійне вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія спеціалізації	Висока точність роботи пристрою та формування прихильності користувачів	Зворотній зв'язок із виробником, технічна підтримка, якість та точність
2	Обслуговування	Стратегія спеціалізації	Легке обслуговування	Простота в використанні, точність роботи та швидкодія алгоритму

3	Якість	Стратегія спеціалізації	Швидкість, гнучкість	Ціна, якість
---	--------	-------------------------	----------------------	--------------

Отже, окрім високої точності роботи алгоритму та низької ціни користувач також потребує легкості в обслуговуванні, простоти в використанні та постійного оновлення функцій продукту.

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розробки маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Точність роботи алгоритму	Точність визначення радіоактивних джерел, можливість визначення низькоактивних радіоактивних джерел	Можливість підвищити точність роботи алгоритму за рахунок використання систем штучного інтелекту, підвищення швидкодії алгоритму
2	Відмовостійкість	Стабільність роботи приладу	Висока стабільність системи роботи системи за рахунок використання систем штучного інтелекту

Очевидними вигодами даного товару є стабільність роботи пристрою, точність визначення джерел радіації та можливість визначення низькоактивних радіоактивних джерел, що надає перевагу даному пристрою у порівнянні з конкурентами. В подальшому, можливі зміни у режимах роботи пристрою (детектор, радіометр) та використання оновлених технологій, що дозволить вивести проект на високий рівень.

Наступним кроком є розробка трирівневої маркетингової моделі товару, де уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.19

Рівні товару	Сутність та складові	
I. Товар за задумом	Детектор на базі апаратної плати Arduino Uno, чуттєвим елементом якого є трубки Гейгера-Мюллера, даний пристрій з'єднується с мобільним додатком через Wi-Fi модуль.	
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	
	1. Новий підхід до алгоритму	Застосування систем штучного інтелекту для написання алгоритму виявлення радіації
	2. Простота технічної реалізації	Використання радянських трубок Гейгера-Мюллера для підключення до Arduino Uno
	3. Додаткове програмне забезпечення	Додавання нових можливостей
	Якість: відповідає нормам ГОСТ 14254-96, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 26104-89, ГОСТ 12.1.004-9 та ГОСТ 12.2.007.0-75.	
	Пакування: готовий пристрій має вигляд пластмасового непрозорого циліндру.	
III. Товар із підкріпленням	До продажу з введенням у роботу	
	Після продажу – технічна підтримка, гарантійне обслуговування	
Потенційний товар буде захищено від копіювання за рахунок логотипу та патент на розроблений алгоритм		

Далі визначимо цінові межі, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	1000-5000	1500-10000	25000	500-750

Якщо збільшувати кількість користувачів, то можна трохи понизити ціну товару. В будь-якому випадку ціна буде меншою, ніж у товарів аналогів.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21):

Таблиця 4.21

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має Виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Попереднє замовлення з підписанням контракту	Доставка в строки, контроль за уникненням пошкоджень.	Пряма	Пряма
2	Оптові замовлення			

У зв'язку з тим, що обслуговується вузьконаправлений сегмент ринку доцільніше використовувати прямий канал збуту. Використання прямого каналу збуту дає можливість більш якісно контролювати ціни на ринку та не тратити доходи на оплату роботи посередників.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 4.22

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Огляд продукту, перспектив и на майбутнє	Форма зворотного зв'язку в мобільному додатку	Встановлення мети позиціонування. Розробка стратегії позиціонування. Розробка	Розповсюдження інформації про продукт	Підкреслення переваг продукту

			комплексу маркетингу. Оцінка ефективності позиціювання.		
--	--	--	--	--	--

Було обрано ключові позиції: маркетингові дослідження, встановлення мети позиціювання, розробка стратегії позиціювання, розробка тактики позиціювання, розробка комплексу маркетингу, оцінка ефективності позиціювання. Розглянуто завдання рекламного повідомлення та концепцію рекламного звернення.

