

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра комп'ютерної інженерії

**Система віддаленої дозиметрії для розпаду ядерних забрудників довкілля**

Дипломна робота бакалавра

студента 4 року навчання

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Олександра КОЖЕМЯКІНА

Науковий керівник

док. фіз.-мат. наук Анатолій ІВАНІСІК

професор кафедри медичної радіофізики

Рецензент

док. фіз.-мат. наук Анатолій ВЕКЛИЧ

професор кафедри фізичної електроніки

До захисту допускаю:

Завідувач кафедрою

Юрій БОЙКО

Ухвалено на засіданні кафедри “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2022 р., протокол № \_\_\_\_\_

Київ 2022

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 22с., 14 рис., 1 таблиця, 9 джерел.

Дана робота полягає в розробці та виготовленні системи з апаратного та програмного забезпечення для реєстрації іонізуючого випромінювання, аналізу радіаційного стану середовища та сповіщення користувача про перевищення допустимих санітарних рівнів іонізуючого випромінювання. До розробки планується залучити такі матеріали як: лічильник Гейгера-Мюллера СБМ-20, платформа для розробки Arduino в форм-факторі Nano, мікро-споживаючий DC-DC перетворювач напруги без використання трансформатору, модуль Bluetooth, модуль Wireless LAN, модуль GSM, модуль запам'ятовуючого пристрою, модуль зарядки та контролю аккумулятора.

Ключові слова: ЛІЧИЛЬНИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА, ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, РАДІАЦІЙНЕ ЗАБРУДНЕННЯ, МІКРОКОНТРОЛЛЕРИ.

## Зміст

Вступ .....	4
1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	5
1. Огляд існуючих рішень .....	5
2. Лічильник Гейгера-Мюллера .....	7
3. Технічні характеристики трубки Гейгера-Мюллера СБМ - 20.....	9
4. Arduino - платформа для розробки .....	11
2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	12
2.1. Проектування та виготовлення експериментального зразку. ....	12
2.2. Програмування мікроконтролера.....	17
2.3. Додаток до смартфона на базі Android.....	19
ВИСНОВКИ.....	21
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	22

## Вступ

Зв'язавши своє життя з чорнобильською зоною відчуження та зоною безумовного відселення з 2019 року, я, в якості спочатку туриста, а пізніше як організатор ознайомчих візитів мав змогу користуватися дозиметричними приладами дуже широкого спектру, починаючи від військових моделей радянського виробництва серії ДП-5 (Б та В) та закінчуючи професійними приладами українського виробництва.

Отримавши як теоритичний досвід при спілкуванні з представниками заводу-виробника приладів, так і практичний, при вимірюванні іонізуючого випромінювання близько до так званих “гарячих точок” в зоні відчуження я для себе зробив висновки який функціонал повинна мати система.

Метою кваліфікаційної роботи є: розробка системи стійкої до погодних умов, що складається з програмного та апаратного забезпечення, яка матиме подвійний функціонал і як прилад для мобільного використання, так і прилад, що може бути встановлено стаціонарно.

Для отримання результату необхідно ознайомитися з документацією вже готових приладів з цієї сфери, з методологією калібрування дозиметричних приладів, з платформою для розробки на базі мікроконтролерів та окремих доповнюючих модулів цієї платформи, розробити програмне забезпечення, побудувати приципову електричну схему блоку детектування та саме скласти зразок.

## 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ВІДОМОСТІ

### 1. Огляд існуючих рішень

Основна ідея - поєднання в одному приладі функціоналу кишенькового побутового дозиметра-радіометра та функціоналу АСКРО-подібних рішень (Автоматизована Система Контролю Радіаційної Обстановки при АЕС) з можливістю дистанційного збору та аналізу інформації.

Якості окремо взятих вищевказаних рішень: кишенькові прилади легкі, дозволяють оперативно провести вимірювання, є порівняно дешевими, мають зручне керування, зручний корпус, залежні від елементу живлення, доволі обмеженні в діапазоні вимірюваних величин, що залежать від характеристики конкретних лічильників. На відміну АСКРО-подібні системи мають велику вагу, унеможливлені проводити оперативні вимірювання, вимірювання проводяться від одного разу кожену годину до одного разу на добу, є суттєво дорожчими, вимагають навчений персонал для роботи з ними, умовно незалежні від живлення, воно відбувається шляхом надходження з електромережі.

Працюючи з приладами радянського виробництва серії ДП-5Б/В було відмічено такі характеристики: велика вага, широкий діапазон вимірювань, який було досягнуто за допомогою використання двох лічильників, в піддіапазонах від "x0.1" до "x10" використовується лічильник типу СБМ-20, а в піддіапазонах від "x100" до "200" використовується лічильник типу СИ-3бг, отже діапазон приладу становить від 50 мкР/год до 200 Р/год, наявність Стронцій-Ітрієвого контрольного джерела Бета-випромінювання типу Б-8, що дозволяє швидко перевірити працездатність приладу, висока надійність, проста електрична схема, що гарантує високу ремонтпридатність, висока стійкість до зовнішніх умов (захист від води та пилу) і наявність штанги, на яку кріпиться зонд, що дозволяє забезпечити дистанцію до потенційно небезпечного об'єкту, двома словами - військовий прилад.

