

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для підвищення інформативності радіометричних вимірювань*

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Крочак В.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Хвостівська Л.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Хвостівський М.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Крочаку Валентину Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для підвищення інформативності радіометричних вимірювань

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » листопада 2020 року № 4/7-870

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження: процес опрацювання імпульсів на виході радіометричної установки, породжених різними видами іонізуючого випромінювання;

Предмет дослідження: метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для підвищення інформативності радіометричних вимірювань.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Основна частина

3. Науково-дослідна частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для підвищення інформативності радіометричних вимірювань» // Кваліфікаційна робота // Крочак Валентин Ігорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2020 // с. – 78, рис. – 30, табл. – 0, додат. – 2, бібліогр. – 30.

Ключові слова: ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, РАДІОМЕТРІЯ, ІОНІЗАЦІЙНИЙ МЕТОД, ДАВАЧ ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА, ІМПУЛЬС, ОБМЕЖЕНИЙ ПРОПОРЦІЙНИЙ РЕЖИМ, СИНХРОННЕ УСЕРЕДНЕННЯ, ІНФОРМАТИВНІ ОЗНАКИ.

В кваліфікаційній роботі розроблено метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для задачі підвищення інформативності іонізаційного методу радіометричних вимірювань. Проаналізовано відомі методи вимірювання радіоактивності та встановлено, що іонізаційний метод вимірювання радіоактивності з застосуванням давачів Гейгера-Мюллера є дешевим та простим, але недостатньо інформативним. Розроблений метод відрізняється підвищеною інформативністю та точністю. За допомогою введення давача Гейгера-Мюллера в обмежений пропорційний режим роботи, вдалось виявити нові інформативні ознаки у імпульсах на його виході. В якості інформативних ознак запропоновано використовувати відмінності у спектральній густині потужності імпульсів.

ANNOTATION

Theme of qualification work: "Method of recognition of pulses of ionizing radiation for increase of informativeness of radiometric measurements" // Qualification work // Valentyn Krochak // Ternopil National Technical University named after IvanPulyuy, faculty of applied information technologies and electrical engineering, RRm-61 group // Ternopil, 2020 // pages - 78, illustrations - 30, tables - 0, appendixes - 2, bibliography - 30.

Keywords: IONIZING RADIATION, RADIOMETRY, IONIZATION METHOD, GEIGER-MULLER SENSOR, IMPULSE, LIMITED PROPORTIONAL REGION, TIME SYNCHRONOUS AVERAGING, INFORMATIVE SIGNS.

The qualification work is about development of a method of recognizing pulses of ionizing radiation for the increasing the informativeness of the ionization method of radiometric measurements. The known methods of measuring radioactivity are analyzed and it is established that the ionization method of measuring radioactivity using Geiger-Mueller sensors is cheap and simple, but not informative enough. The developed method is more informative and accurate. By using the Geiger-Mueller sensor into a limited proportional region, it was possible to detect new informative signs in the pulses at its output. It is proposed to use differences in the spectral power density of pulses as informative signs.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	12
1.1. Основні види іонізуючого випромінювання	12
1.2. Методи реєстрації іонізуючого випромінювання.....	14
1.3. Особливості іонізаційного методу реєстрації іонізуючого випромінювання	17
1.3.1. Основні принципи роботи і конструкція давачів Гейгера-Мюллера	22
1.3.2. Виявлення нейтронів за допомогою давача Гейгера-Мюллера.....	26
1.3.3. Пропорційні лічильники	26
1.4. Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	29
2.1. Оцінка іонізуючого випромінювання як випадкового процесу.....	29
2.2. Характеристика сигналу на виході радіометричної установки.....	33
2.3. Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	43
3.1. Оцінка впливів на давач Гейгера-Мюллера	43
3.2. Експериментальна установка та режим роботи давача Гейгера-Мюллера.....	44
3.3. Оцінка окремих імпульсів на виході радіометричної установки.....	50
3.4. Висновки до розділу 3	57
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
4.1. Безпека в надзвичайних ситуаціях	58

4.1.1. Мета забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань	58
4.1.2. Порядок виконання заходів щодо забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант	60
4.1.3. Заходи метрологічного забезпечення в єдиній державній системі цивільного захисту	63
4.2. Охорона праці.....	66
4.3. Висновки до розділу 4	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	72
Додаток А. Параметри основних видів іонізуючого випромінювання.....	75
Додаток Б. Копія тези конференції.....	76

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

БПК – багатодротова пропорційна камера

ДГМ – давач Гейгера-Мюллера

ІВ – іонізуюче випромінювання

ПЛ – пропорційний лічильник

СУ – синхронне усереднення

ВСТУП

Актуальність теми. За радіаційної обстановки, що склалась у світі, актуальним є вивчення феномену радіоактивності, його впливу на навколишні об'єкти та організми. Радіацію, а саме іонізуюче випромінювання, неможливо відчутти або побачити, але воно є одним з найбільш небезпечних і поширених вражаючих факторів, що згубно впливають на людину.

Для виявлення, якісної та кількісної оцінки іонізуючого випромінювання в певному середовищі, використовують різного роду пристрої, зокрема, дозиметри, радіометри, спектрометри. Деякі з них здатні розпізнавати вид і енергію іонізуючого випромінювання, що на нього діє. Для прикладу, сцинтиляційний аналіз. Він є високоефективним, володіє найбільшою розділовою здатністю з усіх відомих. Також значною є висока лінійність та низькі похибки вимірювань. Суттєвим недоліком такої конструкції є складність та дороговизна, великі масо-габаритні показники [1].

У цій роботі увага буде приділена іонізаційному методу вимірювання радіоактивності, який базується безпосередньо на здатності іонізуючого випромінювання іонізувати атоми речовини, є дешевим та доступним для широкого використання. В таких методах широко використовують різні види та модифікації газорозрядних трубок і камер. Зараз ці пристрої в більшості представлені різними варіаціями газорозрядних давачів Гейгера-Мюллера. При вимірюванні радіоактивності матеріалів і дослідженні сукупних іонізуючих випромінювань за допомогою таких давачів, як правило, використовують метод екранування, при якому один з видів випромінювання на шляху до лічильника відсікається певним матеріалом (наприклад: свинець, бетон) [2]. В загальному це називають радіометричними вимірюваннями. Такий метод є ефективним та простим, але недостатньо інформативним. Також при екрануванні виникають побічні

випромінювання, які спричиняють відчутні похибки і відсутність можливості впевненого і обґрунтованого трактування результатів таких вимірювань.

Використання методу розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання дозволяє без застосування методу екранування розрізняти види випромінювань, які спричиняють лавинний процес в давачі Гейгера-Мюллера, що значно підвищує інформативність радіометричних вимірювань. Це є актуальною науковою задачею.

Мета і завдання дослідження: виявлення нових інформативних ознак імпульсів на виході давача Гейгера-Мюллера, що пов'язані з видом діючого іонізуючого випромінювання. Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Провести аналітичний огляд літературних джерел за тематикою дослідження;

2. Оцінити вихідний сигнал радіометричної установки як випадковий процес;

3. Оцінити впливи на радіометричну установку в умовах експерименту;

4. Обрати необхідний режим роботи давача Гейгера-Мюллера і підтвердити його працездатність у обраному режимі;

5. Провести збір інформації з радіометричної установки за різних умов, зважаючи на вплив зовнішніх чинників;

6. Проаналізувати отриману інформацію на предмет нових інформативних ознак, сформулювати загальне правило для виявлених інформативних ознак.

Об'єкт дослідження: процес опрацювання імпульсів на виході радіометричної установки, породжених різними видами іонізуючого випромінювання.

Предмет дослідження: метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для підвищення інформативності радіометричних вимірювань.

Методи дослідження: спектрально-кореляційний аналіз – використовується для визначення різновиду випадкових процесів, що відбуваються у радіометричній установці; синхронне усереднення – використовується для отримання імпульсу, що

містить у собі інформацію усієї вибірки окремих реалізацій ансамблю для певного виду іонізуючого випромінювання; гармонічний аналіз – використовується для виявлення інформативних ознак для реалізації розпізнавання.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше було застосовано обмежений пропорційний режим роботи давача Гейгера-Мюллера для отримання нових інформативних ознак імпульсів;

2. Вперше було виявлено нові інформативні ознаки імпульсів на виході радіометричної установки при впливі різних видів іонізуючого випромінювання.

Публікації. Результати дослідження апробовано на конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (ТНТУ, 25-26 листопада 2020 року) у тезі «Метод розпізнавання сигналів іонізуючого випромінювання для газорозрядних давачів Гейгера-Мюллера» (див. додаток Б).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Основні види іонізуючого випромінювання

Іонізуюче випромінювання (ІВ) – будь-яке випромінювання, яке при взаємодії середовищем спричиняє утворення електричних зарядів з різними потенціалами. Виокремлюють наступні види ІВ: α -, β -випромінювання, електромагнітне і нейтронне випромінювання. Зазначені різновиди випромінювання володіють різною проникною здатністю.

Енергію ІВ прийнято вимірювати в електрон-вольтах (eV). Ця величина відповідає отриманій електроном енергії при вільному переміщенні в однорідному електричному полі, породженому різницею потенціалів в 1 В.

Альфа-випромінювання (α -випромінювання) – це ІВ, що є потоком ядерних частинок (а саме ядер гелію-4), що продукуються при перетвореннях важких і надважких ядер. Енергія α -випромінювання відноситься до порядку десятків мегаелектрон-вольт і залежить від природи протікаючого в певному ядрі процесу. Окремі радіонукліди продукують α -частинки кількох енергій.

Цей вид ІВ характеризується малою довжиною пробігу і низькою проникною здатністю. Для нього перешкодою є навіть аркуш паперу. Для прикладу, пробіг вільних ядер гелію, що наділені енергією близько чотирьох MeV в повітряному проміжку - 2,5 см. Це ІВ не здатне пройти через зовнішній ороговілий шар шкіри. Тому, α -випромінювання практично не становить загрози здоров'ю, але лише за умови, що випромінюючі радіонукліди не знаходяться всередині організму. Внаслідок високої іонізуючої здатності, одна α -частинка спроможна іонізувати до 10^4 органічних молекул всередині тіла людини.

Бета-випромінювання – потік електронів чи позитронів, які володіють більшою проникною здатністю, якщо порівнювати з α -випромінюванням.

Електрони або позитрони, що продукуються радіонуклідом, володіють безперервним енергетичним спектром, що розподілений від нуля до визначеного максимального значення, яке є характерним для цього радіоізопа. Максимальна енергія спектру β -випромінювання радіоізопаів знаходиться в області від кількох кеВ до кількох МеВ.

Вільний пробіг β -частинок в повітряному проміжку сягає кількох метрів, а в тканинах людини - кількох сантиметрів. Відстань пробігу вільних електронів і позитронів з енергією близько чотирьох МеВ в повітряному проміжку сягає 17,5 м, а в органічній тканині - 2,6 см. Але вони можуть бути затримані тонким листовим алюмінієм. Як і у випадку з джерелами α -випромінювання, β -радіонукліди значно небезпечніші при потраплянні всередину тіла людини.

До електромагнітних видів ІВ відносять *рентгенівські і γ -промені*. Після того, як активне ядро розпадається, кінцевий продукт деяких випадках опиняється в збудженому стані, випускаючи γ -кванти енергії для переходу у спокійний стан.

Електромагнітне випромінювання поширюється зі швидкістю світла, і γ -промені – не виключення. Володіючи високою проникною здатністю, вони достатньо легко проникають крізь товсті металеві плити. При цьому, проникна здатність електромагнітних видів ІВ зростає пропорційно до значення їх енергії. Здебільшого, γ -промені володіють енергією в діапазоні від кількох кеВ до кількох МеВ.

Рентгенівське випромінювання має не ядерне, а атомне походження. Це ІВ виникає при переходах електронів між орбіталями атома (характеристичне рентгенівське випромінювання), або при різкому гальмуванні елементарних частинок з високими енергіями (гальмівне рентгенівське випромінювання). Перший вид володіє дискретним енергетичним спектром, другий – безперервним. Енергія рентгенівського випромінювання знаходиться в межах від сотень еВ до десятків кеВ. Електромагнітні ІВ при опроміненні людини наносять шкоду усім внутрішнім органам і шарам епітелію, тому є особливо небезпечними.

Нейтронне випромінювання – потік вільних нейтронів. Вони зазвичай виникають у акті поділу надважких ядер, а також у результаті певних видів ядерних реакцій. Зазвичай нейтронне випромінювання продукується в активних ядерних реакторах, і щільність потоку в них зазвичай становить 10^{10} - 10^{14} нейтронів / (см²*с). Різновиди вільних нейтронів наведені у табл.А.2.

Коли вільний нейтрон взаємодіє з речовиною, можуть виникати такі процеси всередині речовини як розсіювання нейтронів, ланцюгові ядерні реакції. Проникна здатність нейтронів висока, сумісна з γ -квантами. Для задачі екранування теплових нейтронів застосовують графіт, бор, свинець. Для швидких застосовують парафін, важку воду, бетон [1]. Порівняння параметрів основних видів ІВ наведені у табл.А.1. [3].

1.2. Методи реєстрації іонізуючого випромінювання

Фотографічний метод – ІВ впливає на фотопапір або фотоплівку, спричиняючи фотоліз броміду срібла.

Цей метод має в основі хімічний процес зміни відтінку певної речовини при впливі на неї ІВ. Для прикладу, якщо γ -випромінювання діє на молекули броміду срібла, що є складовою чутливої фотоемульсії, спричиняє розпад і утворення елементарного срібла і броміду. Саме елементарне срібло надає опроміненим ділянкам більш чорного відтінку фотоемульсії після проявлення. Отриману дозу підраховують якісно, за ступенем почорніння фотоемульсії відносно еталону.

Хімічний метод – має в основі хімічні зміни у різноманітних речовинах, які чутливі до впливу певного різновиду ІВ.

