

УДК 613.648.4

ПРИЛАД ДЛЯ 3D-РОБОТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РАДІАЦІЇ

Дубко А.Г.,

andreyies17@gmail.com

Відділ «Зварювальні та споріднені технології в медицині та екології»

Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України,

м. Київ, Україна

Осаволук П.А.

froz3narr0wua@gmail.com

Кафедра біомедичної інженерії

Національного технічного університету

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

м. Київ, Україна

Реферат – Зараз, медичні процедури з використанням іонізаційного випромінювання, для лікування або діагностики, є дуже поширеними у всіх країнах світу. Згідно останніх досліджень, середній рівень впливу іонізуючого випромінювання на населення – зростає. Останні дослідження показують, що розробка більш складних і тривалих процедур діагностики та лікування з використанням іонізуючого випромінювання, у поєднанні з збільшенням доступності цих процедур та більшою кількістю пацієнтів неминуче призводить до збільшення опромінення персоналу лікарні. Ефективність радіаційного захисту працівників, які працюють з таким типом випромінювання, значною мірою залежить від розуміння радіаційного поля, якому вони піддаються. Саме тому актуальною є розробка пристрою для 3D-вимірювання рівня радіації і може дозволити знизити дози опромінення персоналу, при виконанні процедур з використанням радіаційного випромінювання.

Ключові слова – іонізуюче випромінювання, Arduino, роботизоване вимірювання

І.ВСТУП

У світі щороку проводяться мільярди різноманітних медичних процедур, в яких іонізуюче випромінювання використовується для діагностики та лікування. При цьому, іонізуюче випромінювання, яке використовується в медицині, становить майже 98% всієї дози опромінення з штучних джерел і це майже п'ята частина від загального впливу іонізуючого випромінювання на населення [1].

Технології медичної візуалізації з використанням медичного випромінювання постійно розвиваються та вдосконалюються, медичне обладнання для виконання цих процедур стає більш доступне, скринінгові та діагностичні процедури проводять з більшою частотою, як наслідок – середній рівень впливу іонізуючого випромінювання на населення зростає. Особливо помітно це зростання спостерігається в економічно розвинутих країнах [2]. Також, варто зазначити, що вплив іонізуючого випромінювання на медичних працівників, внаслідок згаданих раніше факторів також зростає, тому є необхідність в посиленому моніторингу поглинутої працівниками дози випромінювання.

Метою роботи є розробка приладу для 3D-роботизованого вимірювання рівня радіації, та ПЗ для візуалізації отриманих даних.

Актуальність: роботи полягає у створенні приладу, для роботизованого вимірювання рівня іонізуючого випромінювання в просторі, збереження та обробки отриманої інформації використанням апаратно-обчислювальної платформи ArduinoUNO та ПК, що може допомогти у підвищенні рівня радіаційної безпеки у медичних приміщеннях

Для вимірювання рівня радіації в даній статті буде використовуватися роботизований модуль на базі Arduino. Даний модуль складається з мікроконтролера ArduinoUNO; лічильника Гейгера-Мюллера; сервоприводів, які використовуються для керування маніпулятором, який, в свою чергу, змінює положення лічильника Гейгера-Мюллера в просторі; MicroSD модуля, за допомогою якого результати вимірів можна зберігати на MicroSD-карту для подальшого аналізу; приймача інфрачервоних хвиль та інфрачервоного пульта.

Цей роботизований модуль можна використовувати індивідуально, встановлюючи

його в місце, в якому необхідно провести виміри рівня радіації або закріплювати його на рухомі платформи, шасі або навіть квадрокоптери чи інші портативні літальні апарати, для доставки модуля в певну точку простору для проведення вимірів.

II. ВИБІР СЕРЕДОВИЩА РОЗРОБКИ

Для створення даного приладу нам необхідно створити програму, яка буде керувати мікроконтролером ArduinoUNO, та приєднаними до нього електричними компонентами. Також нам знадобиться середовище для розробки програмного забезпечення, за допомогою якого буде візуалізовано отриману з датчиків інформацію. Також потрібно обрати середовище для 3D-моделювання деталей руки-маніпулятора та створення принципової схеми приладу.