Прилади українського виробництва ТМ “ЕКОТЕСТ” Терра-П та МКС-05 є легкими, мають маленькі габарити, зручний корпус, інформативний дисплей, обмежений діапазон вимірювань до 999,9 мкЗв/год (99990 мкР/год), що зумовлено використанням лічильника типу СБМ 20-1, мікропроцесорну логіку, живлення від батарейок. Основним мінусом цих приладів є те, що при значному виході за діапазон вимірювання, тобто значно більше за 99990 мкР/год, прилад може вводити користувача в оману, вимикаючи звукову сигналізацію та показуючи нулі на дисплеї, що пов’язано з виникненням тліючого розряду в лічильнику СБМ 20-1 при перевищенні рівня випромінювання в 144000 мкР/год. Відмінність в приладах Терра-П та МКС-05 полягає в тому що останній є сертифікованим приладом, що використовується державними органами, наприклад Національною Поліцією України а також має трішки вищу точність, похибка вимірювань у Терра-П складає 25%, у МКС-05 15%.

Прилади цієї ж торгівельної марки під назвою Стора-ТУ мають ідентичний функціонал, але вже мають кріплення для штанги, та мають чотири лічильника СБМ 20-1.

Модифікації вищеприведених приладів ТМ “ЕКОТЕСТ” можуть мати Bluetooth канал зв’язку, що дозволяє складати наприклад мапу забрудненості певної території.

АСКРО - система, призначена для безперервного моніторингу радіаційної обстановки на різних промислових майданках, санітарно захисній зоні та зоні спостереження при нормальній експлуатації, або ж при аварійній експлуатації радіаційно небезпечного об’єкту. Система є дійсно громіздкою, але й відповідно ефективною.

## 2. Лічильник Гейгера-Мюллера

Газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера називають прибор для підрахування потрапляючого в нього іонізуючого випромінювання, що представляє собою умовний конденсатор, заповнений газом, що пробивається при проходженні іонізуючої частинки через нього.

Лічильники виконуються в вигляді герметичної трубки, по осі якої натягнутий провідник - анод та коаксіально провідникові циліндр - катод, виконаний з металу або скла з нанесеним на скло шаром провідника. Також форма може бути пласкою, такі лічильники використовують для реєстрації альфа- та бета-випромінювання, через малий пробіг таких видів випромінювання контакти анод-катод розташовані ближче та вони мають тонке слюдяне вікно що не є суттєвою перешкодою на шляху альфа- та бета-випромінювання

Коли через трубку проходить іонізуюча частинка, атоми інертних газів, що знаходяться в електричному полі великої напруженості ( напруга на контактах сягає 400 вольт в випадку СБМ-20), зіштовхуються з частинкою та енергії при зіткненні достатньо для відриву електронів від атому газів, вільні електрони зіштовхуються з іншими атомами газу. Так виникає лавина з електронів, тобто пробій в трубці.

Для “зупинки” лавини використовують домішки, зазвичай у самозатухаючих лічильниках газовий склад являє собою основний газ (90%) та домішку (10%), наприклад в лічильнику СТС-5 такою домішкою є звичайний спирт, через це ресурс такого лічильника, по зрівнянню з СБМ-20, малий.

Лічильники Гейгера-Мюллера не призначені для вимірювання енергії частинок, тому точність таких приладів відносно не висока. Чутливість окремо взятого лічильника вимірюється експериментально за допомогою

зразкового контрольного джерела з препаратом, що випромінює гамма-кванти, для СБМ-20 діапазон пробоїв на мікро-Ренген становить від 60 до 75 імп/мкР.

Коли в трубку попадає заряджена частинка падає опір трубки, за рахунок збільшення струму, відповідно напруга також падає. Після цього опір та напруга відновлять свої рівні а ми отримали негативний імпульс напруги, рахуючи такі імпульси можемо визначити кількість частинок

Через слабку чутливість до Бета-випромінювання не беремо намір його виміряти, бо отримаємо зовсім недостовірні результати. Загалом метод вимірювання Бета-випромінювання простий: вимірюємо досліджуваний зразок з допомогою фільтра, що відсікає бета-випромінювання, зафіксувавши результат знімаємо фільтр та проводимо вимір ще раз, різниця цих двох вимірів і буде умовною кількістю частинок.

Реєстрація Альфа-випромінювання є більш складним, оскільки додається ще фільтр для Бета-випромінювання, для таких вимірів використовують дорогі обладнання.

Оскільки лічильник Гейгера-Мюллера не розрізняє вид випромінювання відповідно і побутові прилади можуть реєструвати Бета-частинки як Гамма чим суттєво завищують покази.

Лічильники Гейгера-Мюллера можуть працювати як в імпульсному режимі, реєструючи кожен частинку окремо так і струмовому, як до прикладу лічильник СИ13Г в ДП-5В на режимі x200, суть полягає в тому, що при високих рівнях доз немає сенсу реєструвати кожен частинку, доцільніше буде ввімкнути послідовно лічильнику відкалібрований по шкалі Р/год амперметр та знімати покази.

### 3. Технічні характеристики трубки Гейгера-Мюллера СБМ - 20

Для розробки було обрано виріб типу СБМ-20, оскільки він є найбільш розповсюдженим лічильником Гейгера-Мюллера і відповідно має меншу вартість, призначений до реєстрації жорсткого гамма- і детектування бета-випромінювання в діапазоні потужностей доз до 140000 мкР/год.