Висновки до розділу

Пропонується дозиметричний пристрій на базі апаратної плати Arduino Uno, чуттєвим елементом якого є трубки Гейгера-Мюллера, даний пристрій з'єднується з мобільним додатком через Wi-Fi модуль. Алгоритм виявлення радіації написано з елементами штучного інтелекту, а саме штучною нейронною мережею, що дає змогу значно підвищити швидкодію та точність роботи алгоритму. Також використання системи штучного інтелекту дає можливість визначення низькоактивних радіаційних джерел. Наразі, не всі існуючі алгоритми виявлення радіації дозволяють визначати низькоактивні радіоактивні джерела. Визначення низькоактивних радіоактивних джерел відбувається шляхом порівняння енергій спектрів для вимірюваних та вироджених значень. Такий метод потребує складної технічної реалізації та тривалого часу вимірювання. Тому пропонується використання штучної нейронної мережі для покращення точності та збільшенню швидкодії алгоритму.

Основними споживачами приладу будуть люди, вікової категорії – 20-65 років.

Під час проведення аналізу ринку потенційного стартап-проекту було встановлено, що даний пристрій буде користуватись попитом у користувачів обраного сегменту, також, використання інноваційного алгоритму виявлення радіації може привернути увагу робітників АЕС та інших інвесторів і вони

можуть користуватись даним алгоритмом у власних цілях, сплачуючи за це певну ціну.

Сильними сторонами проекту «RadioInstant» стали можливість побудови радіаційних карт в режимі реального часу, виявлення низькоактивних джерел радіації, висока точність та відносно невелика ціна за одиницю товару. Перелічені чинники значно збільшують конкурентоспроможність пристрою та прихильність користувачів. Також, даний пристрій можуть використовувати усі бажаючі, оскільки пристрій має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та мобільний додаток зберігає усі вимірювання, тобто у користувача в мобільному додатку буде своя інтерактивна радіаційна карта.

Серед можливих конкурентів, можна виділити два пристрої — Atom Fast та Smart Geiger PRO. Atom Fast має достатньо високі показники точності роботи пристрою та може працювати автономно близько двох місяців, проте ціна даного пристрою дуже висока та коливається в межах 7000 грн за одиницю товару. Smart Geiger PRO має трохи гірші показники точності алгоритму та сумісний, як з Android так IOS. Smart Geiger PRO має ціну менше за Atom Fast, але все рівно достатньо високу — 3600 грн. Проте обидва пристрої не здатні вимірювати низькоактивні джерела радіації.

Для реклами та збільшення обсягів збуту пропонується надавати додаткові послуги користувачам з подальшого обслуговування та гарантії на 6 місяців після купівлі. Також можна робити рекламні акції та оптові знижки задля приваблення користувачів та збільшення обсягів продажу. Доцільно вважати, що необхідно вкласти у стартап-проект суму мінімум в \$15000.

ВИСНОВКИ

Під час аналізу наукових робіт та досліджень у сфері радіаційної безпеки було проведено огляд літератури, наукових статей та патентів. Після проведеного аналізу було виявлено певні недоліки у пристроях та алгоритмах радіаційного контролю. Було аргументовано важливість зменшення габаритів пристрою та покращення його експлуатаційних характеристик.

Для створення макетного зразку було обрано апаратну плату Arduino Uno та трубки Гейгера-Мюллера у якості чуттєвого елементу дозиметру. Для того, щоб під'єднати трубку Гейгера-Мюллера до апаратної плати Arduino Uno було підключено перетворювач напруг лічильника Гейгера-Мюллера (модуль HV3V3-400). Алгоритм для виявлення радіації було написано на базі п'ятишарової нейронної мережі.

Як вже було зазначено раніше, розроблений алгоритм у порівнянні з показами «ДКГ-РМ1610» ефективніший на 2-3%, проте такі значення пов'язані з тим, що у дозиметрі «ДКГ-РМ1610» використано більш чутливі трубки Гейгера-Мюллера (Гамма-3-1, з чутливістю $1900 \div 2700 \text{ імп} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Р}^{-1} \cdot \text{год}$), а у макетному зразку використано найпростіші трубки Гейгера-Мюллера (СИЗБГ, з чутливістю $800 \div 1200 \text{ імп} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Р}^{-1} \cdot \text{год}$), проте використання нейронної мережі компенсує різницю чуттєвості трубок.