Arduino IDE – це середовище розробки, яке використовує C++ і воно використовується для програмування всіх плат ряду Arduino. Arduino IDE дозволяє створювати програми в зручному текстовому редакторі, компілювати їх в машинний код, і завантажувати на всі версії плати Arduino. Додаток є повністю безкоштовним, а завантажити його можна на офіційному сайті спільноти Arduino.

Arduino IDE має широкий спектр підтримуваних плат: Arduino UNO, Arduino Nano, ESP32, ESP8266, сімейство мікроконтролерів Attiny, тощо [3]

Для обробки отриманих даних та їх візуалізації буде використано середовище розробки Python. Python – це інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня. Має швидкий цикл написання програм, їх тестування, редагування та налагодження, що робить процес програмування досить ефективним. [4]

Для створення 3D-моделей маніпулятора та їх друку буде використано систему автоматизованого проектування і розрахунку Fusion 360. Fusion 360 — це хмарна платформа програмного забезпечення для 3D-моделювання, CAD, CAM, CAE та PCB для професійного проектування та виробництва продуктів. Вона є досить простою у використанні та дозволяє швидко змоделювати такі 3D-моделі, які можна одразу надрукувати на 3D-принтері. [5]

Для створення принципової схеми приладу та його віртуального макету використаємо середовище Fritzing, яке призначене для розробки електронних пристроїв від прототипу в вигляді макетної плати до кінцевого продукту у вигляді друкованої плати. Програма має значну бібліотеку з електричних елементів, яка включає в себе різні аналогові і цифрові мікросхеми, транзистори, світлодіоди, резистори, конденсатори, кнопки, макетні плати, батарейки та навіть моторчики. Основною перевагою даного середовища є наявність в бібліотеці плат Arduino, що значно спрощує проектування та макетування пристроїв з використанням даних плат. [6]

III. Структурна схема пристрою

Основними частинами приладу є рука-маніпулятор, надрукована на 3D-принтері та електронні компоненти, частина з яких буде закріплена на руці-маніпуляторі.

Основними компонентами приладу є мікроконтролер, датчик рівня радіації, сервоприводи, приймач ІЧ сигналів, ІЧ пульт та MicroSD адаптер.

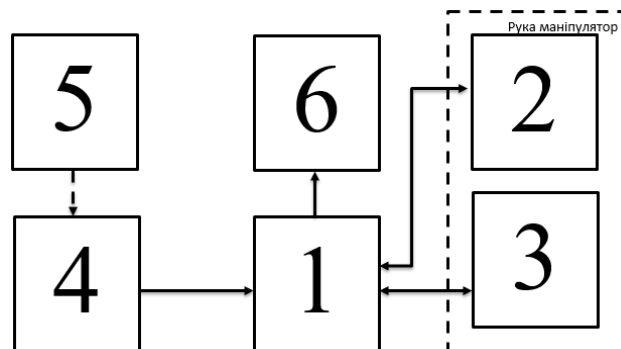


Рисунок 1 – Структурна схема приладу для 3D-роботизованого вимірювання рівня радіації

На рисунку 1 електричні функціональні зв'язки позначені суцільними стрілками, пунктирною лінією позначений бездротовий зв'язок з використанням ІЧ-сигналів. ІЧ приймач 4 приймає сигнали, які надходять від пульта 5, після чого в залежності від отриманої команди контролер 1 або надсилає сигнал сервоприводам 3, після чого вони змінюють свій кут повороту і, як наслідок, положення датчика радіації 2 або надсилає сигнал на датчик радіації 2 для початку вимірів рівня радіації в тій точці простору, в якій він знаходиться. Після завершення вимірів, їх результати та координати точки передаються

спочатку на мікроконтролер 1, а потім записуються на MicroSd карту за допомогою адаптера 6.

IV. ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ПРИЛАДУ

Основними електричними компонентами приладу було обрано плату ArduinoUNO, датчик рівня радіації, модуль для MicroSD, сервоприводи ІЧ-приймач та ІЧ-пульт:

1) Плата ArduinoUno на основі мікроконтролера Atmega328p. Характеристики плати та мікроконтролера наведено в табл. 1 та 2 відповідно.