Таблиця 3.1. Основні електричні і радіометричні параметри

Назва параметру, одиниця вимірювання	Норма	
	не менше	не більше
Діапазон робочої напруги, В	350	475
Напруга початку відліку, В	260	320
Протяжність плато рахункової характеристики, В	100	-
Нахил плато рахункової характеристики, % на 1 В	-	0,1
Чутливість до гамма-випромінювання від джерела $^{137}\text{CS}$ , при $P = 4,0 \text{ мкР} * \text{с}^{-1}$ , імп/мкР	60	70
Швидкість обрахунку при $P = 4,0 \text{ мкР} * \text{с}^{-1}$ від джерела $^{137}\text{CS}$ , імп * $\text{с}^{-1}$	240	280
Амплітуда імпульсу напруги, В	50	-
Власний фон, імп * $\text{с}^{-1}$	-	1
Розкид чутливості до бета випромінювання, %	-	$\pm 15$
Вихідна ємність, пФ	-	10,5
Опір ізоляції, Ом	$1 * 10^9$	-

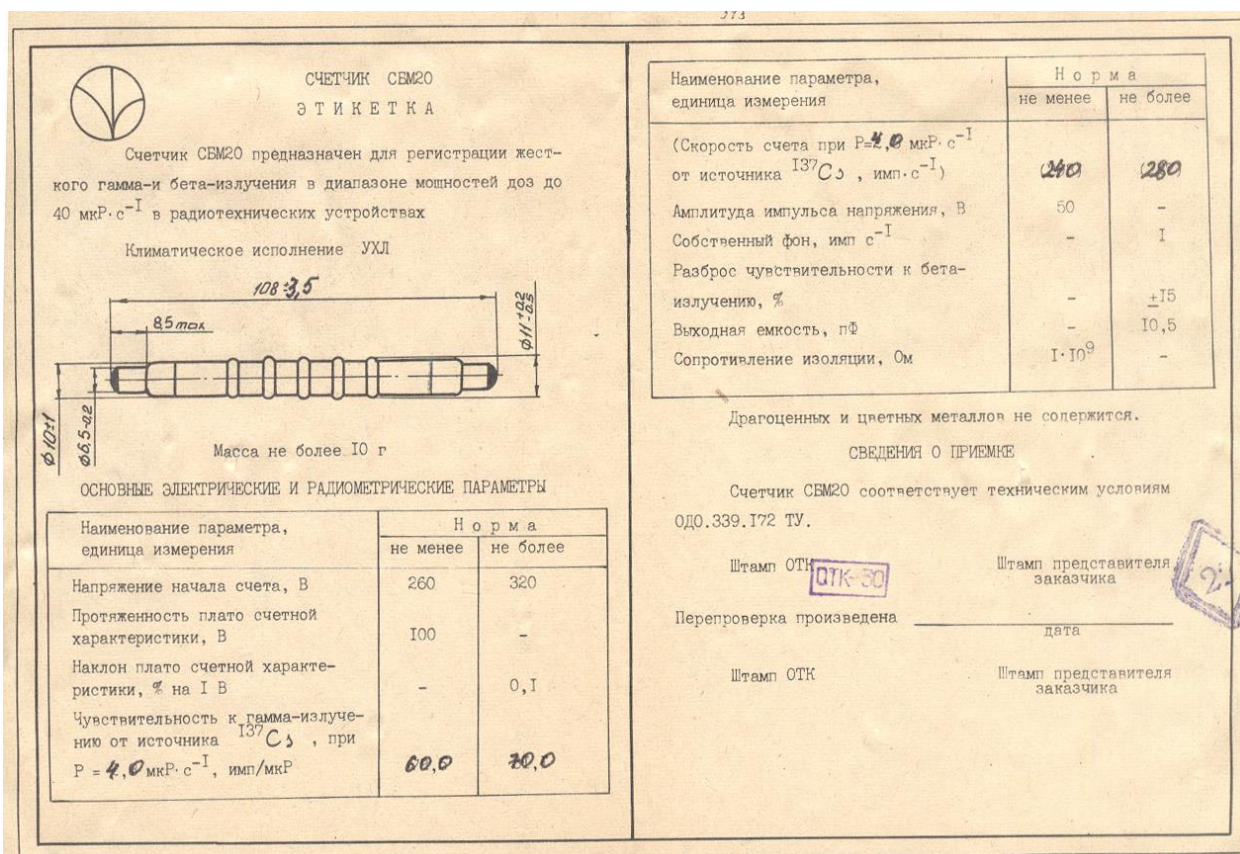


Рис. 3.1. Этикетка с основными характеристиками лічильника СБМ20

СБМ-20 розрахований для реєстрації гамма- та жорсткого бета-випромінювання.

#### 4. Arduino - платформа для розробки

Arduino - платформа для розробки, основою якої становить плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки на мові програмування, що є спрощеною підмножиною C/C++. Arduino може використовуватися як для створення автономних об'єктів, так і підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на сторонніх пристроях, наприклад комп'ютер, смартфон. Платформа являє собою Free soft- та hardware.

Серед сімейства Arduino плат було обрано плату формату Nano , через її невеликі розміри і хороші характеристики.

Основні характеристики: мікроконтролер Atmel Atmega328, робоча напруга (логічний рівень) 5 В, 14 цифрових виводів подвійного функціоналу (6 з яких можуть працювати як ШИМ-генератори) та 8 аналогових входів, максимальний струм одного виводу становить 40 мА, тактова частота 16 МГц, флеш пам'ять в 32 кбайт, 2 з яких використовується для завантажувача.