При впливі ІВ на деякі хімічні речовини, у них відбуваються різноманітні хімічні реакції. При цьому змінюється їх хімічна структура, колір, густина. Таким чином, хлороформ під впливом ІВ розпадається, утворюючи хлоридну кислоту.

Хлоридну кислоту легко виявити найпростішими індикаторами кислотного середовища [2].

Сцинтиляційний метод полягає у використанні специфічних речовин, які під впливом ІВ утворюють електромагнітне випромінювання, зазвичай у оптичній ділянці спектра. Утворені кванти світла надходять на фотоелектронний помножувач (ФЕП), який є складним електровакуумним пристроєм і перетворюються на електричний струм. Струм можна легко виміряти і визначити за його значенням енергію і навіть різновид ІВ. Загальна схема сцинтиляційної установки наведена на рис. 1.1. [1]:

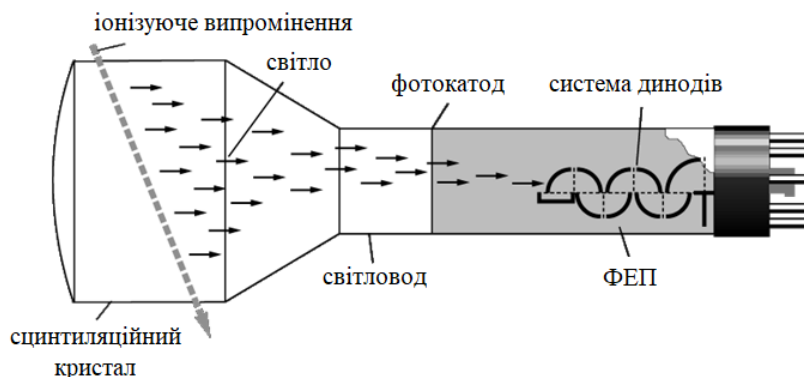


Рис. 1.1. Загальна схема сцинтиляційної установки

Іонізаційний метод – базується на здатності ІВ здійснювати іонізацію атомів газів. У певному об'ємі газу при впливі ІВ утворюються позитивні і негативні заряди (іони і вільні електрони). В пристроях, що фіксують таке явище, до об'єму газу підводяться два потенціали з достатньою різницею, щоби утворені заряди могли переміщатись до електродів під дією поля і утворювати струм. Такий струм називають *іонізуючим* і його значення дозволяє судити про інтенсивність ІВ або потужність дози. Чим більша іонізаційна здатність випромінювання – тим менша потрібна його інтенсивність для досягнення певного значення іонізуючого струму. Пристрій, який працює за таким принципом називаються *іонізаційною камерою*. Спрощена структура такої камери наведена на рис.1.2. [3]:

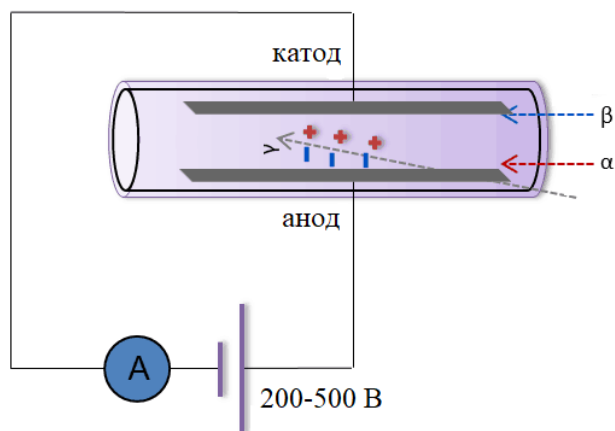


Рис. 1.2. Схематичне зображення іонізаційної камери

Радіометричний, або дозиметричний метод, що отримали найбільше поширення. За допомогою пристрою, що називають давачем Гейгера-Мюллера (ДГМ), підраховують кількість імпульсів, породжених ІВ, або фіксують усереднене значення іонізуючого струму. Прилади з ДГМ називають дозиметрами або радіометрами, і вони мають широке використання в побуті, народному господарстві і науці через їх простоту, дешевизну та ефективність [3]. Наприклад, для вимірювання потужностей експозиційних доз використовують відомі пристрої санітарного та екологічного контролю, такі як МКС-07, РКС-01 українського виробництва. Спрощена структурна схема ДГМ наведена на рис.1.3.

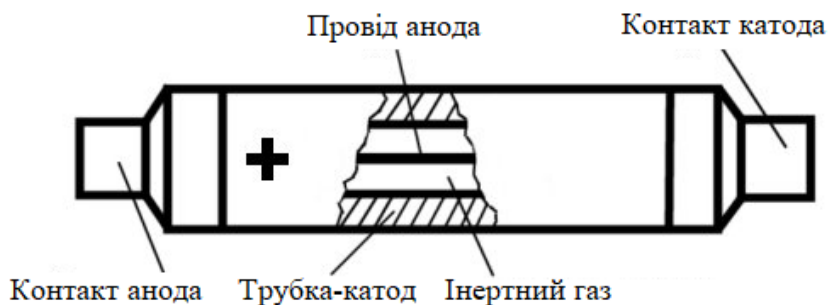


Рис. 1.3. Спрощена структурна схема давача Гейгера-Мюллера

Існують також інші пристрої для виявлення та візуалізації ІВ. Наприклад, камера Вільсона, бульбашкова камера.

Камера Вільсона є герметично закритим циліндром, що заповнений газом і певними парами. Пар у камері перебуває на межі насичення. Коли об'єм камери різко збільшується за допомогою поршня, пара стає перенасиченою внаслідок охолодження газу. Коли в цю пару залітає іонізуюча частинка, на своєму шляху вона ударно іонізує атоми газу у камері. На заряджених іонах перенасичена пара знаходить точки для конденсації, утворюючи видимі мікрокраплі рідини. Таким чином утворюються видимі треки, що проходять іонізуючі частинки. Фотокамера здатна фіксувати ці треки, і в подальшому можна підрахувати кількість потраплянь в камеру [4].

При дії на камеру магнітного поля можливо навіть розрізнити види ІВ і енергію потрапляючих частинок. Будова камери Вільсона наведена на рис.1.4.

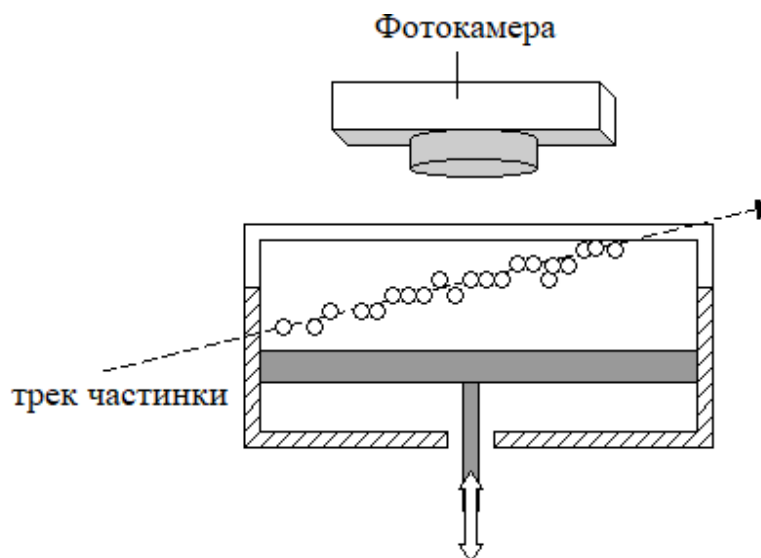


Рис. 1.4. Спрощена структурна схема камери Вільсона.

1.3. Особливості іонізаційного методу реєстрації іонізуючого випромінювання

Першим пристроєм, який застосовувався в межах іонізаційного методу детектування ІВ, є іонізаційна камера.

Ця камера зазвичай виконується в вигляді герметичної посудини з плоскими пластинами або концентричними циліндрами в ролі електродів. Плоскі пластини вважаються кращим варіантом, оскільки газовий проміжок між ними має чіткий діючий об'єм і гарантує відсутність втрат на ізоляційних матеріалах і спричиняють менше спотворень електричного поля. Якщо ІВ впливає на газ у проміжку між електродами, утворюється певне кінцеве число іонних пар. На утворені пари впливає електричне поле, утворене між двома електродами. Їх поведінка залежить від напруженості цього поля, типу і тиску газу. Позитивно заряджені іони рухаються до негативно зарядженого електрода (катода), а негативні іони – до позитивно зарядженого електрода (анода). Електричне поле також виконує роль утримування рекомбінації між парами іонів [5].

Конструкція іонізаційної камери відрізняється від пропорційного лічильника (ПЛ), або ДГМ. Такі камери зазвичай мають відносно великий робочий об'єм газу. Іноді виконуються навіть у вигляді відкритої камери, яка використовує атмосферне повітря як робочий газ. Як зазначалось, більш вигідною є конструкція з електродами у вигляді плоских пластин, але оскільки вона непрактична, зазвичай іонізаційну камеру виконують у вигляді концентричних циліндрів, як показано на рис.1.5.

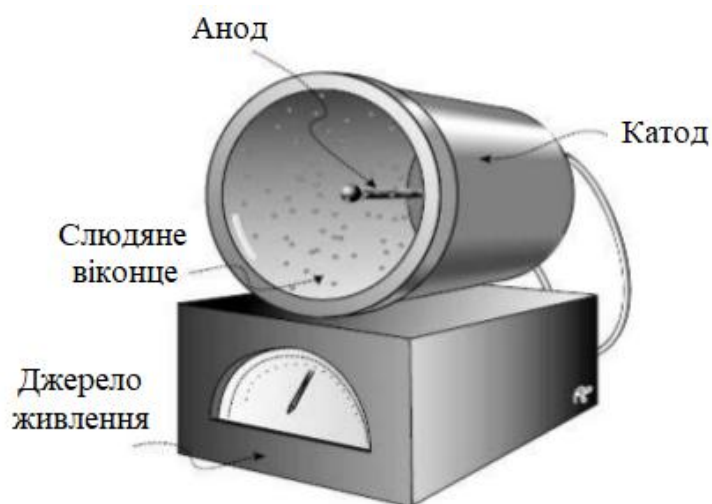


Рис. 1.5. Один з варіантів виконання іонізаційної камери

Для повітря середня енергія, що необхідна для утворення пари іонів, становить близько 34 еВ, виходячи з цього, ІВ енергією 1 МеВ, повністю поглинене давачем, породжує близько $3 \cdot 10^4$ пари іонів. Така кількість іонів не може утворити достатньо значущого електричного струму, але його можна значно підсилити за допомогою стандартної електроніки. Для створення струму близько 1 мікроампера, необхідно 10^{12} електронів на секунду.

Модифікацією іонізаційної камери став ДГМ. Цей пристрій названо на честь двох фізиків, які винайшли його у 1928 році. Мюллер був учнем Ганса Гейгера. Цей давач широко використовується в таких сферах, як дозиметрія, радіаційний захист, експериментальна фізика та ядерна інженерія. Лічильник Гейгера-Мюллера (ЛГМ) складається з ДГМ (в ролі давача, що чутливий до ІВ) та електроніки, що візуалізує отриманий результат.

ЛГМ може бути чутливим до різних видів ІВ, таке як α - та β -частинки, нейтрони та γ -випромінювання, маючи в основі принципу дії ефект іонізації. Напруга між електродами ДГМ (рис.1.3) встановлюється таким чином, щоб вона відповідала ділянці Гейгера-Мюллера. Необхідні напруги живлення ДГМ можуть суттєво відрізнитись для різних типів конструкції давача, типу газу та його тиску.

Виділяють шість основних робочих ділянок ДГМ, де іонізаційна, пропорційна та ділянка Гейгера-Мюллера, вважаються найбільш корисними з точки зору практичного застосування. α -випромінювання має більшу іонізуючу здатність ніж решта наведених, тому воно спричиняє більший іонізуючий струм, але за цим показником не можна нічого розпізнати в силу неможливості реалізації опорного еталону іонізуючого струму, а в ділянці Гейгера-Мюллера взагалі відсутня відмінність між цими струмами [6].

На рис.1.6 умовно позначені різні ділянки робочих режимів для α , β і γ -випромінювання.