Таблиця 1 – Характеристики плати ArduinoUno

Характеристика	Значення
Напруга живлення	7-12 В
Струм споживання	<100мА
Мікроконтролер	Atmega328p
Лінійні розміри	68·53·15 мм

Таблиця 2 – Характеристики мікроконтролера Atmega328p

Характеристика	Значення
Пам'ять програмна	32кБ
Пам'ять даних	1кБ
Тактова частота	16МГц
Цифрових портів	14
Аналогових портів	6

2) Детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера», чутливим елементом якого є трубка Гейгера-Мюллера M4011, їх характеристики наведені в таблицях 3 і 4 відповідно.

Таблиця 3 – Характеристики детектора іонізуючого випромінювання для Arduino

Характеристика	Значення
Напруга живлення	5В
Струм	12мА
Трубка Гейгера-Мюллера	M4011
Колір символів	білий
Лінійні розміри	Розмір: 108·63·20 мм

Таблиця 4 – Характеристика трубки Гейгера-Мюллера M4011

Характеристика	Значення
Робочі температури	-40°C~55°C
Робоча напруга	380-450В
Робочий струм	0,015-0,02 мА
Кількість СРМ, яка відповідає 1 мкЗв/год	158,35
Використовується для	γ-променів 20мР/год-120мР/год β-промені 100мР/год-~1800мР/год
Лінійні розміри	Розмір: 88·10·20 мм

3) В якості основного рухомого елементу руки маніпулятора, який власне і відповідатиме за її рух було обрано маленький і легкий сервопривід з високою вихідною потужністю Servo SG90. Сервопривід може обертатися на 180 градусів (90 у кожному напрямку). Характеристики сервопривода наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Характеристики сервопривода Servo SG90

Характеристика	Значення
Швидкість без навантаження	0.12 сек / 60 град
Крутний момент	2 кг / см
Робоча напруга живлення	3.5-5 В
Споживаний струм в русі	50-80 мА
Споживаний струм в утриманні:	5-10 мА



Рисунок 2 – Сервопривод Servo SG90

4) Для прийому та обробки ІЧ-сигналів буде використано універсальний інфрачервоний приймач VS1838B, який здатний працювати з широким спектром різних пультів, та має достатню максимальну робочу дальність та кут огляду.

Таблиця 6 – Характеристика інфрачервоного приймача VS1838B

Характеристика	Значення
Напруга живлення	2.7 - 5.5В

Максимальна дальність дії	20 м
Струм	не більше 1.5 мА
Кут огляду	90 градусів

5) Для управління приладом буде використаний інфрачервоний пульт, сигнали з якого будуть оброблятися згаданим раніше приймачем.

Таблиця 7 – Характеристика MicroSD-модуля

Характеристика	Значення
Частота модуляції	38 кГц
Максимальна відстань	не менше 8 м
Кількість кнопок управління	17
Кут огляду	60 градусів

б) Для збереження та обробки отриманої інформації буде використано модуль для MicroSd карти.

Таблиця 8 – Характеристика MicroSD-модуля

Характеристика	Значення
Інтерфейс	SPI
Напруга живлення	від 4.5 В до 5.5 В
Струм	від 0.2 мА до 200 мА
Карти	Micro SD карти (<= 2 Г), Micro SDHC карти (<= 32 Г)

Так як в даному використовується велика кількість цифрових виходів плати ArduinoUNO, то для простоти збирання приладу, та для менеджменту дротів і більшу зручності стикування з кінцевими модулями було використано плату розширення SensorShield V5, який підключається до плати Arduino UNO, після чого до нього підключаються інші пристрої, в нашому випадку сервоприводи, датчик радіації та ІЧ-приймач.