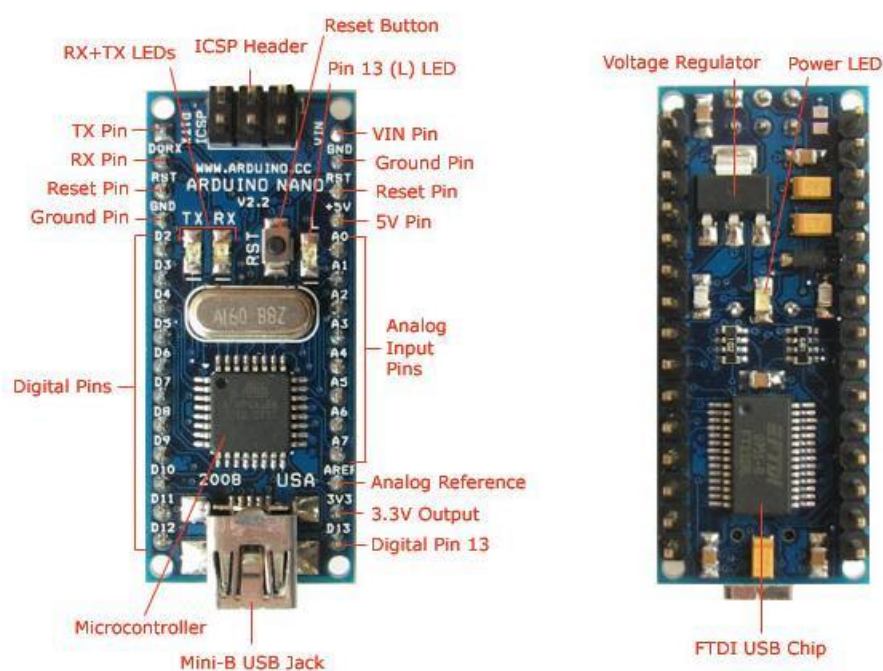


Рис. 4.1 Розташування елементів Arduino

## 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Проектування та виготовлення експериментального зразку.

В ході роботи було виготовлено експериментальний зразок, основою якого стала печатна плата власного виробництва за допомогою ЛУТ(“Лазерно-Утюжна Технологія”). Для створення плати було обрано програмне забезпечення Sprint-Layout .

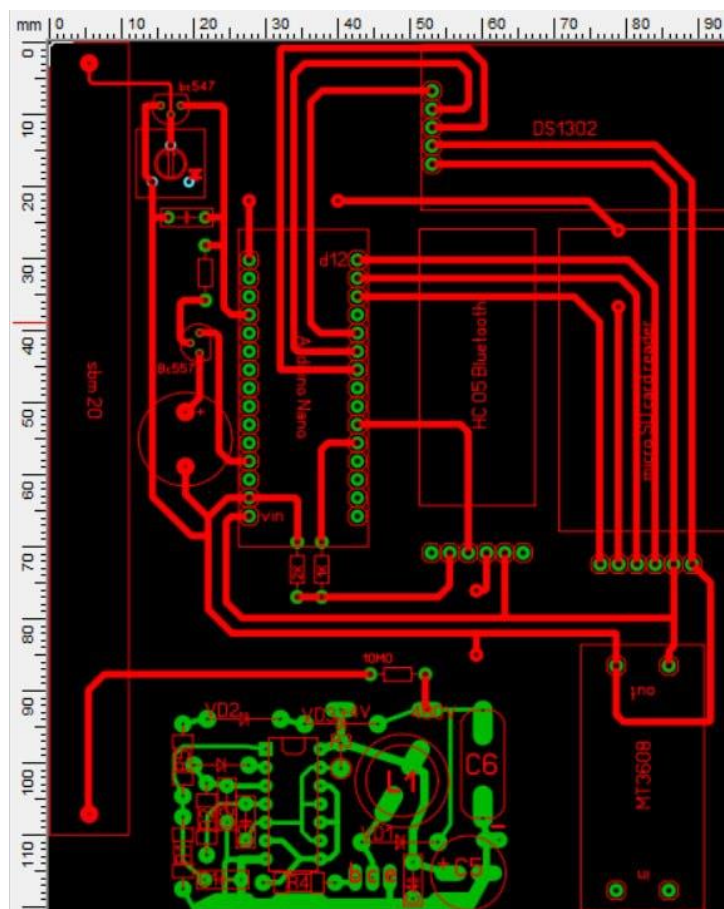
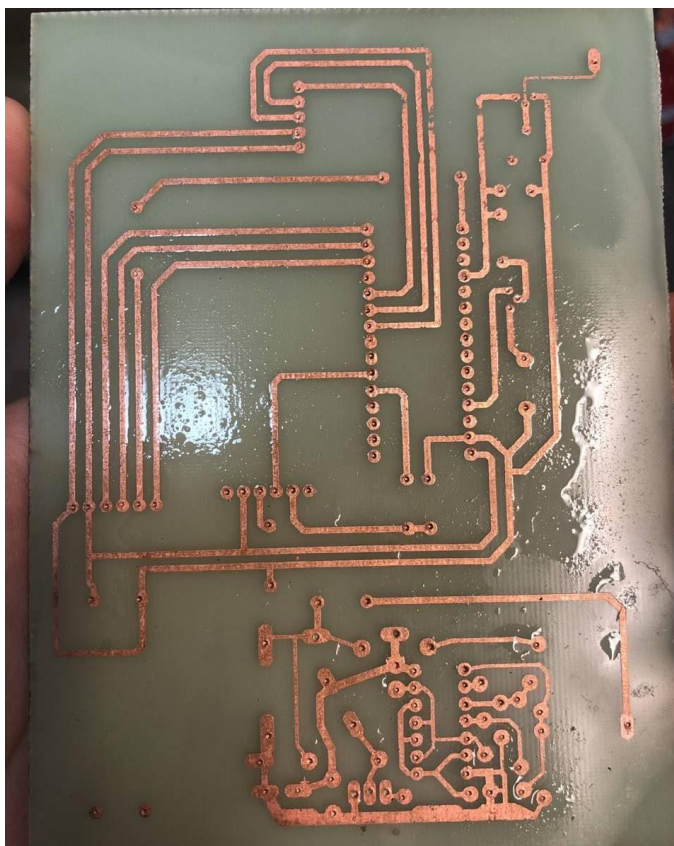