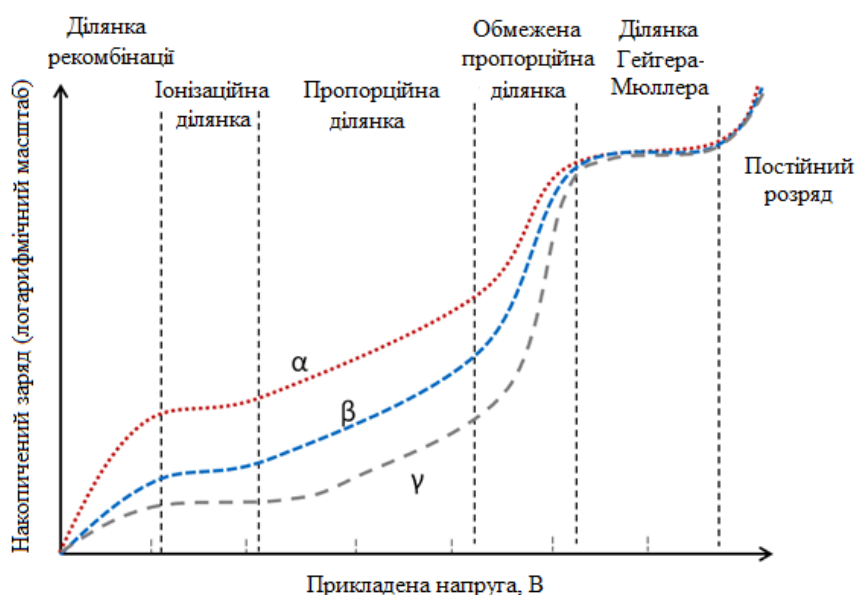


Рис. 1.6. Залежність накопиченого заряду від напруги між електродами

При забезпеченні необхідної напруги, прискорювальна дія поля достатня, щоб забезпечити первинним електронам можливість іонізації атомів в робочому газі. Вторинні іони, породжені ударною іонізацією (спричинені *ампліфікацією газу*), також прискорюються, викликаючи ефект, який називають лавиною Таунсенда. Цей ефект підживлюється не лише явищем ударної іонізації, але і впливом ультрафіолетового (УФ) випромінювання, яке породжується збудженими в початковій лавині атомами. Електричне поле не впливає на УФ, тому лавини можуть бути спровоковані на великій відстані від початкового іонізаційного спалаху. Тому у детектуванні кожного впливу ІВ приймає участь більша частина робочого газу ДГМ. В ході цього явища підсилення початкового іонізаційного струму може сягати 10^{10} разів, що створює струм достатньо великого значення, щоби це могла виявляти найпростіша електроніка. Тому у детектуванні кожного впливу ІВ приймає участь більша частина робочого газу ДГМ. В ході цього явища підсилення початкового іонізаційного струму може сягати 10^{10} разів, що створює струм достатньо великого значення, щоби це могла виявляти найпростіша електроніка. Виникнення лавини Таунсенда зображено на рис.1.7. [5]:

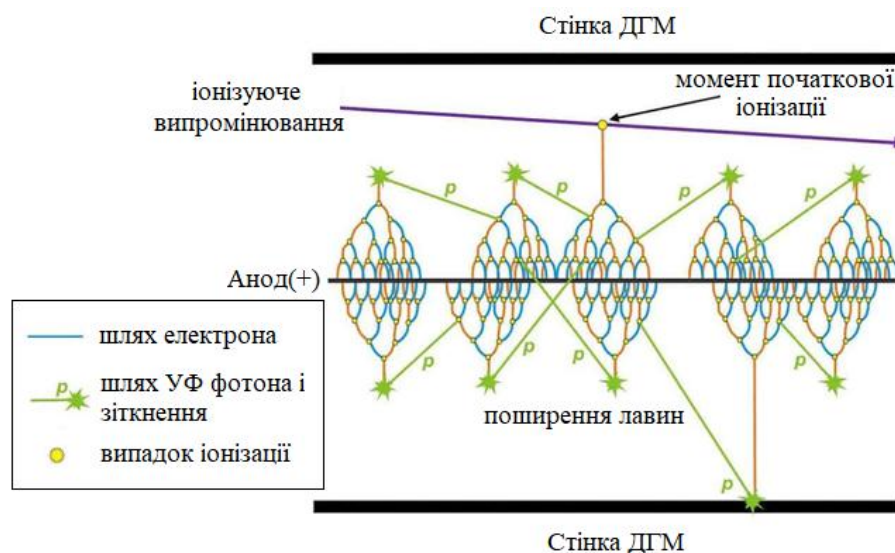


Рис. 1.7. Поширення лавин Таунсенда у ДГМ

Коли ДГМ працює на напругах ділянки Гейгера-Мюллера, імпульси завжди характеризуються однаковою формою, незалежно від природи початкової іонізації, що повністю виключає можливість використання такого пристрою у спектрометрії, або визначенні виду ІВ. Перевагами ЛГМ є простота конструкції та низька чутливість до зміни напруги між електродами. Недоліками такого пристрою є:

- Відсутня можливість розпізнавання сигналів за амплітудою або формою, оскільки сигнал завжди однаковий;
- Внаслідок масивності лавин, ДГМ необхідний великий час для відновлення після акту первинної іонізації (близько 1 мс). Це не дозволяє використовувати такий пристрій для вимірювання вкрай високих потужностей доз.

Іонізаційна камера відрізняється від ДГМ тим, що перша дає на виході струм, пропорційний до кількості електронів, що утворюються в один момент часу (без ампліфікації газу). Цей струм усереднюється за певний проміжок часу і він керує певним вимірювальним приладом, що дає результат у беккерелях (кількість імпульсів за секунду) або мЗв/год, мкР/год (еквівалентна потужність дози). ДГМ або ПЛ працюють інакше. Кожний окремих випадок іонізації, спричинений ІВ, виявляється окремо, як одиничний імпульс. Вони вимірюють, власне, кількість

подій, а не усереднене їх значення, тому пристрої зібрані на таких давачах називають лічильниками. Іонізаційну камеру також можна ввести в імпульсний режим роботи, але без ампліфікації газу амплітуда цих імпульсів буде дуже низькою і непередбачуваною. ДГМ володіють кращими параметрами і характеристиками в порівнянні зі звичайними іонізаційними камерами, тому їх застосування є більш практичним і доцільним. Зокрема, ДГМ здатні виявляти рівні випромінювання, значно нижчі ніж це доступно для іонізаційної камери [5].

1.3.1. Основні принципи роботи і конструкція давачів Гейгера-Мюллера

У ДГМ роль робочої речовини виконує інертний газ і домішками демпферного газу, що запобігає помилковим імпульсам шляхом погашення лавин Таунсенда. Демпферний газ складає 5-10% загального об'єму газу і, зазвичай, складається з галогену і органічних випарів.

У ДГМ взаємодія ІВ з робочим газом спричиняє первинну іонізацію, утворюючи пари іонів. Під дією зовнішнього електричного поля, іони з позитивним зарядом наближаються до негативного електрода (зовнішній циліндр, катод), а електрони – до позитивного електрода (центральний провід, анод). У цьому проміжку газу електричне поле втримує позитивно заряджені іони від рекомбінації з вільними електронами.

Позитивно заряджені іони, в силу своєї великої ваги, не віддаляються далеко від місця своєї первинної або ударної іонізації, чим створюють позитивно заряджену хмару, яка припиняє процес подальшого поширення лавини.

Кожному створеному імпульсу у ДГМ відповідає одна іонізуюча частинка, що проникла крізь стінки ДГМ і іонізувала у ньому робочий газ. Амплітуда цих імпульсів не пропорційна ні іонізуючій здатності випромінювання, ні його енергії. Прийнято вважати, що ДГМ не здатні до ідентифікації типів ІВ або їх енергії.

ДГМ, як було сказано, працюють при напругах ділянки Гейгера-Мюллера. У цій області є великий ризик виникнення постійного розряду після первинної

іонізації. Тому у ДГМ застосовують різні методи гасіння породженої первинним імпульсом лавини.

Молекули демпферної суміші слабше притягають вільні електрони, ніж молекули робочого газу. Тому, іонізовані атоми робочого газу легко приймають на себе електрони з зовнішніх оболонок демпферного газу. Іонізовані атоми робочого газу нейтралізуються, переходячи у спокійний стан, а іонізовані молекули демпферного газу досягають стінки трубки і замінюють собою робочий газ. Іонізовані молекули демпферного газу нейтралізуються шляхом захоплення вільного електрона і енергія, яка при цьому виділяється не може спричинити подальші випадки іонізації, але спричиняє дисоціацію молекул. Це називають самогасінням, або внутрішнім гасінням, оскільки завдяки описаним явищам ДГМ припиняє розряд без сторонньої допомоги. Можливим є також застосування зовнішнього гасіння, яке іноді називають активним. Активне гасіння використовує високошвидкісну електроніку для знімання і повторного прикладення напруги до електродів ДГМ протягом певного часу після кожного імпульсу. Активне гасіння дозволяє покращити деякі параметри ДГМ, але є дуже складним у практичній реалізації.

Будь-який процес гасіння завжди спричиняє виникнення так званого мертвого часу. Це час між останнім первинним імпульсом і повним завершенням процесу гасіння лавини. Це явище має велике значення для ДГМ, так як це основний обмежувач максимального значення потужності дози, що може виявляти в кінцевому результаті ЛГМ. Для ДГМ це значення близько 100 - 1000 мкс, а для ПЛ в десятки разів менше. У цей час ДГМ принципово не може виявляти ІВ.

За наявністю мертвого часу давачі ІВ поділяються на такі види:

З паралізацією. У такому детекторі подія, що відбувається під час мертвого часу, буде не просто пропущена, а ще й відновить протікання мертвого часу. Так при збільшенні швидкості рахунку імпульсів давач досягне точки насичення у певний момент, при якій він припинить розрізняти події взагалі.

Без паралізації. У такому детекторі подія, що відбувається під час мертвого часу, повністю втрачається, так при збільшенні швидкості рахунку ДГМ досягне швидкості рахунку насичення, що рівна оберненому мертвому часу.

Виникнення мертвого часу у ДГМ зображено на рис.1.8. [7]:

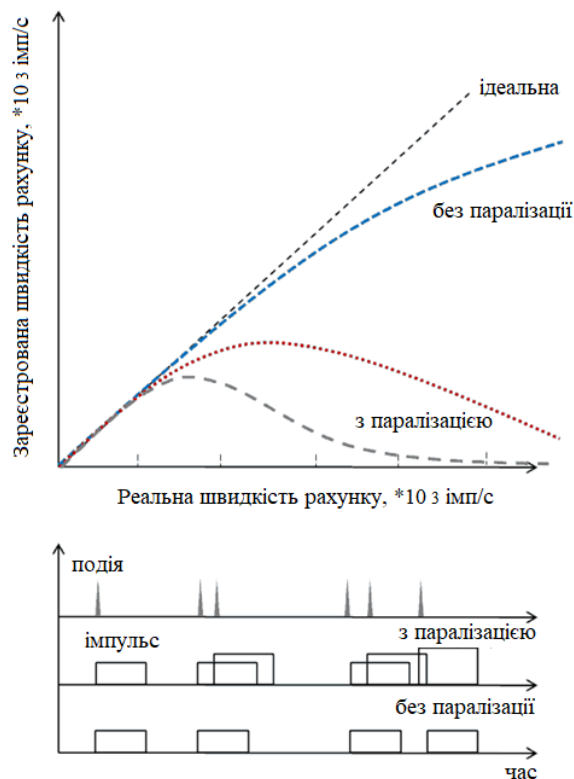


Рис. 1.8. Виникнення мертвого часу у ДГМ

Існує два основних типи конструкції ДГМ:

Торцеві. Для того, щоби ДГМ мав можливість реагувати на α - та низько енергетичне β -випромінювання, він повинен бути оснащений тонким проникним віконцем. Зазвичай таке віконце виготовляють зі слюди з густиною в межах $1,5 - 2,0$ мг/см^2 , при такій густині β -випромінювання низької енергії (наприклад, породжене радіоізотопом карбону-14) може потрапляти в ДГМ. α -випромінювання послаблюється таким віконцем, але окремі імпульси все таки можуть бути зафіксовані. При цьому джерело α -випромінювання повинно бути на відстані не

більше 10 мм від торцевого віконця, так як на більшій відстані стає відчутним вплив повітряного проміжку. Приклад зовнішнього вигляду торцевого ДГМ наведений на рис.1.9.



Рис. 1.9. Торцевий ДГМ «Бета-2-1»

Багатоелектродні. Це ДГМ зазвичай у торцевому виконанні, з великою кількістю комірок. Кожна комірка має свій анод, а катод зазвичай виконується загальним. Комірки зверху накриваються тонкостінною слюдяною пластинною низької густини. Таким чином, ці давачі володіють високою чутливістю і низьким мертвим часом у порівнянні з одиничними. Такі ДГМ отримали найбільш широке застосування у радіометрії, де необхідно вимірювати дуже низькі, близькі до фонових значень активності. Приклад багатоелектродного ДГМ наведений на рис.1.10.



Рис. 1.10. Багатоелектродний ДГМ «СБТ-11А»

Циліндричні. Такий тип ДГМ отримав найбільш широке застосування у дозиметричній практиці. Зазвичай вони застосовуються для виявлення γ -променів і β -частинок високої енергії. Тонкостінні циліндричні ДГМ з високими робочими напругами застосовуються для виявлення рентгенівського випромінювання. Якщо пристрій застосовують для виявлення γ -променів енергій порядку 25 КеВ – ДГМ виконують з товстостінного металевого циліндра близько 1-2 мм в товщині з легованої сталі [7].

1.3.2. Виявлення нейтронів за допомогою давача Гейгера-Мюллера

Оскільки нейтрони не володіють електричним зарядом, на них більше впливають ядерні сили, а не електричне чи магнітне поле. Тому самі нейтрони не є безпосередньо іонізуючими частинками. Для їх виявлення іонізаційними методами необхідно виконувати перетворення. ДГМ здатні виявляти нейтронне випромінювання, якщо виконані деякі технічні рішення. Внутрішню частину трубки вкривають трифторидом бору (BF_3), або застосовується ізотоп Гелій-3 як робочий газ. Нейтрони, які потрапляють у такий тип ДГМ, реагують з трифторидом бору і утворюються α -частинки, які спричиняють іонізацію робочого газу [6].

1.3.3. Пропорційні лічильники

Принцип роботи ПЛ також базується на явищі ампліфікації газу. Коли іонізуюча частинка проходить через робочий газ, на її шляху утворюються іонні пари, число яких залежить від енергії, якою володіє частинка. На відміну від ДГМ, лавина, що виникає у ПЛ, відбувається без емісії УФ випромінювання, тому підсилення значно менше. Імпульс, що виник у ПЛ дає можливість встановити факт проходження іонізуючої частинки, а амплітуда імпульсу дозволяє встановити енергію частинки.

У ПЛ лавинний процес завершується тоді, коли новостворений електрон нейтралізується анодом. Існує певне порогове значення напруги, при якому

лавинний процес стає можливим, і зумовлено це тим, що електрон повинен досягнути значення енергії іонізації газу. Для газів, що зазвичай використовуються у ПЛ значення напруженості поля, необхідне для виникнення лавинних процесів, складає порядку 10^6 В/м. Коефіцієнт ампліфікації газу у ПЛ, що розраховується як відношення числа електронів, що накопичились на аноді, до числа електронів породжених первинною іонізацією, становить декілька десятків. Це значно менше, ніж у ДГМ. За розділовою здатністю ПЛ демонструє себе краще ніж сцинтиляційні, але гірше ніж напівпровідникові давачі. Але ПЛ може працювати на ділянках енергій, значно нижчих ніж це допустимо згаданих давачів. Особливу цінність ПЛ представляють саме тим, що вони здатні працювати в ділянках дуже низьких енергій, зокрема, детектувати теплові нейтрони при виконанні умов, що описані в пункті 1.4.2. для ДГМ [8, 9].