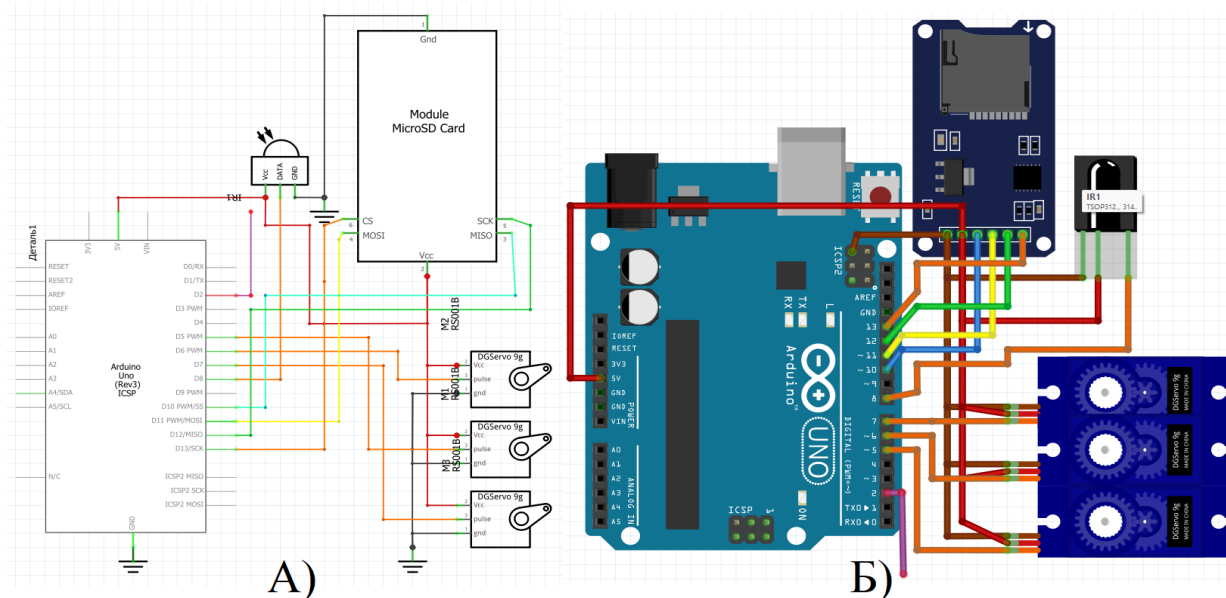


Рисунок 3 – А) Принципова схема приладу; Б) Макет приладу в середовищі Fritzing

Після вибору всіх електричних компонентів пристрою, його макет було зібрано в середовищі Fritzing (рис. 3)

На рисунку 3.а зображено принципову схему приладу, а на рисунку 3.б зображена плата ArduinoUNO з підключеними неї сервоприводами, датчиком рівня радіації (фіолетовий провід), ПЧ- приймач та MicroSD модуль.

V. 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАНІПУЛЯТОРА

Для створення 3D-моделі маніпулятора в середовищі Fusion360, була використана 3D-модель сервопривода ServoSG 90.

Всі деталі проектувалися таким чином, щоб в них можна було закріпити даний сервопривод, і таким чином, щоб деталі з'єднувалися одна з одною і сервоприводами без додаткових гвинтів та інших кріплень.

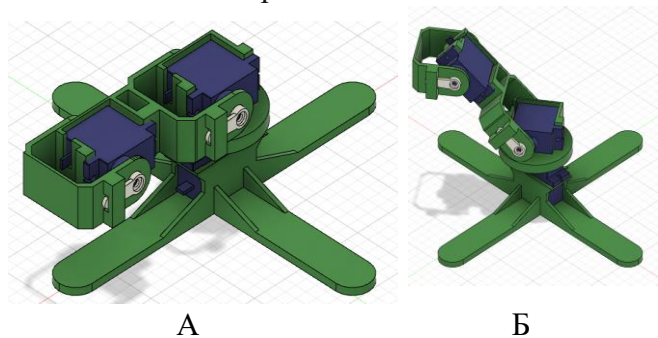


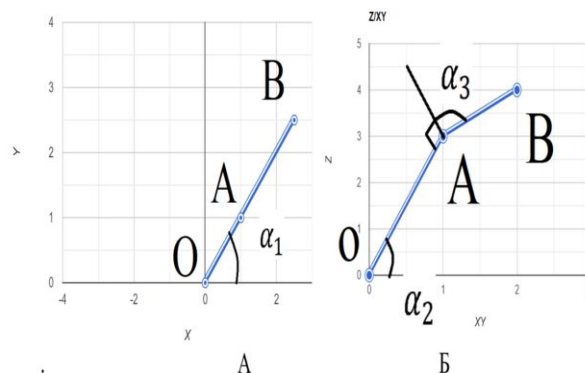
Рисунок 4 – а) Зовнішній вигляд-маніпулятора, б) вигляд маніпулятора з зміненими кутами сервоприводів