Для перевірки та тестування розробленого макету було проведено експерименти з тестовим зразком, що має рівень радіаційного фону близько 0,02 мкЗв/год. Даний тестовий зразок було розміщено на різних відстанях від макету і в залежності від цього було проведено тестування. Окрім цього було досліджено точність визначення класу в залежності від відстані. У якості джерела випромінювання було обрано контрольне джерело гамма випромінювання на основі радіозотопу ^{152}Eu .

Результати магістерської дисертації були оприлюднені на XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування» (Київ, 2020 р.) та XVI Науково-

практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні» (Київ, 2020 р.)

Окремим розділом «Розроблення стартап-проекту» було проаналізовано конкурентоспроможність даної розробки. Встановлено слабкі та сильні сторони пристрою, розглянуто фактори загроз та можливостей, проведено SWOT-аналіз стартап-проекту. Також було розглянуто стратегію виходу на ринок та розроблено план рекламної компанії. Доцільно вважати, даний стартап-проект конкурентоспроможним та економічно вигідним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фесенко В. І. Огляд сучасних систем радіаційного контролю / В. І. Фесенко, О. М. Павловский. // XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування». 2020. — с. 175-178.
2. Гудков І. М. Радіобіологія: [підручник для вищ. навчальних закладів] / І. М. Гудков. — К. : НУБіП України, 2016. — 485 с
3. Бурячок Т. О., Буцьо З. В. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. [Кн. 5]. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / [авт. кол.: Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо та ін.; наук. ред.: Клименко В. Н., Ландау Ю. О., Сігал І. Я.]. — Київ: [б. в.], 2013. — 391 с.
4. Петросянц А.М. Ядерная энергетика. — М.: Наука, 1981. — 272 с.
5. Мархоцкий Я. Л. Радиационная и экологическая безопасность атомной энергетики: [учебник для высших учебных заведений] / Я. Л. Мархоцкий — «Высшая школа», 2009
6. Д. П. Гречухин. Гамма-излучение // Физическая энциклопедия : [в 5 т.] / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Советская энциклопедия (т. 1—2); Большая Российская энциклопедия (т. 3—5), 1988—1999.
7. Gerward L. Paul Villard and his Discovery of Gamma Rays // Physics in Perspective. — 1999. — Vol. 1. — P. 367—383.
8. Белов С. В., Ильницкая А. В., Козьяков А. Ф. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ Белов С. В., Ильницкая А. В., Козьяков А. Ф. и др.; Под общ. ред. Белова С. В. 7-е изд., стер. — М.: Высш. Шк., 2007. — 616с.
9. Акимов Ю.К. Газовые детекторы ядерных излучений. Дубна: Изд-во ОИЯИ, 2011. 243 с.

10. Болоздыня А.И., Ободовский И.М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы применения. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 208 с.
11. Измеритель радиоактивности (радиометр) с Глонасс приемником и передачей данных по Wi-Fi. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/222891/>
12. Счетчик альфа-бета-гамма излучений БЕТА-2. [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://consensus-group.ru/katalog/alfa-beta-gamma-counters/33-beta-2>
13. Atom Fast. Дозиметр радиации для смартфона/планшета. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://atom-shop.ga/models/fast>
14. Smart Geiger Pro Режим доступа: <http://allsmartlab.com/eng/smart-geiger-pro/>
15. Дозиметр индивидуальный «СИГ-PM1208М». [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://nerkon.ru/catalog/dosimeters/byitovyie-dozimetryi/individualnyy-sig-rm1208m-indikator-gi-cl-radiometr.html>
16. Технічний паспорт «Exploranium GR-130». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nrc.gov/docs/ML0503/ML050330404.pdf>
17. В.С. Горев. Применение детекторов на основе теллурида кадмия в дозиметрии гамма-излучения. ПТЭ. - М., 1981, с.60-64
18. Как выбрать дозиметр. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mydozimetr.ru/blog/stati/kak-vybrat-dozimetr/>
19. Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, В. М. Буртняк. «Применение дифференциального алгебраического метода выявления нестационарного источника радиоактивного излучения». Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист 3 (2011): с. 115-122.
20. Буртняк В.М., Забулонов Ю.Л., Золкін І.О., Дивизинюк М.М., Гончаренко Ю.Ю. «Виявлення нестационарних джерел радіоактивного випромінювання шляхом застосування інформаційного методу». Науково-