В кінці 60-х років був розроблений особливий іонізаційний пристрій, який сьогодні відомий як багатодротова пропорційна камера (БПК), або камера Шарпака. Ця камера представляє собою ряд тонких дротів, розміщених паралельно в одній площині (аноде). Ці дроти також знаходяться між двома плоскими пластинами у газовому просторі. У сукупності ця конструкція є еквівалентом багатьох ПЛ, що працюють паралельно (рис.1.11).

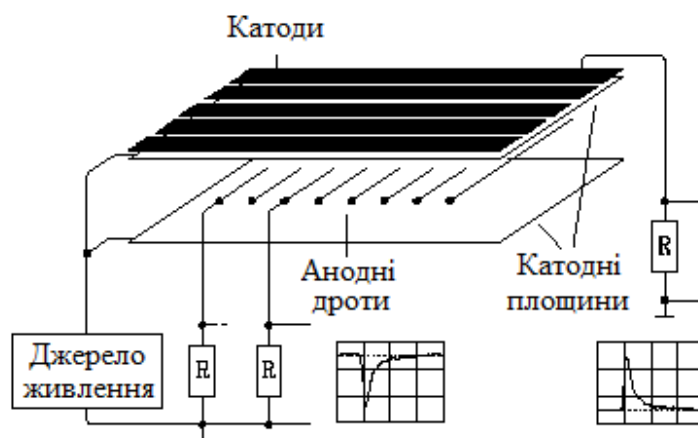


Рис. 1.11. Схематичне представлення БПК

Зазвичай відстань між дротами складає близько 1-2 мм, а відстані між катодною і анодною площиною – 8-10 мм. Різниця потенціалів між електродами складає декілька кіловольт. Такі параметри камери забезпечують ампліфікацію порядку $10^4 - 10^5$ разів і визначення ступеню іонізації, спричинену іонізуючою частинкою. Тому такий пристрій дозволяє не лише оцінити енергію ІВ, але і його напрямок.

Проходження ІВ через БПК іонізує робочий газ, утворюючи вздовж своєї траєкторії вільні електрони і іони. Електрони розпочинають лавинний процес. Створені лавини падають на найближчу анодну нитку БПК. При реєстрації сигналу з кожного анодного дроту можна точно оцінити місцезнаходження частинки і навіть її трек. Щоби отримати тривимірні координати у великих об'ємах, застосовують об'єднані системи з кількох десятків БПК з площею до 10 м^2 [10].

1.4. Висновки до розділу 1

У розділі наведені основні принципи дозиметрії і радіометрії, визначено головні методи реєстрації ІВ. Окремо і поглиблено описаний іонізаційний метод реєстрації ІВ, фізичні принципи роботи різноманітних іонізаційних давачів, таких як іонізаційна камера, ДГМ, ПЛ, БПК.

Конструкція і хімічний склад робочого газу ДГМ і ПЛ, що масово представлені на ринку, практично не відрізняються. Суттєві відмінності у хімічному складі робочого газу є між іонізаційними давачами, які працюють на виявлення різних видів випромінювання.

Отже, для проведення досліджень можна використовувати моделі ДГМ широкого вжитку, але застосовувати їх з напругою нижче за номінальну, таким чином ввівши ДГМ у пропорційний чи обмежений пропорційний режим. Так вірогідно можливим буде реалізувати розпізнавання імпульсів ДГМ, спричинених β - або γ - випромінюванням.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Оцінка іонізуючого випромінювання як випадкового процесу

ІВ зазвичай випромінюється в ході ядерних процесів. Ядерні процеси, такі як спонтанне ділення, α –, або β – розпад, ланцюгова реакція, є випадковими. В цей же час, внаслідок того, що усі квантові процеси володіють статистичним характером, усі ці процеси підлягають статистичній оцінці. Кожен випромінюючий радіонуклід відрізняється певною активністю і періодом піврозпаду. Реєструючи один випадок ядерного процесу, не можна нічого оцінити. Необхідним є складання статистики за певний проміжок часу, при якому можна оцінити параметри і характеристики радіонукліду з відповідною статистичною точністю. Розглянемо ядерні процеси з точки зору статистичного аналізу на прикладі закону радіоактивного розпаду [11].

Нехай у певному радіоактивному зразку у момент часу t знаходиться N ядер, що здатні розпадатись. Тоді кількість ядер, що розпались за певний проміжок часу визначають як:

$$dN = \lambda N dt, \quad (2.1)$$

де dN – кількість ядер, що розпалась за проміжок часу dt ;

λ – ймовірність ядерного розпаду.

Інтегруючи вираз 2.1, отримуємо експоненціальний вираз:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.2)$$

де N_0 – початкова кількість ядер.

Вираз (2.2) є законом радіоактивного розпаду, і застосовуючи його можна розрахувати такий параметр, як період піврозпаду. Цей параметр є зручним для опису тривалості існування радіонуклідів, тому зазвичай використовується у всій довідковій літературі.

$$T_{1/2} = \ln\left(\frac{2}{\lambda}\right) \approx \frac{0,693}{\lambda} \approx 0,693\tau, \quad (2.3)$$

де $T_{1/2}$ - період піврозпаду радіонукліду (с);

$\tau = \frac{1}{\lambda}$ - середня тривалість існування радіонукліду (с).

При проведенні вимірювання періоду піврозпаду з необхідною точністю, необхідно знати, як проявляються статистичні похибки відносно закону радіоактивного розпаду (2.2). Відповідно до (2.2), ймовірність для певного ядра не розпадатись за проміжок часу t , визначається виразом:

$$p_0(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.4)$$

де $p_0(t)$ – ймовірність для певного ядра не розпадатись за проміжок часу t .

Відповідно, ймовірність розпаду того самого ядра становитиме:

$$p_1(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2.5)$$

Якщо розглянути приклад з розпадом двох ядер, що мають однакову ймовірність розпаду, але це відбувається цілком незалежно, то можна оцінити ймовірність спостерігати за певний проміжок часу один, або два розпади:

$$p_0(t) = e^{-\lambda t} \times e^{-\lambda t} = e^{-2\lambda t}, \quad (2.6)$$

$$p_1(t) = 2e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}), \quad (2.7)$$

$$p_2(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2, \quad (2.8)$$

Якщо оцінювати такі ж ймовірності для розпаду ансамблю ядер у кількості N , то отримаємо:

$$p_0(t) = e^{-N\lambda t}, \quad (2.9)$$

$$p_1(t) = Ne^{-(N-1)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}), \dots \quad (2.10)$$

$$p_n(t) = \frac{N!}{n!(N-n)!} e^{-(N-n)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^n. \quad (2.11)$$

За практичних вимірювань високою точністю відзначаються розрахунки з нерівностями $N \gg n$ (кількість ядер, що здатні розпадатись значно більша за кількість частинок ІВ, що реєструюся), а також $N \gg \lambda t$ (кількість ядер, що здатні розпадатись значно більша за час спостереження). Перша з цих нерівностей дозволяє отримати такий вираз:

$$p_n(t) = \frac{N^n}{n!} e^{-N\lambda t} (e^{-\lambda t} - 1)^n = \frac{N^n}{n!} e^{-N\lambda t} (\lambda t)^n. \quad (2.12)$$

З цього отримуємо:

$$p_n(t) = \frac{(N\lambda t)^n}{n!} e^{-N\lambda t}. \quad (2.13)$$

Вираз (2.13) в теорії ймовірностей називають розподілом Пуассона. Якщо доданок $N\lambda t \gg 1$, то цей розподіл наближається до нормального, або розподілу Гауса:

$$p_n(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N\lambda t}} e^{-\frac{(n-N\lambda t)^2}{2N\lambda t}}. \quad (2.14)$$

Ці розподіли характеризуються відповідним максимумом на найбільш ймовірному значенні часу, при якому частинка розпадеться. Це значення називають також *математичним сподіванням*. Розподіл Пуассона несиметричний і ним рекомендовано користуватись у випадку, якщо число ділень ядер n невелике. Розподіл Гауса можна користуватись при великих значеннях n , так як у такому випадку його значення будуть близькими до розподілу Пуассона. Приклад розподілу Пуассона наведений на рис.2.1.

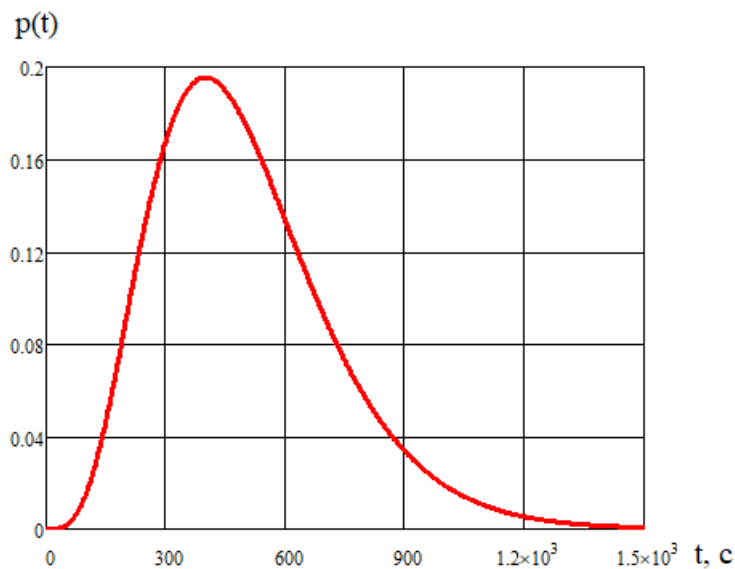


Рис. 2.1. Графік розподілу ймовірностей за законом Пуассона

Сума ймовірностей, що утворюються при двох вказаних різновидах розподілу, рівна одиниці:

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(N\lambda t)^n}{n!} e^{-N\lambda t} = 1, \quad (2.15)$$

$$\int_0^{\infty} p_n dn = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi N\lambda t}} e^{-\frac{(n-N\lambda t)^2}{2N\lambda t}} dn = 1. \quad (2.16)$$

Знаючи функцію розподілу ймовірності розпаду ядер, можна визначити яка кількість ядер в середньому буде розпадатись за одиницю часу, таким чином активність радіоізоотопу визначається:

$$\overline{A(t)} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n p_n, \quad (2.17)$$

де $\overline{A(t)}$ - середня активність радіоізоотопу;

A_n - часткова активність для n-го спостереження.

Отже, ядерні процеси є випадковими, але підлягають статистичній оцінці за допомогою закону розподілу Пуассона, або Гауса, залежно від параметрів досліду. Оскільки ці процеси супроводжуються емісією ІВ, воно описується тими ж законами, що і самі ядерні процеси.

2.2. Характеристика сигналу на виході радіометричної установки

На виході радіометричної установки утворюється сигнал в вигляді короткочасних падінь напруги при впливі на нього ІВ, до якого давач чутливий. Падіння напруги спричиняються лавинами Таунсенда, при яких за короткий час на сотні порядків зростає струм, що протікає через ДГМ (див. розділ 1).

Оскільки при впливі одного роду і енергії ІВ на ДГМ, або навіть ПЛ, на його виході будуть близькі за формою імпульси, а сам процес виникнення ІВ є

випадковим, але володіє постійною дисперсією і математичним сподіванням, можна висунути припущення, що цей сигнал є випадковим стаціонарним.

На рис.2.2 наведено реєстрограму сигналу на виході ДГМ, введеного у обмежений пропорційний режим (див. розділ 4).

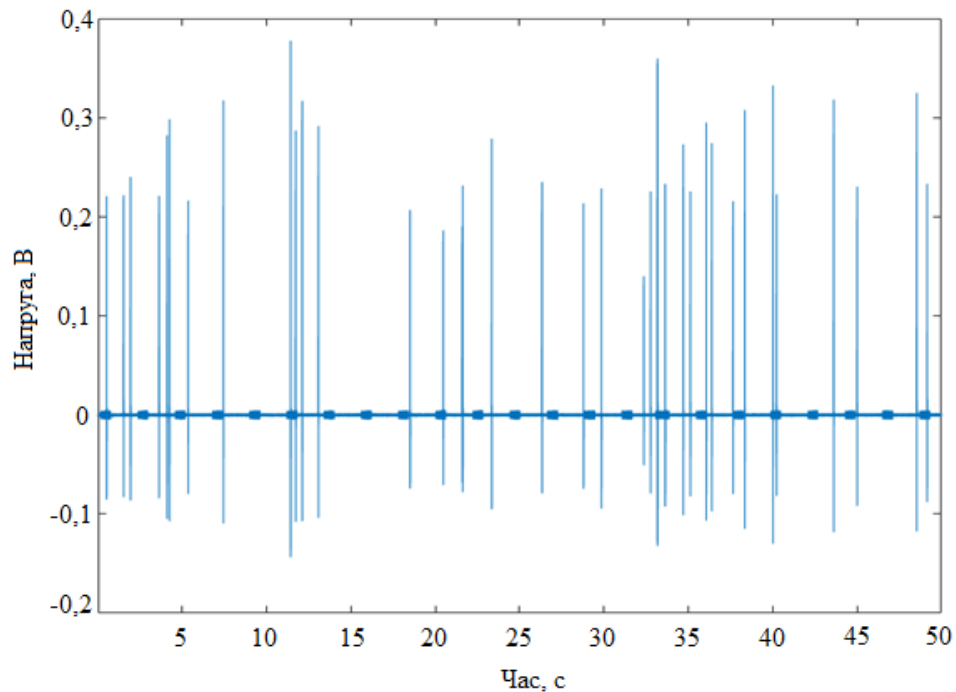


Рис. 2.2. Реєстрограма сигналу на виході ДГМ

Як можна бачити з рис.2.2, проміжки між імпульсами неоднорідні, як і самі імпульси по амплітуді. Для проведення подальших досліджень необхідно класифікувати різновид випадкового процесу.