VI. СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Основне управління приладом здійснюється за допомогою ПЧ-пульта, який передає сигнали на ПЧ-приймач, які потім обробляються мікроконтролером. Для управління приладом, середовищі Arduino було написано код ,який дозволяє встановити датчик рівня радіації в конкретну точку. Тобто, натискаючи на певну кнопку на пульті, ми даємо одному із сервоприводів змінити кут свого повороту на певну величину «Y», і відповідно змінити положення датчика рівня радіації в просторі. За кожен сервопривод відповідає пара кнопок на пульті, пара кнопок на пульті також використовувалась для зміни кроку «Y», також одна із кнопок використовувалась для початку вимірів рівня радіації. Після встановлення трубки в

необхідну точку в просторі, ПЗ дозволяє почати процес вимірювання рівня радіації після чого зберегти данні про рівень радіації і кути повороту сервоприводів в TXT файл на microSD-карту.

Для обробки збереженої інформації використовували Microsoft Excel. В ньому було створено макрос, який після копіювання отриманих даних, перетворював кути повороту сервоприводів в координати XYZ в Декартові



системі координат.

Рисунок 5 – Проекцій моделі приладу після зміни кутів сервоприводу а) проекція на площину XY; б) проекція на площину Z/Ху

На рис. 5 зображено проекції спрощеної моделі приладу на площину з відміченими на них кутами α_{1-3} , які є кутами поворотів сервоприводів 1-3. О – початкова точка «нуль»; А – точка, яка є проекцією точки О, на вісь, яка проходить через центр осі, відносно якої обертається остання деталь сервопривода; В - точка яка являє собою геометричний центр датчика рівня радіації. В проекції на площину XY лінія OAB – пряма, її значення буде використовуватися для спрощення обчислень. Як видно з рисунків, зміна кута α_1 змінює значення лише координат x і y, в той час як кути α_{1-2} змінюють значення всіх координат (xyz). Відстань OA= 40мм, відстань AB= 50мм. Провівши обчислення отримали чотири формули для визначення координат тіла в системі XYZ;

$$OAB = |\cos \alpha_2 * OA + \cos(270 - \alpha_2 - \alpha_3) * AB|, \quad (1)$$

$$z = \sin \alpha_2 * OA + \sin(270 - \alpha_2 - \alpha_3) * AB, \quad (2)$$

$$x = \cos \alpha_1 * OAB, \quad (3)$$

$$y = \sin \alpha_1 * OAB, \quad (4)$$

Після обробки і збереження нового TXT-файлу, для 3D-візуалізації використовуємо середовище Python в якому написано програму, яка зчитує данні з TXT-файлу і на їх основі будує точковий 3D-графік, в якому рівень радіації відображається інтенсивністю кольору. Результати роботи ПЗ відображаються на рис. 6

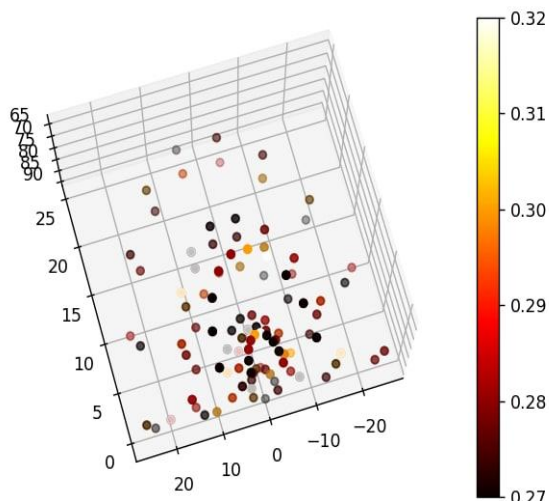


Рисунок 6. Точковий 3d-графік, на якому відображується рівень радіації в конкретній точці простору в мкЗв/год