Рис. 1.1 скріншот з програми Sprint-Layout

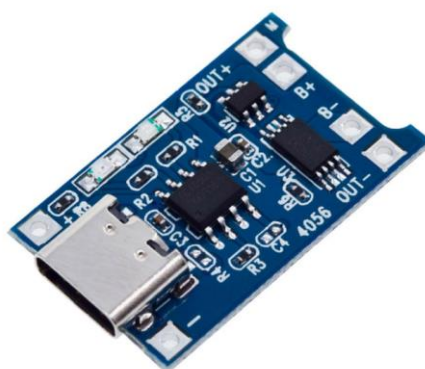
Розмітку було роздруковано на лазерному принтері, перенесено на текстолит з мідною фольгою за допомогою утюга, а не захищені ділянки міді було хімічно витравлено. Результатом цього є плата (рис. 1.2) якості вище середнього, яка забезпечує надійність контакту та фізичну жорсткість.



*Рис. 1.2 Готова печатна плата*

Компонентами зразка є:

- Елемент живлення 18650 3.7v 2500mah з платою зарядки TP4056 для захисту від перезарядження та перерозрядження;



*Рис. 1.3 TP4056*

- DC-DC перетворювач високовольтний на основі тригера 74НС14, який забезпечує високу напругу для роботи лічильника СБМ-20, змонтований на платі, має зменшене електроспоживання;

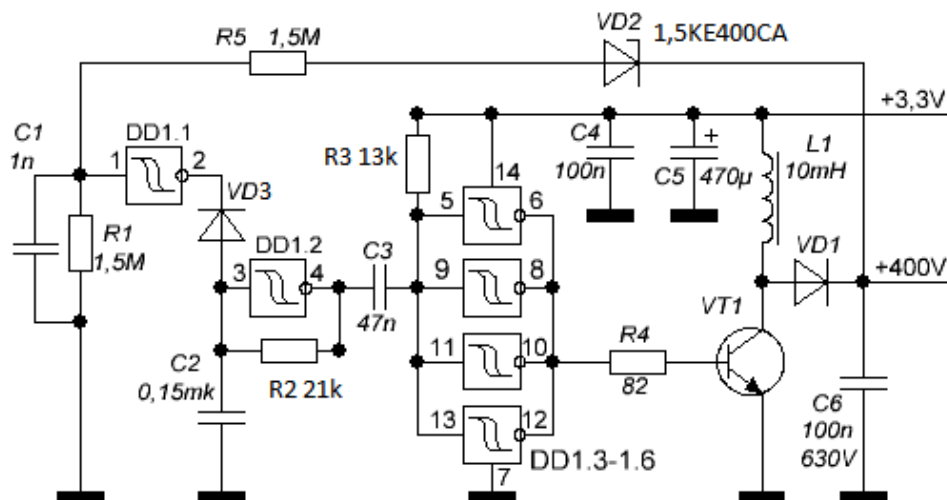


Рис. 1.4 схема DC-DC перетворювача 3-400В

- DC-DC перетворювач підвищувальний, модуль на мікросхемі МТ3608, перетворює напругу акумулятора 3.7 вольт в 5 вольт для роботи решти електроніки

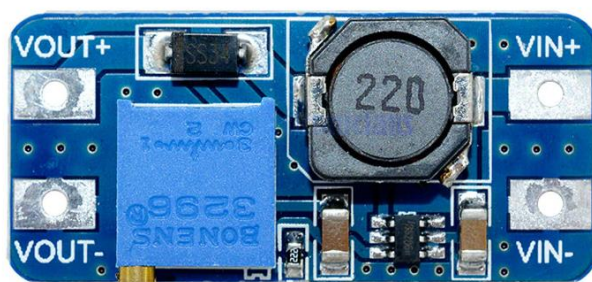


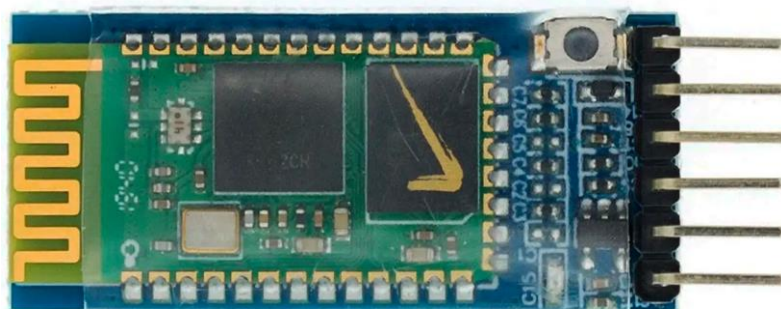
Рис. 1.5 МТ3608

- Arduino NANO є обчислювальним центром виробу, приймає дані з лічильника, проводить обрахунки, зв'язує між собою решту компонентів;



*Рис. 1.5 Arduino NANO*

- HC 05 - модуль Bluetooth, створює зв'язок між смартфоном на базі Android та Arduino, через нього на телефон передається результат вимірювання, а на Arduino приходять геолокація зі смартфона;



*Рис. 1.6 HC-05*

- DS1302 - модуль часу, працює незалежно від того чи ввімкнений зразок, має власне джерело живлення, надсилає в Arduino дату та час які застосовуються в логуванні показів;



*Рис. 1.7 DS1302*

- Модуль роботи з microSD картами пам'яті, використовується як місце для зберігання результатів вимірювання.