Стаціонарний випадковий процес характеризується стійкістю у часі і просторі. Деякий випадковий процес $\xi(t)$ називають *стаціонарним у вузькому сенсі*, якщо усі скінченні функції розподілу будь-якого порядку не змінюються при часовому зсуві. Тобто при будь-яких n і t_0 буде справедливим наступне рівняння:

$$F(x_1, t_1; \dots, x_n, t_n) = F(x_1, t_1 - t_0; \dots, x_n, t_n - t_0), \quad (2.18)$$

де x_n, t_n – відповідні значення величини і часу її виникнення;
 t_0 – довільний зсув у часі.

Тобто, ймовірнісні характеристики такого процесу $\xi(t)$ не змінюються при зміні початку відліку часу. Відповідно, густина ймовірностей також повинна відповідати такому виразу:

$$w(x_1, t_1; \dots, x_n, t_n) = w(x_1, t_1 - t_0; \dots, x_n, t_n - t_0). \quad (2.19)$$

Також для миттєвих, характеристичних та кореляційних функцій. З виразу (2.19) також слідує:

$$w(x_1, t_1) = w(x_1, t_1 - t_1) = w(x_1), \text{ якщо } t_0 = t_1, \quad (2.20)$$

$$w(x_1, t_1; x_2, t_2) = w(x_1, t_1 - t_1; x_2, t_2 - t_1) = w(x_1, x_2, \tau), \quad (2.21)$$

де $\tau = t_2 - t_1$ – відносний зсув часу.

Вираз (2.20) демонструє, що одновимірна густина ймовірності такого процесу не має залежності від часу по своїй суті. Двовимірна густина ймовірності (2.21) для стаціонарного процесу у виразі має залежність лише від відносного зсуву часу τ між відрізками, для яких обрані ординати випадкових функцій.

З описаного можна зробити висновок, що в межах теорії ймовірностей стаціонарний випадковий процес не характеризується певним моментом початку і завершення. Тобто для визначення стаціонарності випадкового процесу, необхідний збір інформації протягом достатньо тривалого часу, щоби моменти випадкового процесу в цей конкретний проміжок часу не спричиняли неправильність суджень і оцінок.

Математичне сподівання стаціонарного випадкового процесу також не залежить від часу:

$$m_{\xi} = M\{\xi(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} xw(x)dx. \quad (2.22)$$

Функції кореляції та коваріації для кількох стаціонарних випадкових процесів також залежать лише від зсуву часу між ними:

$$K_{\xi}(t_1, t_2) = M\{\xi(t_1)\xi(t_2)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 w(x_1, x_2, \tau) dx_1 dx_2 = K_{\xi}(\tau), \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} R_{\xi}(t_1, t_2) &= M\{[\xi(t_1) - m_{\xi}][\xi(t_2) - m_{\xi}]\} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x_1 - m_{\xi})(x_2 - m_{\xi})w(x_1, x_2, \tau) dx_1 dx_2. \end{aligned} \quad (2.24)$$

З (2.23) та (2.24) слідує:

$$R_{\xi}(\tau) = K_{\xi}(\tau) - m_{\xi}^2. \quad (2.25)$$

Дисперсія стаціонарного випадкового процесу незмінна, теоретично вона рівна значенню кореляційної функції при нульовому значенні аргументу:

$$\begin{aligned} D_{\xi} = \sigma_{\xi}^2 &= M\{[\xi(t_1) - m_{\xi}]^2\} = R_{\xi}(0) = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_{\xi})^2 w(x) dx = M\{\xi^2(t)\} - m_{\xi}^2. \end{aligned} \quad (2.26)$$

У підрозділі 2.1 було обґрунтовано, що ІВ зазвичай породжується ядерними процесами, які відрізняються постійною дисперсією і математичним сподіванням. Отже сигнал на виході ДГМ може бути оцінений як стаціонарний випадковий.

Експериментальним шляхом були проведені заміри кількості імпульсів за рівні проміжки часу (10 с). На ДГМ впливало космічне γ -випромінювання. Загальний час спостереження склав близько 2000 с (200 замірів).

На рис.2.3 наведена часова діаграма зміни кількості зареєстрованих імпульсів за кожні 10 с дослідів.

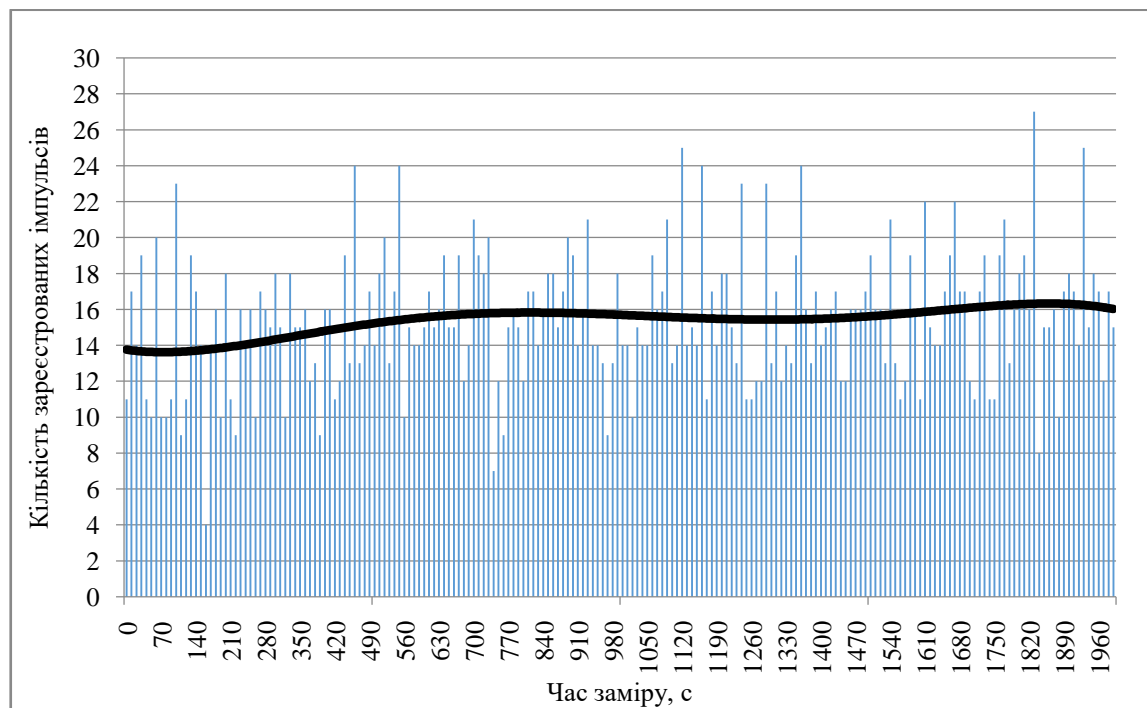


Рис. 2.3. Часова діаграма зміни кількості зареєстрованих космічних імпульсів іонізуючого випромінювання

На рисунку 2.3 можна бачити, що кількість імпульсів у різні моменти часу неоднакова. Але при цьому, якщо здійснити апроксимацію по усьому часу спостереження, можна побачити високу лінійність цього процесу. Апроксимація здійснюється поліноміальним методом за степенем 5. Достовірність апроксимації $R^2 = 0,042$. Певні зміни у цій характеристиці можуть бути спричинені як добовим обертанням Землі (так як випромінювання має космічну природу і в основному спричиняється сонцем), так і змінами у самій установці (мережева напруга, робоча температура ДГМ, тощо). Так, по часовій зміні кількості імпульсів очевидно, що

космічне ІВ є стаціонарним випадковим процесом, так як його середнє значення не залежить від часу у межах досліду [11].

Згідно з цими ж експериментальними даними була складена гістограма частоти появи певної кількості імпульсів за кожні 10 с досліду (рис.2.4).

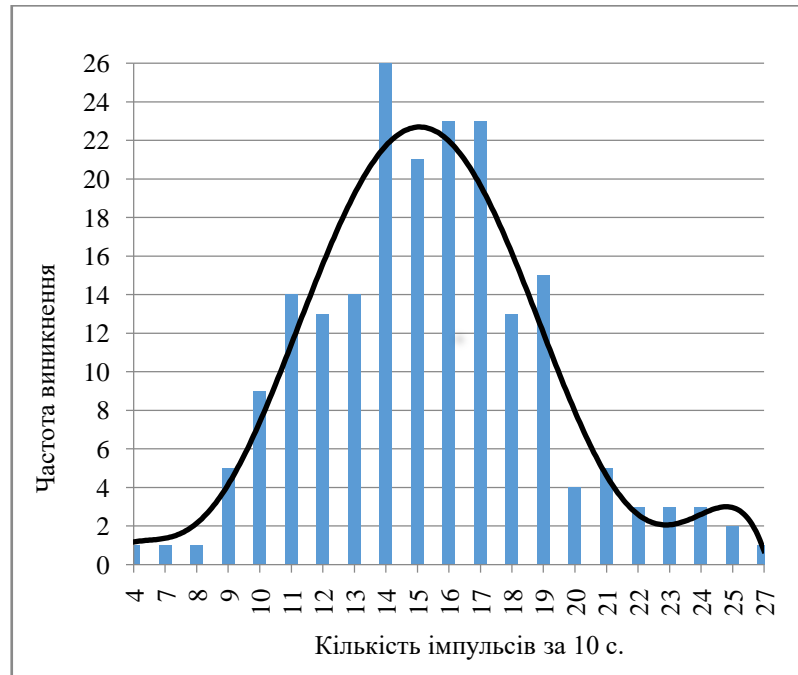


Рис. 2.4. Гістограма частоти виникнення кількостей імпульсів за кожні 10 с досліду

З рис.2.4 видно, що космічне γ -випромінювання по частоті виникнення розподіляється за певним законом, що близький до розподілу Пуассона (див. рис.2.1). У цьому випадку застосована апроксимація поліноміальним методом за степенем 6. Достовірність апроксимації $R^2 = 0,918$.

Визначено, що сигнал на виході ДГМ є стаціонарним випадковим процесом. Необхідним є визначити, чи цей процес є також *ергодичним*.

Характеристики випадкових процесів задаються зазвичай через відповідні середньостатистичні значення «*поперек процесу*». На практиці це виражається через добування середніх значень серед великої кількості реалізацій процесу в

ансамблі відповідних систем. Але для більшості стаціонарних випадкових процесів ці характеристики можна отримати шляхом усереднення відповідних величин «вздовж процесу», тобто за однією реалізацією достатньо великої тривалості. Якщо розбити одну довгу реалізацію процесу на частини приблизно однієї довжини і кожен з них можна розглядати як повноцінну і інформативну вибірку, то його можна назвати ергодичним. Фізично це може бути описано як процес, який протікає достатньо рівномірно у часі. Ергодичність є важливою властивістю процесу, так як дозволяє оцінювати співвідношення між функцією розподілу і часом перебування випадкового процесу у певному інтервалі значень часу [12].

Прийmemo до розгляду деякий процес $\xi(t)$. Для цього процесу уже є визначені двовимірна і одновимірна густина ймовірності. $f[\xi(t)]$ – визначена у часі функція від $\xi(t)$. Середнє по часу від цієї функції:

$$\langle f[\xi(t)] \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T f[\xi(t)] dt, \quad (2.27)$$

де $\langle f[\xi(t)] \rangle$ - випадкова величина, що відрізняється при зміні реалізацій.

Якщо випадковий процес приймає однакові значення при усередненні за ансамблем і за часом – його можна назвати ергодичним.

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T R_f(t, t') dt dt' = 0, \quad (2.28)$$

$$R_f(t, t') = \int_0^T \int_0^T f(x) f(x') [w(x, t; x', t') - w(x, t) w(x', t')] dx dx', \quad (2.29)$$

де $R_f(t, t')$ - коваріаційна функція процесу $f[\xi(t)]$.

Тобто при виконанні умови (2.28), при збільшенні часу спостереження до нескінченності, дисперсія процесу також буде наближатись до нуля. При чому згідно з рівнянням Чебишева, необхідною і достатньою умовою для узгодження за ймовірністю буде:

$$\frac{1}{T} \int_0^T f[\xi(t)] dt \xrightarrow{T \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) p_T(x) dx, \quad (2.30)$$

$$p_T(x) = \frac{1}{T} \int_0^T w(x, t) dt, \quad (2.31)$$

де $p_T(x)$ - ефективна густина ймовірності.

Достатньою умовою ергодичності процесу також є:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} R_f(\tau) = 0. \quad (2.32)$$

Суттєвим висновком з виразу (2.32) є те, що для такого процесу закон розподілу відповідає одновимірній функції розподілу. Це впливає з того, що одновимірна функція розподілу не залежить від t .

Для отримання всієї повноти інформації про сигнал ДГМ, необхідним є також оцінка його автокореляційної функції. Це деяка функція, що виражається через середнє значення певної величини $x(t)x(t+\tau)$, що дозволяє оцінювати залежність між значеннями функції при різних зсувах часу τ .

$$R_x(\tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x(n)x(n+\tau), -\infty < \tau < \infty, \quad (2.33)$$

де $R_x(\tau)$ - автокореляційна функція.

Відповідно оцінка автокореляційної функції:

$$\hat{R}_x(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)x(n+\tau), -(N-1) \prec \tau \prec (N-1). \quad (2.34)$$

Графік, отриманий за допомогою цієї функції називають *корелограмою*.