технічний журнал «СУЧАСНИЙ ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ» №2, 2011: с. 100-106

21. Максимович В. «Алгоритм роботи пошукового дозиметричного пристрою» / В. Максимович, Р. Смук, Ю. Сторонський, Ю. Костів, А. Пастух // Комп'ютерні технології друкарства. - 2015. - № 33. - С. 43-50.
22. Бісик А. М., Дудикевич В. Б., Максимович В. М., Смук Р. Т., Сторонський Ю. Б., Хорошко В. О. «Сучасний прилад радіаційної розвідки». Науково-технічний журнал «СУЧАСНИЙ ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ» №1, 2008: с. 75-79
23. Сторонський Ю. Б. «Методи і засоби опрацювання сигналів дозиметричних детекторів з покращеними метрологічними характеристикам»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.15 / НУ «ЛП». – Л., 2009 р. – с. 23
24. Лопачак О.М. «Пристрої для компенсації мертвого часу детекторів іонізуючого випромінювання» / О.М. Лопачак, В.М. Максимович, Ю.Б. Сторонський // Вісник „Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”. – Львів: Національний університет ”Львівська політехніка”, 2001. – № 433. – С. 41-47.
25. Максимович В.М. Аналіз статистичних характеристик дозиметричного пристрою з апаратною компенсацією мертвого часу детектора / В.М. Максимович, Ю.Б. Сторонський // Вісник „Автоматика, вимірювання та керування”. – Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2006. – № 551. – С. 8-12.
26. Гончаренко Ю. Ю., Дівізінюк М. М., Фаррахов О. В., Фурсенко О. М. Системи моніторингу виявлення низько активних ізотопів, як засіб запобігання надзвичайних ситуацій / Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дівізінюк, О. В. Фаррахов, О. М. Фурсенко // Вісник АМУ серія «Техніка». Випуск 1(9) — 2015 — с. 45-54

27. Дудикевич В. Б., Максимович В. М., Смук Р. Т., Сторонський Ю. Б. Аналіз статистичних характеристик мікропроцесорних дозиметричних пристроїв з розширеним динамічним діапазоном / В. Б. Дудикевич, В. М. Максимович, Р. Т. Смук, Ю. Б. Сторонський // Вісник «Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація» – Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2006. – № 551. – С. 47-51.
28. Патент RU02364891, МПК G01T 1/24 Способ измерения уровня радиации широкозонными полупроводниковыми детекторами и устройство для его осуществления / Попов А. А., Смирнов Д. С., Марченко Н., Пешков О.;
29. В.С.Горев. Применение детекторов на основе теллурида кадмия в дозиметрии гамма-излучения. ПТЭ. - М., 1981, с.60-64
30. Патент LT2018025 (A), МПК G01T1/00, G01T3/00, H01L23/00, H01L27/00, H01L31/00 Double response ionizing radiation detector and measuring method using the same / Gaubas E., Šeponis T., Paipulas D., Pavasaris Č., Kalesinskas V.; заявник Vilniaus U. — № LT20180000025, заявл. 11.07.2018; опубл. 27.01.2020.
31. А. Е. Давыдов, И. К. Фомина, Б. Б. Никольский. Алгоритмы идентификации источников гамма-излучения. Программные продукты и системы. - 2018. - Т. 31, № 1. - С.158-165
32. Галушка А.Н., Фоминых В.И. Метод измерения пуассоновского процесса, М., т.79, вып. 6, 1995.
33. M. Arkani, H. Khalafi, M. Arkani. Efficient dead time correction of G-M counters using feed forward artificial neural network — №58(2) Nukleonika Computer Science — 2013 — p. 317-321
34. Черный С. А., Шестаков А. В.. Использование нейронных сетей для моделирования когнитивных структур. — Международный научно-исследовательский журнал — №12(90) — с. 114-117