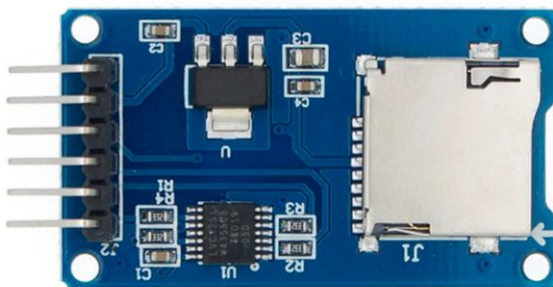


Рис. 1.8 Модуль microSD

- Обв'язка для лічильника СБМ-20, складається з пари транзисторів включені в режимі емітерного повторювача, один для безпечної передачі імпульсу з лічильника на Arduino, другий для звукової індикації реєстрації іонізуючої частинки частинки.

Провівши монтаж всіх комплектуючих та налаштування плати отримуємо такий результат:

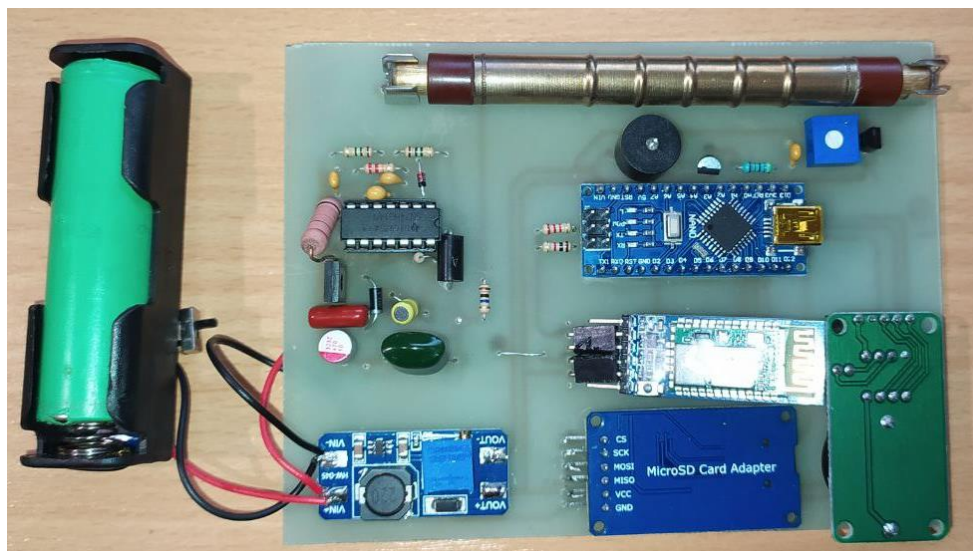


Рис. 1.9 Готова плата

## 2.2. Програмування мікроконтролера.

Розробка проводилася в середовищі Arduino IDE, для використання модулів було обрано відповідні бібліотеки.

Огляд програми:

Підключаємо бібліотеки

```
#include <SD.h> //для роботи з SD картою
#include <SPI.h> // для роботи з шиною SPI
#include <SoftwareSerial.h> //використання Bluetooth модуля на програмній шині SPI
#include <iarduino_RTC.h> // для роботи з годинником
```

Визначаємо змінні

```
const int CSpin = 10; //інформаційний пін модуля SD карти
int impulse = A0; //вхід для імпульсів з лічильника
int val = 0; //умовно булева змінна наявності імпульсу
int sum = 0; // сума імпульсів
String curtime; //поточний час в форматі rrrr-мм-дд гг-хх-сс
String rad; //стрінг для передачі результату вимірювання на смартфон
String coord; //стрінг в який записуються поточні координати
String SDwriteon; //стрінг для запису результатів вимірювання на карту SD
File logFile; //об'єкт класу File
#define RxD 3 //визначаємо пін для читання модулю Bluetooth
#define TxD 2 // пін запису
SoftwareSerial BlueConn(RxD, TxD); //об'єкт класу SoftwareSerial, означає модуль Bluetooth з
вищезазначеними пінами
iarduino_RTC clock (RTC_DS1302, 8, 6, 7); //об'єкт класу, визначає мікросхему модулю часу та
піни з'єднання з Arduino


void setup(){
  Serial.begin(9600); // ініціалізація послідовного порта
  BlueConn.begin(9600); //ініціалізація модулю Bluetooth
  delay(300);
  pinMode(CSpin, OUTPUT); //визначення режиму роботи піна SD карти
  SD.begin(); // ініціалізація модуля SD
}
```

```
void loop(){
  val = digitalRead(impulse); //призначаємо змінній val значення з аналогового входу A0
  if(val == 0){
    ++sum;
  }
}
```

по замовчуванню на піні A0 високий потенціал (5v), в момент пробою трубки напруга на A0 просідає, Arduino визначає що в момент пробою сигнал низький, оскільки обрана роль роботи входу як цифровий тому скористаємося цим.

```
if(millis()%36000==0){
  currtime = clock.gettime("d-m-Y, H:i:s");
  rad = sum;
  BlueConn.println(rad);
  delay(1500);
  coord = BlueConn.readString();
  sum = 0;
  SDwriteon = currtime + " " + rad + " " + coord;
  coord = "";
  Serial.println(SDwriteon);
  logFile = SD.open("log.txt", FILE_WRITE);
  logFile.println(SDwriteon);
  logFile.close();
}
```

В кодї вище кожні 36 секунд запитується в модулю часу дані, відсилається на смартфон результат вимірювання, отримуються координати та записуються результати на карту пам'яті в форматі: “дата + час + результат + координати”.