VII. МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДАННОГО ПРИЛАДУ

Даний прилад може мати широкий спектр застосування. Наприклад, його можна використовувати для створення 3D- карт рівня радіації в медичних установах, тобто його можна використати для вимірювання рівня радіації при роботі лікувально-діагностичної апаратури, яка випромінює іонізуюче випромінювання, та на основі отриманих даних покращувати радіаційний захист персоналу, який задіяний при виконанні даних процедур.

Також цей прилад можна закріплювати на інших роботизованих рухомих пристроях, наприклад на роботі-собаці Spot компанії Boston Dynamics, і використовувати його для картографування радіаційного забруднення в заражених зонах. Так, даною робота уже використовували для вимірювання рівня радіації у місцях захоронення радіоактивних відходів в чорнобильській зоні відчуження. [7]. Фактично, прилад можна закріплювати на будь якій рухомій роботизованій платформі і використовувати його для картографування рівня радіації.

VIII. ВИСНОВКИ

На основі обраних електронних компонентів, спроектованих та надрукованих на 3D-принтері пластикових деталей руки маніпулятора, було зібрано прилад для 3D-роботизованого вимірювання рівня радіації.

Для керування роботою приладу та обробки результатів його роботи було створене програмне забезпечення в середовищах Python та Arduino IDE, яке дозволяє керувати положенням трубки Гейгера-Мюллера в просторі і запускати початок вимірювання рівня радіації, зберігати отриманні данні на ПК, для подальшої обробки та візуалізації у вигляді точкового 3d-графіку рівня радіації.

Фінансування. Дане дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ORCID ID ТА внесок авторів

0000-0002-2262-2949 Petro Osavoliuk (A, C, D) 0000-0001-6070-3945 Andrii Dubko (B, E, F)

A – концепція роботи та дизайн, B – аналіз стандартів надання медичної допомоги та протоколів лікування, C – проектування алгоритмів, D – написання статті, E – Критичний огляд, F – Остаточне схвалення статті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Ionizing radiation, health effects and protective measures [Електронний ресурс] // World Health Organization. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>.
- [2] Ruano-Ravina A. The Increasing Exposure of the Global Population to Ionizing Radiation / A. Ruano-Ravina, R. Wakeford. // Epidemiology. – 2020. – №31. – С. 155–159.
- [3] What is Arduino? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [4] What is Python? Executive Summary [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>
- [5] Unify design, engineering, electronics, and manufacturing with Fusion 360 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>.
- [6] Fritzing electronics made easy [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://fritzing.org/>
- [7] Bonn B. Data Collection & Sensing in Nuclear Environments [Електронний ресурс] / Bonn // Boston Dynamics. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bostondynamics.com/resources/blog/data-collection-sensing-nuclear-environment>

DC 613.648.4

DEVICE FOR 3D ROBOTIC MEASUREMENT OF RADIATION LEVEL

Andrii Dubko

andreyies17@gmail.com

Department of Welding and Related
Technologies in Medicine and Ecology
E.O.Paton Electric Welding Institute,
Kyiv, Ukraine

Petro Osavoliuk.

froz3narr0wua@gmail.com

Department of Biomedical Engineering
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Kiyv, Ukraine

Abstract – Now, medical procedures using ionizing radiation, for treatment or diagnosis, are very common in all countries of the world. According to recent studies, the average level of exposure to ionizing radiation on the population is increasing. Recent studies show that the development of more complex and lengthy diagnostic and treatment procedures using ionizing radiation, combined with the increased availability of these procedures and the larger number of patients, inevitably leads to increased exposure to hospital staff. The effectiveness of radiation protection of workers who work with this type of radiation largely depends on the understanding of the radiation field to which they are exposed. That is why the development of a device for 3D measurement of the level of radiation is relevant and can allow to reduce the doses of exposure to personnel, if procedures are performed using radiation.

Keywords – ionizing radiation, Arduino, robotic measurement