35. С. В. Пронин. Применение искусственных нейронных сетей для моделирования транспортных систем — Электротехника, электронная техника, информационные технологии
36. Дорофеев Е.А., Игнатьев Д.И., Храбров А.Н. Применение искусственных нейронных сетей для моделирования нестационарных аэродинамических характеристик. Аэрокосмические исследования, прикладная механика ТРУДЫ МФТИ. — 2011. — Том 3, № 3
37. Николаев, А. А. Применение нейросетевых технологий для вычисления потоков суммарной солнечной радиации / А. А. Николаев, Н. В. Исмагилов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 68–77.
38. Deep Learning: как это работает? Часть 1. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/510804/>
39. В.А.Головки, под ред.проф.А.И.Галушкина «Нейронные сети: обучение, организация и применение», ИПРЖР, Москва 2001
40. R. Müller, S. Kornblith, G. Hinton. When Does Label Smoothing Help? 33rd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019)
41. Activation Functions in Neural Networks. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/activation-functions-neural-networks-1cbd9f8d91d6>
42. D. Misra. Mish: A Self Regularized Non-Monotonic Activation Function. Accepted to BMVC 2020
43. PyTorch — ваш новый фреймворк глубокого обучения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/334380/>
44. Arduino Uno. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
45. Контроллер заряда Li-Ion аккумуляторов TP4056 micro USB с защитой. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mini-tech.com.ua/modul-zaryada-li-lon-tp4056-microusb-s-zashchitoj-ot-razryada>

46. Регулируемый повышающий преобразователь 2А 28В МТ3608. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod1559-regyliryemii-povishaushhii-preobrazovatel-2a-28v-mt3608>
47. Создание веб-сервера ESP8266 - код и схемы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://diytch.ru/projects/sozdanie-veb-servera-esp8266-kod-i-skhemu>
48. Преобразователь напряжения счетчика ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА / GEIGER-MULLER DC. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.olx.ua/obyavlenie/preobrazovatel-napryazheniya-schetchika-geygera-myullera-geiger-muller-dc-IDHp0a7.html?sd=1#c955460815>
49. СИЗБГ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://zapadpribor.com/si3bg/>
50. ТРАНЗИСТОР 2N3904. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.radiolibrary.ru/reference/transistor-imp/2n3904.html>
51. Источники гамма-излучений. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ritverc.com/ru/produkcija/istochniki/istochniki-gamma-izlucheniya/152eu>
52. Дозиметр индивидуальный рентгеновского и гамма-излучения ДКГ-РМ1610. Руководство по эксплуатации
53. Рентабельність виробництва і методика визначення її показників . [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://buklib.net/books/29473/>
54. Стратегічний аналіз підприємства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pidruchniki.com/1974070454048/menedzhment/strategichniy_analiz_pid_priyemstva
55. Розроблення стартап-проекту [Электронный ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

56. Розробка стартап-проектів: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірjuвальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: X,XX Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.