Відповідно, корелограма сигналу ДГМ, отриманого в ході експериментального дослідження (див. рис.2.2) має наступний вигляд (рис.2.5) [13,14]:

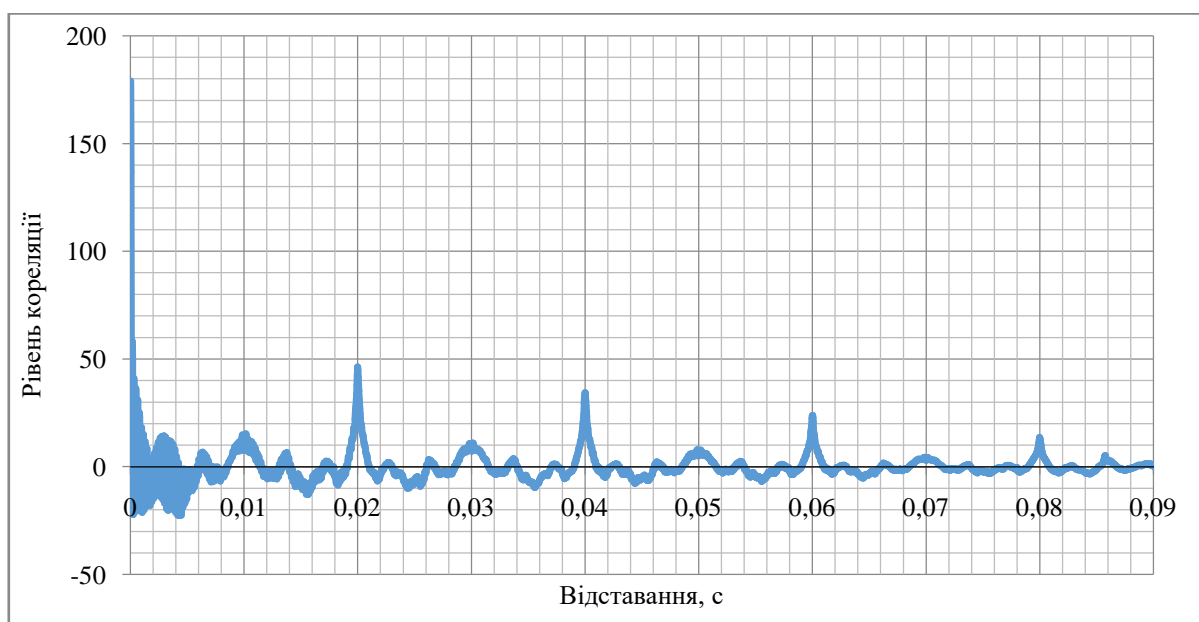


Рис. 2.5. Корелограма сигналу давача Гейгера-Мюллера

З рис.2.5 видно, що автокореляційна функція є періодичною зі складною формою. Високі піки на певних проміжках відставання (їх ще називають *лагами*) вказують на високий ступінь зв'язку між окремими випадками сплесків рівня сигналу. З чого можна зробити висновки, що сигнал на виході ДГМ є стаціонарним і ергодичним [15, 16].

2.3. Висновки до розділу 2

У розділі було проведено оцінку ІВ як випадкового процесу. Проведено аналіз сигналу на виході ДГМ. Визначено, що цей сигнал є стаціонарним і ергодичним, оскільки сам процес емісії ІВ характеризується такими параметрами. Корелограма (автокореляційна функція) є періодичною, а ймовірнісний розподіл відповідає закону Пуассона.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Оцінка впливів на давач Гейгера-Мюллера

На ДГМ при будь-яких умовах досліду впливатимуть два основні різновиди випромінювання: космічного походження і породжені активним зразком. ІВ космічного походження володіє постійними і передбачуваними ймовірнісними характеристиками, як було розглянуто у попередньому розділі. Оскільки активність будь-якого зразка породжена ядерними процесами – його ймовірнісні характеристики також будуть передбачуваними. Космічне випромінювання практично повністю представлене високоенергетичним γ -випромінюванням. З чого слідує, що за відсутності впливу активного зразка, усі імпульси можна розцінювати як такі, що породжені γ -випромінюванням.

Загальна схема, що демонструє впливи ІВ на ДГМ, наведена на рис.3.1.

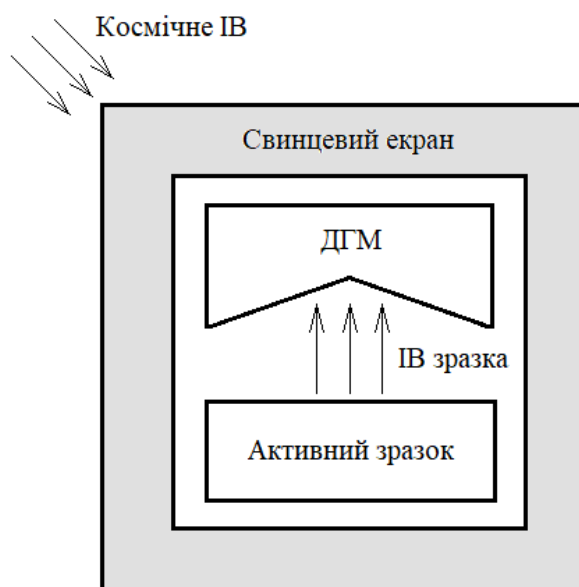


Рис. 3.1. Схематичне представлення впливів ІВ на ДГМ

Активний зразок також випромінює ІВ, вид і енергія якого залежить від радіоізотопів, що присутні у зразку. Отже, склад і характеристики двох випромінювань (космічного і породженого зразком) є наперед відомими, або можуть бути легко визначені за допомогою дослідження за певний часовий проміжок. Оскільки цей процес є також ергодичним, то можна припустити:

$$n_z = n_{z+k} - n_k, \quad (3.1)$$

$$n_{z+k} = \frac{N_{z+k}}{t_{z+k}}, \quad (3.2)$$

$$n_k = \frac{N_k}{t_k}, \quad (3.3)$$

де n_z - швидкість рахунку імпульсів, породжених ІВ зразка, імп./с;

n_{z+k} - сумарна швидкість рахунку імпульсів (космічне випромінювання та імпульси, породжені ІВ зразка), імп./с;

N_{z+k} - кількість сумарних імпульсів за час t_{z+k} ;

N_k - кількість космічних імпульсів за час t_k .

Таким чином, першим етапом дослідження буде визначення співвідношення між кількістю імпульсів, породжених зразком і космічних імпульсів для забезпечення можливості відбору імпульсів, породжених певним видом випромінювання [17].

3.2. Експериментальна установка та режим роботи давача Гейгера-Мюллера

Експериментальна установка представляє собою класичну радіометричну установку. ДГМ, в ролі якого виступає трубка моделі СБМ-20, знаходиться в товстостінному свинцевому екрані, який в декілька разів знижує вплив на неї

γ -випромінювання з навколишнього середовища. Всередині екрану знаходиться спеціальна пластикова кювета, яка призначена для утримування та завантаження досліджуваного зразка. На рис.3.2 наведена структурна схема експериментальної установки.

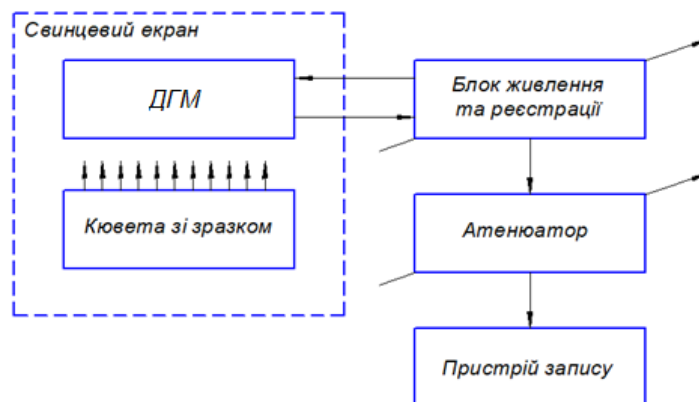


Рис. 3.2. Структурна схема експериментальної установки

Блок живлення та реєстрації встановлює режим роботи трубки та знімає з неї сигнал. Даний блок виконано так, щоби режим роботи ДГМ можна було змінювати.

Атенюатор – схема, яка дозволяє з'єднати блок живлення та реєстрації з пристроєм запису. Останній є вкрай чутливим до перевищення рівня напруги та струму на його вході, тому атенюатор є важливою складовою системи, він регулюється для можливості використання різних пристроїв запису [17, 22].

Схема електрична принципова атенюатора наведена на рис.3.3.

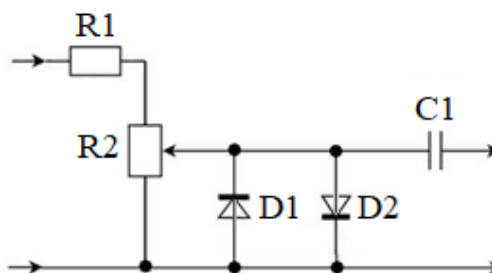


Рис. 3.3. Схема електрична принципова атенюатора

В ролі пристрою запису використовується будь-який пристрій, що здатний з достатньою розділовою здатністю формувати і запам'ятовувати осцилограми вихідного сигналу пристрою.

В експериментальній установці використовується ДГМ моделі СБМ-20. Креслення цього давача наведено на рис.3.4.

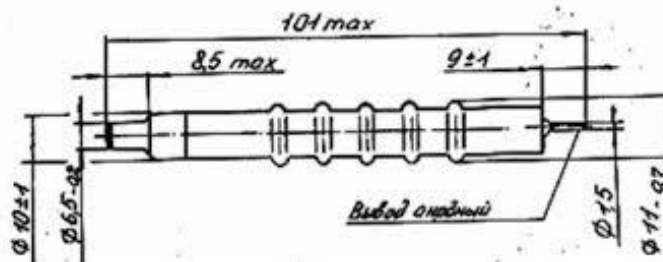


Рис. 3.4. Габаритне креслення давача СБМ-20

Параметри цього ДГМ:

Номінальна робоча напруга, В	400;
Протяжність плато лічильної характеристики, В	не менше 100;
Нахил плато лічильної характеристики, %/В	0,1;
Власний фон, імп/с	1;
Амплітуда імпульсу, В	не менше 50;
Найбільший допустимий струм, мкА	20

Як було вже розглянуто у попередніх розділах, для реалізації розпізнавання не можна використовувати напруги живлення ДГМ, що відповідають ділянці Гейгера-Мюллера, оскільки імпульси не будуть відрізнятися по формі, незалежно від того, який вид чи енергія ІВ на нього впливає. Тому, першим кроком для досягнення мети розпізнавання видів іонізуючого випромінювання має бути навмисне заниження напруги живлення давача Гейгера-Мюллера. Таким чином, є можливість ввести ДГМ в обмежений пропорційний режим, що підвищить інформативність імпульсів, спричинених ІВ [18, 19, 20].

Лічильна характеристика ДГМ СБМ-20 наведена на рис.3.5.

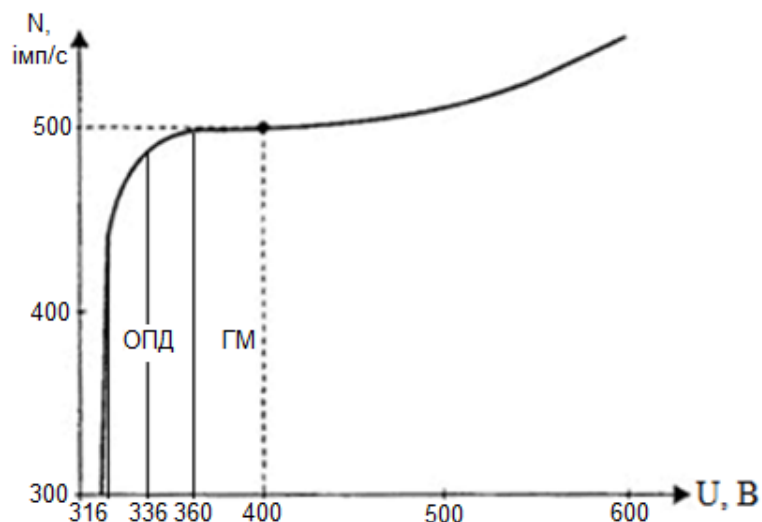


Рис. 3.5. Лічильна характеристика ДГМ СБМ-20

На рис.3.5 видно, що ДГМ моделі СБМ-20 починає реєструвати ІВ з робочої напруги близько 320 В. Обирається робоча напруга 336 В. Таким чином можливе використання усієї обмеженої пропорційної ділянки (ОПД на рис.3.5) і знижується ризик раптових непрацездатностей ДГМ внаслідок зниження напруги при спрацюванні.

Зниження напруги, прикладеної до електродів ДГМ, теоретично може призвести до роботи ДГМ у пропорційному, або обмеженому пропорційному режимі, хоч його конструкція і хімічний склад для таких режимів не призначені.

Отже, необхідно виконати перевірку обмеженої пропорційності виходу ДГМ, щоби переконатись, що хоча-б один параметр сигналу (амплітуда), змінюється при впливі різних видів ІВ. Для цього ведеться запис усіх амплітуд імпульсів на виході ДГМ експериментальної установки за допомогою програмного забезпечення «Atom Spectra» [21] і формується гістограма частоти виникнення певної амплітуди імпульсу. В загальному такий метод називають γ , β або α – спектрометрією, при якій є можливим визначення радіоізотопного складу досліджуваного зразка. Така

гістограма для космічного γ -випромінювання, побудована на основі даних спостереження протягом 2-х годин, наведено на рис.3.6.