 log.txt – Блокнот

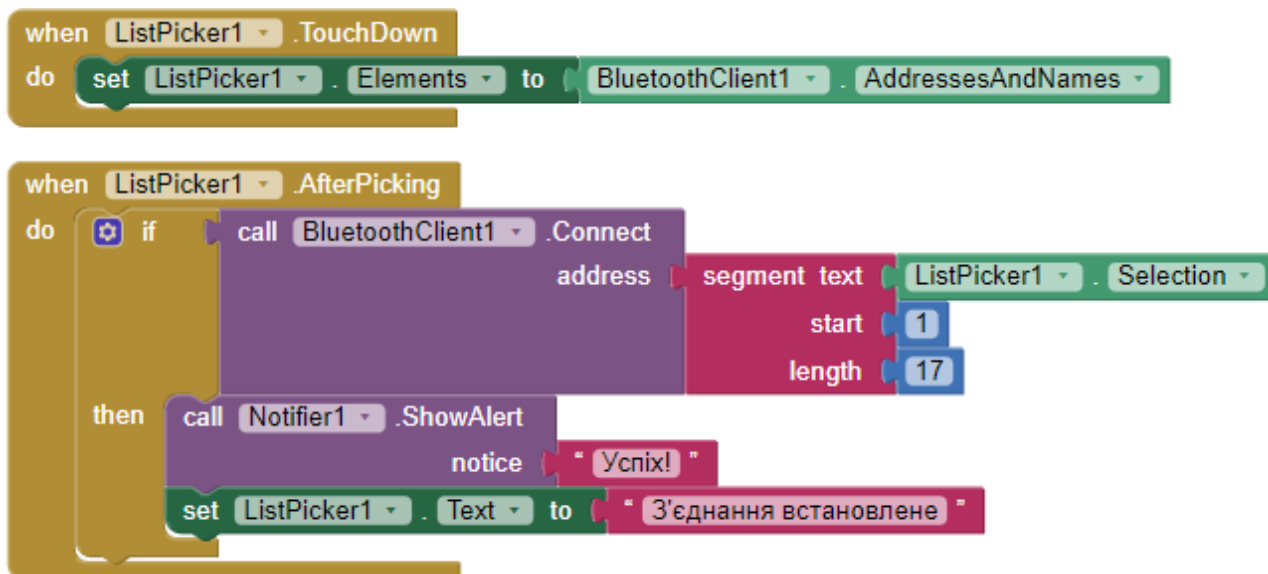
Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
09-06-2022,	03:11:23	18	50.38894	30.47966
09-06-2022,	03:11:18	8	50.38894	30.47966
09-06-2022,	03:12:34	17	50.38896	30.47969
09-06-2022,	03:13:10	14	50.38896	30.47969
09-06-2022,	03:13:06	9	50.38896	30.47969
09-06-2022,	03:14:22	724	50.38896	30.47969

Рис. 2.1 Вміст файлу log.txt

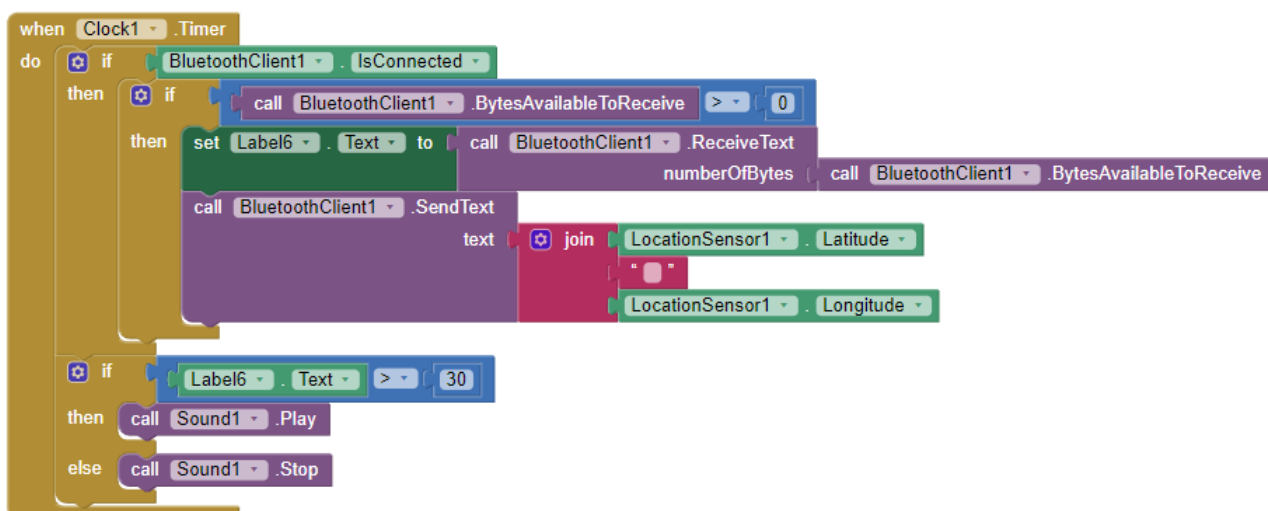
### 2.3. Додаток до смартфона на базі Android.

Додаток необхідно мати для отримання результатів вимірювання та визначення місцезнаходження.

Для створення було обрано платформу MIT App Inventor що привабила своєю простотою, легкістю в освоєнні та системою інтерактивного програмування.