ДОДАТОК А

Реалізація алгоритму виявлення радіації на базі нейронної мережі

```
# -*- coding: utf-8 -*-

import torch
import numpy as np

def generate_sample(m,r,a,b, obj_type='sphere',num=32):
    xy = np.random.rand(num,2)
    xy[:,0] = xy[:,0]*((a-r)*0.99)+r//2
    xy[:,1] = xy[:,1]*((b-r)*0.99)+r//2

    l_plate = np.sqrt(a**2+b**2)

    l1 = np.sqrt(np.sum(xy**2,axis=1))
    l2 = np.sqrt((a-xy[:,0])**2 + xy[:,1]**2)
    l3 = np.sqrt(xy[:,0]**2 + (b-xy[:,1])**2)
    l4 = np.sqrt((a-xy[:,0])**2 + (b-xy[:,1])**2)

    l = np.stack([l1,l2,l3,l4],axis=0).T

    if obj_type=='square':
        l-= np.sqrt(r/2)

    x = l*m/l_plate*9.8

    idx = torch.from_numpy(np.random.choice(3,num))

    cls = torch.zeros(num,3)
    for i,j in enumerate(idx):
        cls[i,j]=1
    y = np.stack([xy[:,0]/a,xy[:,1]/b,cls[:,0],cls[:,1],cls[:,2]]).T

    return torch.Tensor(x), torch.Tensor(y)

x,y=generate_sample(0.25,20,40,40,obj_type='square')
x.shape,y.shape

from torch.utils.data import Dataset,DataLoader
```



```

class ShapesDataset(Dataset):

    def __init__(self,m=(0.25,1),r=(10,15),ab=(30,60),size=2048):
        super(ShapesDataset,self).__init__()
        self.m_range=m
        self.r_range=r
        self.ab_range=ab
        self.size=size

    def __len__(self):
        return self.size

    def __getitem__(self,i):
        m = np.random.uniform(low=self.m_range[0], high=self.m_range[1],
size=(1,))[0]
        r = np.random.uniform(low=self.r_range[0], high=self.r_range[1],
size=(1,))[0]
        a,b = np.random.uniform(low=self.ab_range[0], high=self.ab_range[1],
size=(2,))

        cls = np.random.choice([0,1])

        return generate_sample(m,r,a,b,'square' if cls else 'sphere')

ds = ShapesDataset()
dl = DataLoader(ds,batch_size=1,collate_fn=lambda x: x[0])

import torch
import torch.nn.functional as F

@torch.jit.script
def mish(input):
    '''
    Applies the mish function element-wise:
    mish(x) = x * tanh(softplus(x)) = x * tanh(ln(1 + exp(x)))
    See additional documentation for mish class.
    '''
    return input * torch.tanh(F.softplus(input))

from torch import nn

class Mish(nn.Module):

```

```

def __init__(self):
    super().__init__()

def forward(self, input):
    return mish(input)

def create_block(in_f,out_f,last=False):
    return nn.Linear(in_f,out_f,bias=last) if last else nn.Sequential(
        nn.Linear(in_f,out_f,bias=last),
        nn.BatchNorm1d(out_f),
        Mish()
    )

class RadNet(nn.Module):

    def __init__(self,num_blocks=3):
        super(RadNet,self).__init__()
        blocks = [create_block(4,64)]
        for i in range(num_blocks+2,2,-1):
            blocks.append(create_block(64,64))
        blocks.append(create_block(64,6,True))

        self.layers = nn.Sequential(*blocks)

    def forward(self,x):
        return self.layers(x)

model = RadNet(5)
model

def label_smooth(input,alph=0.1):
    return (1-alph)*input + alph/input.shape[-1]

from torch.optim import Adam

optim = Adam(model.parameters(), lr=0.003)

from torch.nn import BCELoss, MSELoss
import tqdm
import sys

epochs = 100
device = 'cuda' if torch.cuda.is_available() else 'cpu'

```

```

model.to(device)

cls_loss_fn = BCELoss()
regression_loss_fn = MSELoss()

for epoch in range(epochs):
    losses = []
    mse_losses = []
    cls_losses = []
    for i, (x, y) in enumerate(dl):
        optim.zero_grad()
        x, y = x.to(device), y.to(device)
        y_hat = model(x)

        cls_hat = nn.Softmax(dim=0)(y_hat[:, -3:])
        cls_ls = label_smooth(y[:, -3:])

        cls_loss = cls_loss_fn(cls_hat, cls_ls)
        reg_loss = regression_loss_fn(y_hat[:, :2], y[:, :2])
        loss = 5*cls_loss + reg_loss

        cls_losses.append(cls_loss.item())
        mse_losses.append(reg_loss.item())
        losses.append(loss.item())

    loss.backward()

    optim.step()

    if i%20==0:
        s = f'\rEpoch: {epoch}/{epochs}, loss:{sum(losses)/len(losses)},
cls_loss:{sum(cls_losses)/len(cls_losses)}, '+\
            f'mse_loss:{sum(mse_losses)/len(mse_losses)}'
        sys.stdout.write(s)
        sys.stdout.flush()
    print()

x, y = ds[0]
y_h = model(x)
print(x, y, y_h[:, :2], y[:, -3:])

print(x, y, y_h[:, :2], torch.ceil(torch.sigmoid(y_h[:, -1:])), sep='\n')