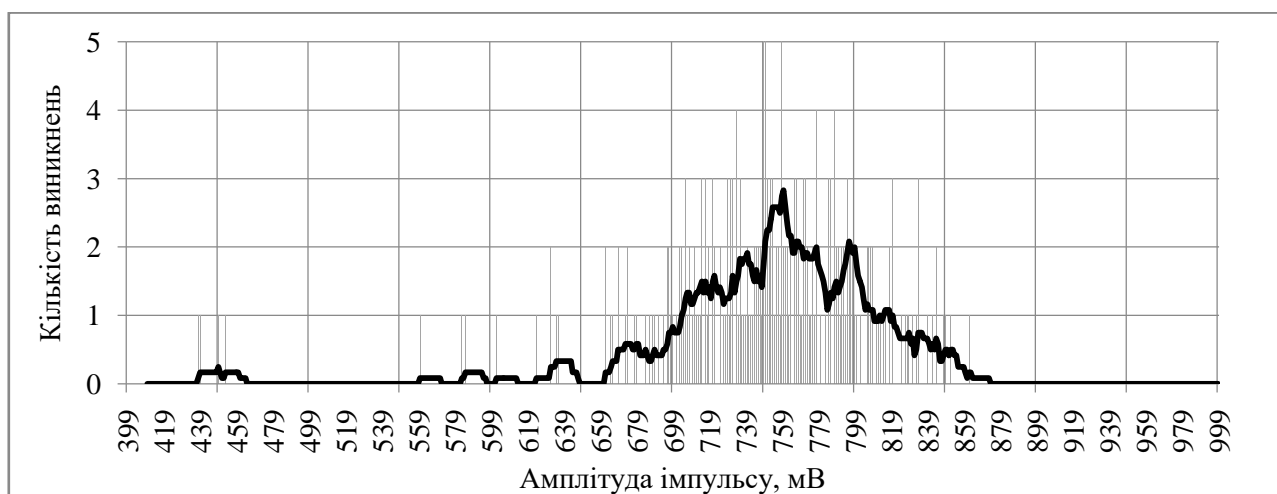


Рис. 3.6. Гістограма частоти виникнення певних амплітуд імпульсів на виході ДГМ при впливі лише космічного γ -випромінювання

На рис.3.6 видно, що імпульси космічного γ -випромінювання в основному сконцентровані на ділянці від 659 до 879 мВ. Після цього, у експериментальну установку завантажується зразок з відомим активним радіоізотопом $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$, що є β -випромінювачем з двома основними енергетичними смугами (рис.3.7).



Рис. 3.7. Гістограма частоти виникнення певних амплітуд імпульсів на виході ДГМ при впливі зразка з радіонуклідом $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$

На рис. 3.7 чітко видні два піки на 603 мВ і 769 мВ. Зразок випромінює чисте β -випромінювання з наперед відомими енергіями. ^{90}Sr зазнає β -розпаду і випромінює електрон з енергією 0,5459 МеВ [23]. Ядро ^{90}Sr перетворюється у ^{90}Y , який також є β -активним і випромінює електрон з енергією 2,28 МеВ [24]. Загалом зразок $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ випромінює практично однаковий потік цих двох енергій електронів. На рис.3.7 можна бачити, що частота виникнень двох серій імпульсів суттєво відрізняється. Це пояснюється тим, що обраний ДГМ чутливий до жорсткого β -випромінювання. Тому лінія 2,28 МеВ в 19 разів більша від низько енергетичної 0,5459 МеВ. Виходячи з наведених вище суджень, можна зробити висновок, що [23]:

$$C = \frac{E_{Y-90}}{U_{Y-90}} = \frac{2280}{769} = 2,965, \quad (3.4)$$

де C - ціна поділки (кеВ/мВ);

E_{Y-90} - енергія випромінювання ізотопу ^{90}Y - 2280 кеВ;

U_{Y-90} - амплітуда імпульсу, що відповідає значенню енергії ізотопу ^{90}Y (мВ).

Відповідно, якби ДГМ був введений в повністю пропорційний режим, ми мали би можливість розрахувати значення амплітуди імпульсів для другої енергії випромінювання зразка:

$$U_{Sr-90} = \frac{E_{Sr-90}}{C} = \frac{545,9}{2,965} = 184,11 \text{ мВ}. \quad (3.5)$$

Але на рис.3.7 цей пік не відповідає вказаному значенню – 603 мВ. Це є прямою ознакою того, що ДГМ знаходиться в нелінійному, або у обмеженому пропорційному режимі роботи. В цьому режимі існують початкові можливості для γ - , або β -спектрометрії, але не слід розцінювати це як повноцінну можливість

розрізняти ізотопи за енергіями їх випромінювання, так як крутизна детектувальної характеристики надто висока для забезпечення достатньої точності вимірювань.

Розмістивши два отримані значення детектувальної характеристики на координатній площині, можна спрогнозувати, якою буде ця характеристика (рис.3.8).

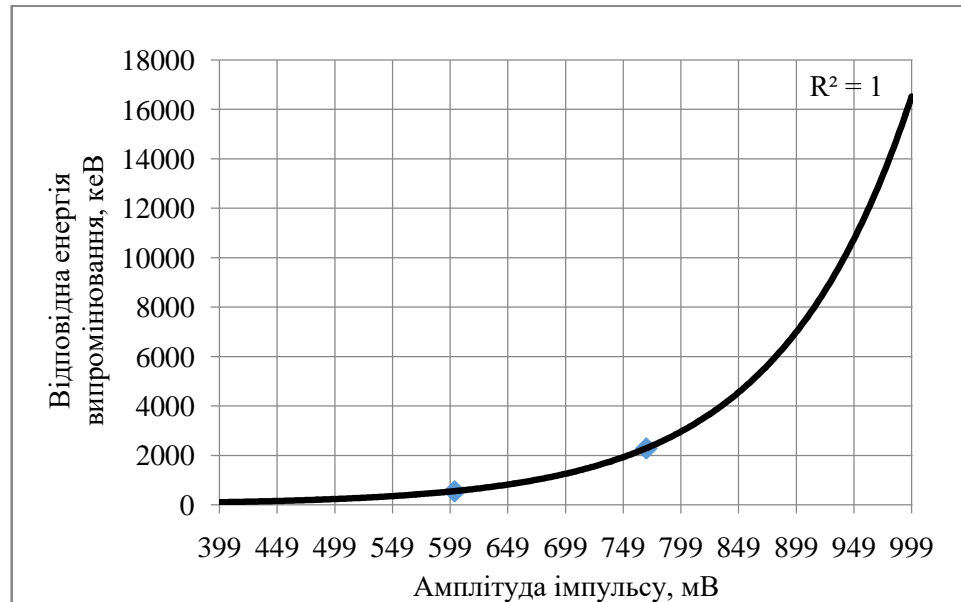


Рис. 3.8. Детектувальна характеристика установки

Як можна бачити з рис.3.8, експоненціальна лінія тренду характеризується високою достовірністю апроксимації $R^2 = 1$. Отже, справедливим буде припущення, що детектувальна характеристика установки є експоненціальною, що доводить обмежену пропорційність виходу ДГМ [12].

3.3. Оцінка окремих імпульсів на виході радіометричної установки

Розглянемо окремі імпульси на виході ДГМ. Для реалізації розпізнавання імпульсів від різних видів ІВ необхідно аналізувати кожен окремий випадок

іонізації. Ансамбль реалізацій окремих імпульсів на виході ДГМ, породжених космічним γ -випромінюванням, наведений на рис.3.2.

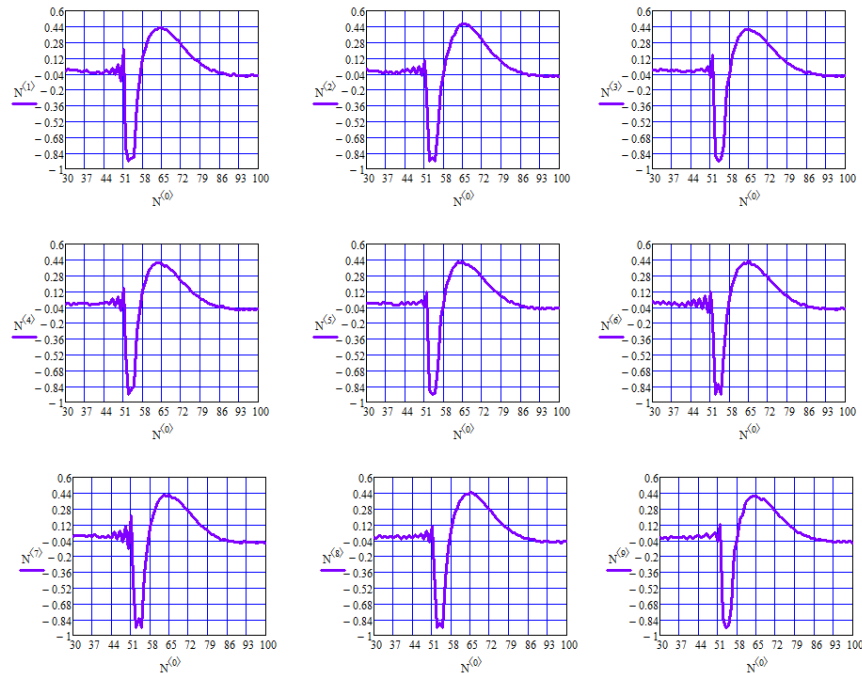


Рис. 3.9. Ансамбль реалізацій окремих імпульсів на виході ДГМ, породжених космічним γ -випромінюванням

Можна бачити, що імпульси є схожими за формою, але усі мають певні відмінності. Особливістю цих імпульсів є те, що нам наперед відомо, що спричинені вони саме дією γ -випромінювання.

Кожен імпульс, що виникає на виході ДГМ, піддається впливу шумів і непередбачуваних завод. Зміна навколишніх умов також може призводити до зміни паразитних характеристик ДГМ та іншої електроніки. Для зменшення впливу цих негативних чинників, прийнято рішення застосовувати синхронне усереднення (СУ) [25, 26].

Зазвичай цей метод застосовують для зниження рівня шумів у сигналі. Але також цей метод дозволяє значно збільшити інформативність сигналу для подальшого його дослідження. СУ суттєво відрізняється від інших методів, де

застосовується усереднення спектру. Обробка і усереднення сигналів відбувається не у частотній, а у часовій області. Особливістю цього методу також є необхідність синхронізації сигналів по часу. Тобто усереднення відбувається по осі абсцис, а синхронізація – по осі ординат. При цьому шум не може бути синхронізований, так як він не відповідає рівню тригерування. Завдяки цьому, значно знижується фоновий шум і інші шкідливі впливи, а корисний сигнал стає більш вираженим. Окрім цього, отриманий таким методом сигнал містить у собі інформацію з усіх тих складових ансамблю, з якого його було складено, що дозволяє більш об'ємно оцінити процес, який відбувається. У програмному пакеті Matlab СУ реалізовано за допомогою спеціалізованої команди:

$$ta = tsa(x,t,tp), \quad (3.6)$$

де ta – сигнал, отриманий методом СУ;
 tsa – реалізована у пакеті Matlab функція СУ;
 x – вхідний сигнал;
 t – проміжки часу синхронізації;
 tp – тривалість слідування імпульсів.

Методом СУ було отримано сигнал, що можна вважати загальним для γ -випромінювання. Назвемо це усередненим імпульсом (рис.3.10).

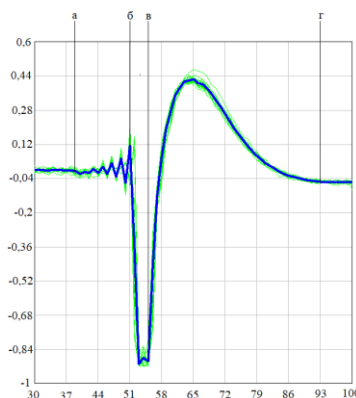


Рис. 3.10. Усереднений імпульс, отриманий методом СУ

На рис.3.10 можна детально ознайомитись з структурою сигналу на виході ДГМ. Ділянка а-б – перехідний процес, що виникає при акті первинної іонізації. Цей процес виникає внаслідок наявності у ДГМ паразитних ємності та індуктивності, тому при виникненні певного заряду розпочинається коливальний процес. Він є наростаючим, так як після первинної іонізації розпочинається ударна іонізація, що підживлює процес. У певний момент розпочинається лавина Таунсенда, яка спричиняє різке зростання струму у ДГМ, а відповідно падіння напруги (ділянка б-в). Після того як лавина Таунсенда досягає своєї найбільшої можливої густини, розпочинається процес самогасіння, який займає найбільш тривалий проміжок часу і характеризується викидом напруги позитивної полярності (ділянка в-г). Відмінності у сигналі для різних видів випромінювання можуть бути виявлені на цих певних ділянках.

Проведемо спектральний аналіз цього сигналу. Для цього буде застосовано метод періодограм, який заснований на обчисленні оцінки спектральної густини потужності (СПП) кінцевої довжини. Таку оцінку називають періодограмою [16].

$$\hat{S}(\omega) = \frac{|X(e^{j\omega})|^2}{Nf_D}, \quad (3.7)$$

де $|X(e^{j\omega})|$ - спектральна густина послідовності:

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\omega Tn}. \quad (3.8)$$

Ця оцінка реалізується за допомогою дискретного перетворення Фур'є з застосуванням алгоритмів швидкого перетворення Фур'є. Можливим є застосування модифікованих періодограм, що характеризуються різними вікнами.

Різні вікна призначені для згладжування піків періодограми при наявності великого числа спектральних складових, що у окремих випадках унеможлиблює читання періодограми. У випадку цього дослідження такої потреби немає, так як розглядаються окремі імпульси ансамблю, а не весь випадковий процес в цілому. Результат спектрального перетворення наведено на рис.3.11.

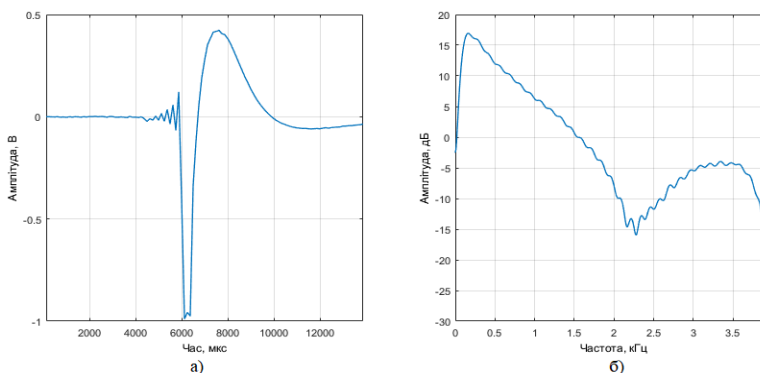


Рис. 3.11. Результат спектрального аналізу усередненого імпульсу γ -випромінювання, а – часове представлення, б –періодограма

В подальшому в установку завантажуються зразки з β -випромінюючими радіонуклідами. А саме, ^{90}Sr - ^{90}Y і ^{40}K . Ці радіонукліди випромінюють β -частинки різної енергії. Щоби виявити можливий імпульс, який може пошкодити інформативність вибірки, здійснено порівняння імпульсів з отриманим усередненим імпульсом γ -випромінювання (рис.3.12).