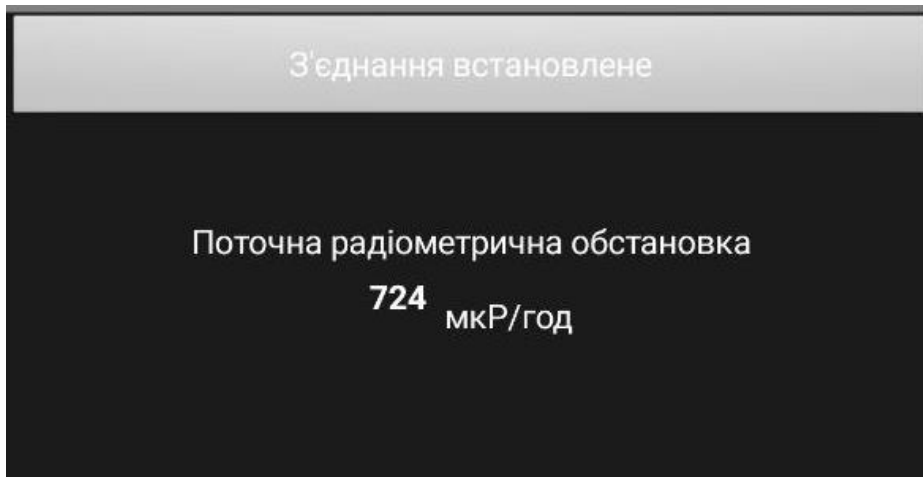


Програмуємо список наявних поблизу Bluetooth пристроїв та встановлюємо з'єднання, отримавши MAC-адресу модуля.



Вище прописана логіка роботи, а саме: якщо наявне з'єднання і від Arduino надходить якась інформація каналом Bluetooth то все отримане виводимо на екран, це і є наш результат вимірювань, після цього з модулю GPS отримуємо покази широти та довготи і відправляємо їх до Arduino.

Далі прописуємо що якщо результат вимірювання перевищив 30 ( в даному випадкі мкР/год) то вмикається звукова сигналізація на смартфоні, сповіщаючи про перевищення санітарної норми іонізуючого випромінювання.



*Рис. 3.1 Інтерфейс додатку для Android*

Результат в 724 мкР/год було отримано за допомогою Стронцій-Ітрієвого джерела Бета-частинок Б-8 з радянського прибору ДП-5В.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було проведено аналіз літератури, що описують принцип роботи лічильника Гейгера на основі газорозрядних трубок Гейгера-Мюллера, будову дозиметричних приборів, принципів дозиметрії, радіохімії, радіометричних досліджень, будову самої макетної плати Arduino Nano, основи програмування мікроконтролерів основи програмування додатків для Android.

Вибрано оптимальне рішення поставленої задачі. Зокрема в зразку використано перетворювач напруги зі зменшеним споживанням електроенергії холостого ходу та з можливістю масштабування до трьох-чотирьох лічильників. Відмова від дисплея, пасивних джерел звуку спричинила приріст в автономії. Оскільки відсутні фізичні елементи керування, при використанні герметичного корпусу маємо повністю захищений прилад від впливу погодних умов.

Виготовлений експериментальний зразок побутового приладу для реєстрації іонізуючих частинок гамма- випромінювання в діапазоні доз до 100 мР/год. Прилад побудований на основі газорозрядної трубки Гейгера-Мюллера СБМ-20 та макетної плати Arduino Nano. Використання платформи Arduino дає змогу до подальшої модернізації приладу, наприклад заміна Bluetooth модуля на GSM, GPS, Wi-Fi та використання цих каналів зв'язку. Є можливість інтегрувати зразок до системи розумного дому, або до інших метрологічних систем, по типу систем аналізу якості повітря в місті та отримувати більш комплексні результати.

Переваги створеного приладу полягають в простоті, високій повторюваності, відсутності дефіцитних компонентів, широких можливостях до модифікації, легкій адаптації до масового виробництва та в загальній дешевизні. При перевірці було виявлено що джерело потужністю до 30 мР/год не здатне спричинити збій приладу. Відмічається можлива висока надійність.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бондаренко В.Г. Счетчик Гейгера–Мюллера: Лабораторная работа. / В.Г. Бондаренко, М.А. Кирсанов, В.В. Кушин, Н.А. Миханчук, С.Г. Покачалов // М.: МИФИ. - 2009. – 20 с.
2. Абрамов А.И. Основы экспериментальных методов ядерной физики. / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич // М.: Энергоатомиздат. - 1985. -388 с.
3. Клайнкнехт К. Детекторы корпускулярных излучений / Клайнкнехт К. // М.: Мир. – 1990. – 224 с.
4. Дьяков А.В. Методы и устройства Детектирования Ионизирующих излучений / Дьяков А.В., Исаков Л.М., Лебедев О.А., Саксеев Е.К., Шадрин А.А. // М.: Мир. – 2004. – 335 с.
5. Книга-брошура фірми “ЕсоTEST”. Львів.
6. Грошсв В.Д. Разработка больших пропорциональных камер для магнитного детектора МД-1 / В.Д. Грошсв, Г.М. Колачев, Г.Д. Минаков и др. // Труды Междунар. совещ. по методике пропорциональных камер. Препринт ОИЯП Д13—9164. Дубна. 1975. С. 81.
7. Двуразны А. Конструкция и "результаты испытании маштострикционной искровой камеры размером 2X1 / Двуразны А., Ю. В. Заневский, Кубица В. и др. м. Сообщение ОИЯИ 13—7266. Дубна. 1973.
8. Erskine G.A. Electrostatic Problems in Multiwire Proportional Chambers // Nucl. Instrum. and Meth. 1972. Vol. 105, N 3. P. 565.
9. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя / А. В. Евстифеев // М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. — 592 с. — (Программируемые системы) — ISBN 978-5-94120-090-0.