```

ДОДАТОК Б

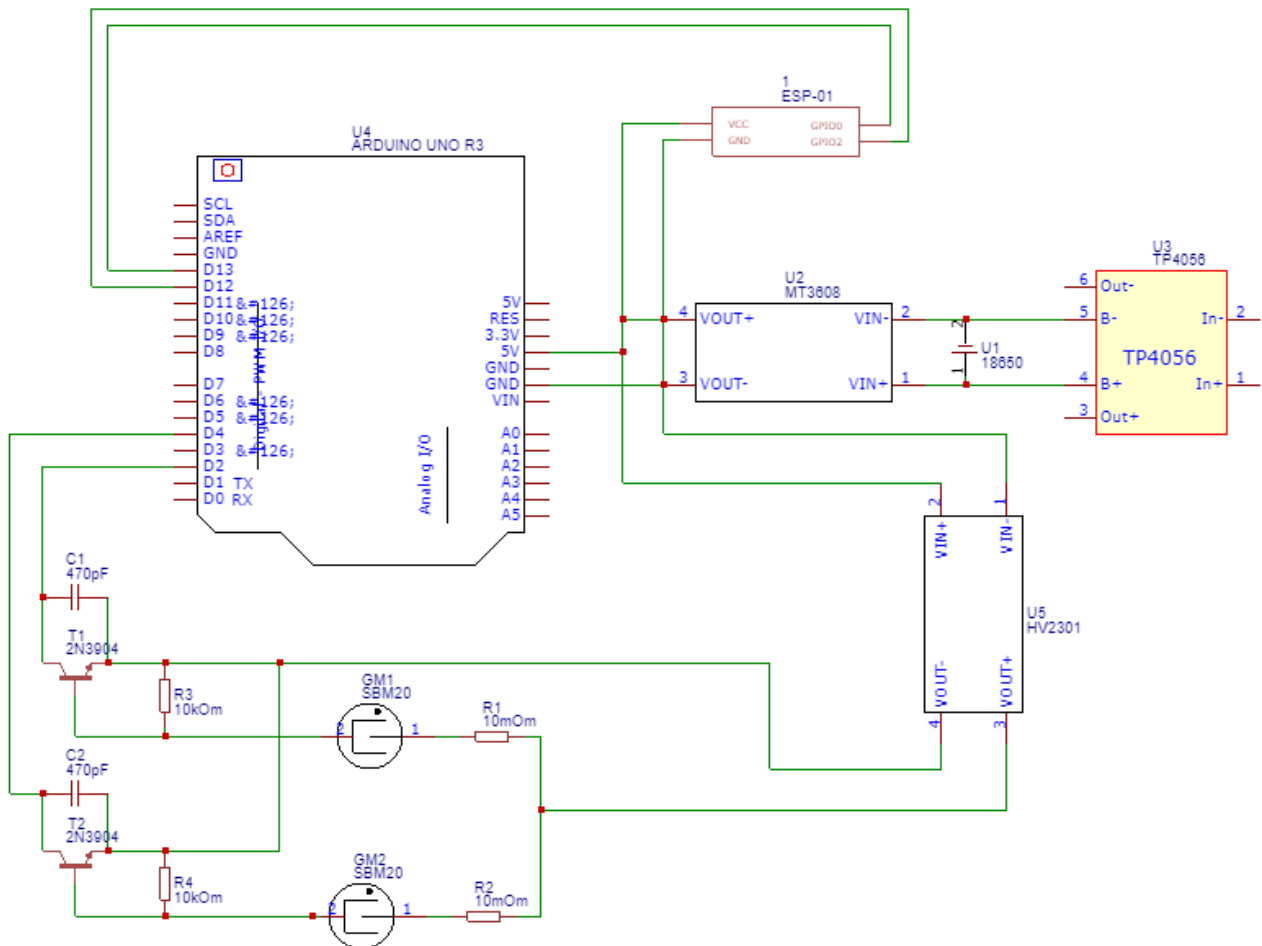


Рис. Б. 1. Схема електрична принципова макетного зразку

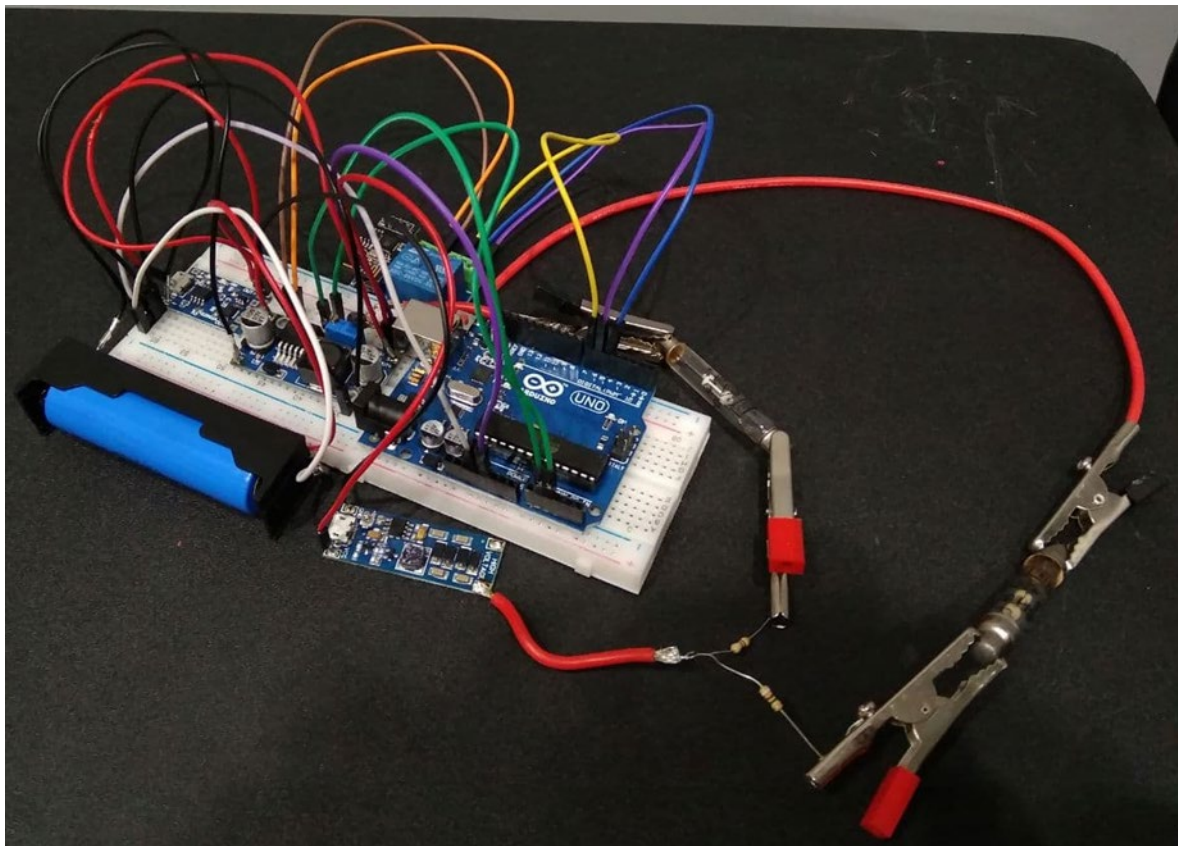


Рис. Б. 2. Макет дозиметричного пристрою на базі Arduino Uno