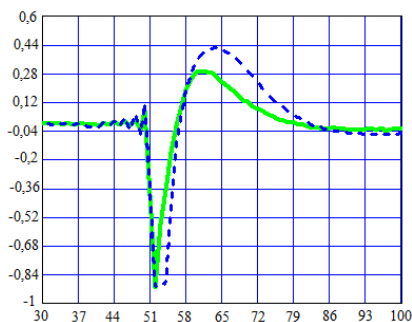


Рис. 3.12. Порівняння усередненого імпульсу γ -випромінювання з одною з реалізацій імпульсу β -випромінювання

Шляхом підрахунку власної активності було обраховано, скільки імпульсів за одиницю часу спричиняє кожен зразок, відповідно до п.3.1. Відповідно до цього, було сформовано вибірку з 20-ти окремих реалізацій кожного ансамблю і сформовано статистику. Зразок $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ відрізнявся значною активністю, при якій на 3254 імпульсів припадає лише один імпульс, спричинений космічним випромінюванням. Отже, ймовірність того, що у вибірку з 20 реалізацій потрапить один такий імпульс складає близько 0,615%. А зразок ^{40}K проявляє значно нижчу активність, тому на 72 імпульси припадає один, спричинений космічним випромінюванням. При цьому ймовірність потрапляння у вибірку такого сигналу складає близько 28% [12, 14].

На рис.3.12 бачимо, що відмінності у формі сигналу присутні. У вибірках не було виявлено імпульсів, що близькі за формою до усередненого імпульсу γ -випромінювання. Відповідно, проводиться СУ для цих вибірок і спектральний аналіз (рис.3.13).

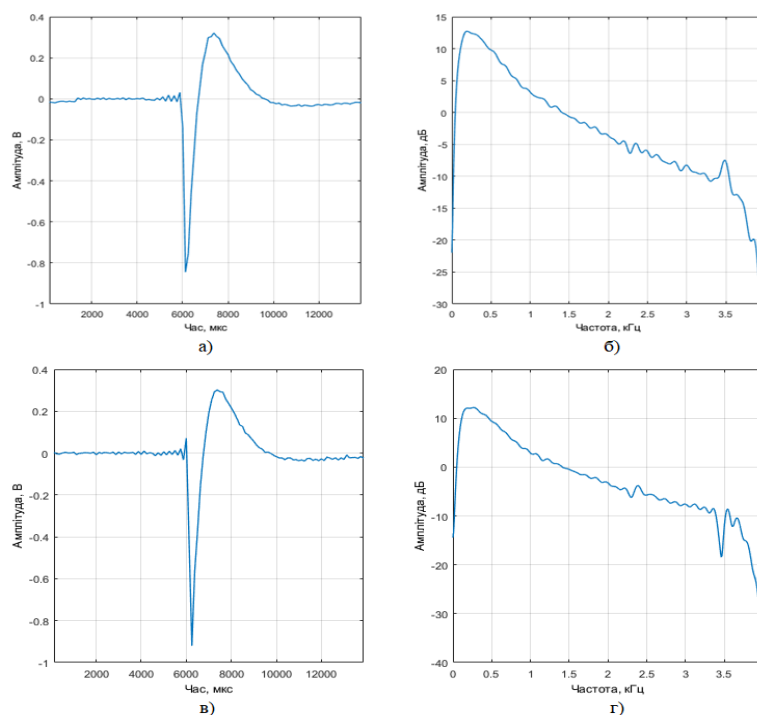


Рис. 3.13. Результат спектрального аналізу усереднених імпульсів β -випромінювання, а, б – від $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$, в, г – від ^{40}K

З рис.3.11, рис.3.13 можна побачити, що відмінність у сигналах від різних видів випромінювання була виявлена. Якщо розглянути періодограми імпульсів γ -випромінювання, помітно, що їм властивий спад рівня СГП на частоті близько 2,19кГц, при тому що для β -випромінювання такого спаду не спостерігається. З самої форми імпульсів видно, що ділянка перехідного процесу для β -випромінювання менш виражена, а лавинна ділянка більш різка. Ділянка самогасіння менш тривала і характеризується дещо нижчою амплітудою.

На рис.3.14 зображено зведену періодограму трьох усереднених імпульсів, отриманих в ході дослідження.

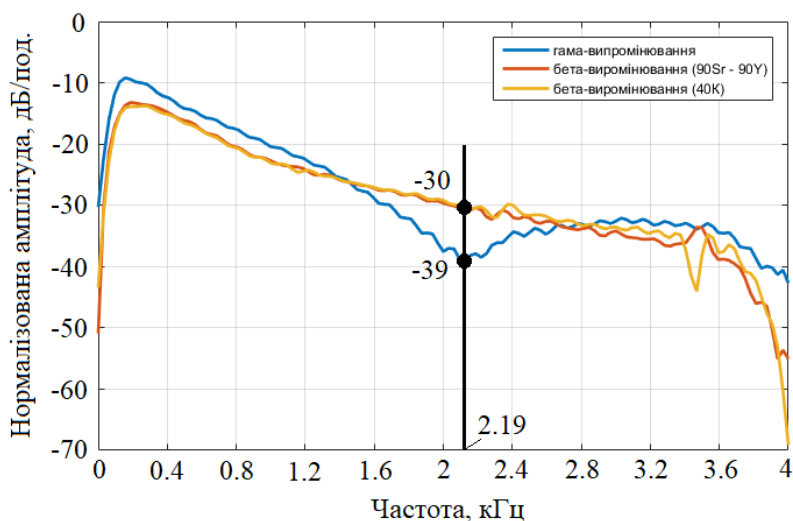


Рис. 3.14. Зведена періодограма усереднених імпульсів

На частоті 2,19 кГц присутня відмінність між періодограмами імпульсів на близько 9дБ (2,82 рази по напрузі). Такої відмінності достатньо для того, щоби реалізувати розпізнавання цих імпульсів за допомогою алгоритмів швидкого перетворення Фур'є. Різницю у тривалості імпульсу і амплітуді не рекомендується застосовувати, так як на ці параметри більш відчутно впливають зовнішні чинники. Окрім того, часові параметри імпульсу відрізняються відчутно менше, ніж спектральні (див. рис.3.12).

3.4. Висновки до розділу 3

У цьому розділі було проведено оцінку зовнішніх впливів на установку при проведенні експерименту, зроблено висновок, що постійно існуюче космічне ІВ, що є широкосмуговим γ -випромінюванням, завжди впливає на установку, в той час як інші види ІВ можуть бути детермінованими в межах дослідження, оскільки зразок впливає на ДГМ лише за умов перебування достатньо близько.

Було представлено конструкцію експериментальної установки, обґрунтовано вибір режиму роботи ДГМ за умов напруги живлення, нижчої за номінальну. Експериментально доведено, що ДГМ вдалось ввести у обмежений пропорційний режим, при чому виникли початкові можливості β - і γ - спектрометрії. На основі експериментальних даних побудовано детектувальну характеристику ДГМ у обмеженому пропорційному режимі.

Було проведено збір ансамблів реалізацій окремих імпульсів на виході ДГМ за різних умов. Шляхом застосування методу СУ отримано усереднені імпульси для різних видів випромінювання, що містять у собі інформацію з 20-ти окремих реалізацій. Для кожного з цих імпульсів було проведено спектральний аналіз методом періодограм, завдяки чому були виявлені нові інформативні ознаки, які дозволяють реалізувати розпізнавання імпульсів ІВ в реальному часі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Іонізуюче випромінювання – розповсюджений вражаючий чинник в реаліях сьогодення. Найбільша його небезпека полягає у тому, що людина не має специфічних рецепторів, які би дозволили відчутти його вплив. При виникненні надзвичайних ситуацій, пов'язаних з радіаційно-небезпечними речовинами, велике значення має ідентифікація і вимірювання іонізуючих випромінювань. Для виконання цієї задачі, використовують пристрої, такі як дозиметри, радіометри, тощо... Державою приймаються відповідні нормативні документи і проводяться заходи метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки іонізуючого випромінювання для забезпечення єдності і точності вимірювань.

4.1.1. Мета забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань

Основною метою забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант є виконання вимог:

— щодо подання результатів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань в установлених одиницях вимірювання;

— щодо визначення характеристик похибок або невизначеностей вимірювань;

— щодо подання результатів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант із зазначенням похибки або невизначеності вимірювань.

Основні завдання забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант вирішують завдяки реалізації єдиної

наукової та технічної політики в галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант, а саме здійснюють такі заходи:

— затвердження одиниць фізичних величин характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант відповідно до міжнародних стандартів;

— формування системи державних еталонів одиниць фізичних величин характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— розроблення методів і засобів відтворення, зберігання та передавання розмірів одиниць фізичних величин у галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант від державних первинних еталонів іншим засобам вимірювальної техніки;

— розроблення науково-методичних, правових та організаційних основ, норм і правил, необхідних для досягнення єдності та необхідної точності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань;

— підвищення ефективності експериментів і випробувань, які стосуються радіоактивних випромінювань, а також радіоактивних речовин і матеріалів;

— здійснення державного метрологічного нагляду за забезпеченням єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— атестація головних і базових організацій метрологічних служб центральних органів виконавчої влади у галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— здійснення метрологічного контролю та нагляду під час розроблення, виробництва, застосування і ремонту засобів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань, зокрема здійснення державних випробувань, повірки, калібрування та метрологічної атестації засобів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань;

— забезпечення єдності вимірювань під час контролювання ядерних матеріалів, що діляться;

- розроблення та атестації методик виконання вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань;
- створення та атестація стандартних зразків радіоактивних речовин і матеріалів;
- виконання експертизи та атестація даних про властивості радіоактивних речовин і матеріалів;
- виконання метрологічної експертизи нормативних документів, конструкторської та технологічної документації на засоби вимірювальної техніки у галузі іонізуючих випромінювань;
- оцінювання відповідності наукової, законодавчої, нормативної та організаційної підсистем державної метрологічної системи щодо забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань потребам економіки країни та розроблення програм їх удосконалення;
- проведення атестації вимірювальних лабораторій, які виконують вимірювання іонізуючих випромінювань і ядерних констант;
- здійснення робіт щодо підготовки кадрів та підвищення їхньої кваліфікації у галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант.

4.1.2. Порядок виконання заходів щодо забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант

Заходи щодо практичної реалізації державної політики у сфері забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант відповідно до Закону України виконує національний науковий метрологічний центр і територіальні органи центрального органу виконавчої влади у сфері метрології (далі — ЦОВМ), акредитовані (уповноважені або атестовані) на виконання відповідних метрологічних робіт щодо характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант.

Національний науковий метрологічний центр організовує, координує і виконує діяльність, спрямовану на забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант у державі, а також здійснює державний метрологічний контроль у галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант.

Національний науковий метрологічний центр виконує такі роботи із забезпечення єдності вимірювань:

— проведення фундаментальних досліджень у сфері метрології іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— створення і забезпечення функціонування державних первинних еталонів у сфері метрології іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— міжнародні звірення державних первинних еталонів з еталонами інших держав і міжнародними еталонами;

— розроблення нормативно-правових актів і нормативних документів у сфері вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— розроблення і атестацію методик виконання вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— проведення державного метрологічного контролю засобів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— установлення належності технічних засобів до засобів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

— розроблення та обґрунтування норм часу на проведення державної метрологічної атестації, повірки засобів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант та інших метрологічних робіт;

— розроблення або участь у розробленні державних наукових і науково-технічних програм, які сприяють забезпеченню єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

- науково-методичне керівництво роботами із забезпечення єдності вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;
- створення технічної бази державної метрологічної системи в галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;
- відтворення, зберігання і передавання розмірів одиниць вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант від державних еталонів іншим засобам вимірювання в Україні;
- розроблення науково-технічних і організаційних основ забезпечення єдності вимірювань іонізуючих випромінювань і ядерних констант;
- аналізуванню відповідності законодавчої, наукової та організаційної підсистем державної метрологічної системи щодо забезпечення єдності вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант вимогам економіки та оборони України і розроблення заходів щодо їх удосконалення;
- аналізуванню стану вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант в Україні і розроблення заходів щодо його удосконалення;
- визначення метрологічних вимог до методів та засобів вимірювання і оформлення результатів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;
- визначення вимог до порядку проведення калібрування і метрологічної атестації засобів вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;
- науково-методичне забезпечення діяльності державних наукових метрологічних центрів і територіальних органів ЦОВМ у галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

- планування і забезпечення проведення кругових (радіальних) звірень вихідних еталонів у галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

- забезпечення підготовки метрологів вищої кваліфікації в галузі вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань;

- на національний науковий метрологічний центр може бути покладено й інші функції згідно з наказами і розпорядженнями ЦОВМ.

Територіальні органи ЦОВМ, акредитовані (уповноважені або атестовані) на виконання відповідних метрологічних робіт щодо характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант, виконують ці роботи згідно із затвердженими галузями акредитації, уповноваження або атестації.

Вимірювальні лабораторії підприємств та організацій, акредитовані або атестовані на виконання вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант, виконують ці роботи згідно із затвердженими галузями акредитації або атестації [27].

4.1.3. Заходи метрологічного забезпечення в єдиній державній системі цивільного захисту

Структуру метрологічної служби органів та підрозділів цивільного захисту визначають їх керівники відповідно до обсягів робіт з урахуванням того, що роботи із забезпечення єдності вимірювань, у тому числі калібрування і ремонт засобів вимірювальної техніки, належать до основних видів робіт. Начальники метрологічних служб (особи (метрологи), відповідальні за забезпечення єдності вимірювань) органів та підрозділів цивільного захисту можуть виконувати свої обов'язки спільно з виконанням інших обов'язків.

- 1) Основними функціями метрологічної служби ДСНС є:
забезпечення єдності вимірювань у системі ДСНС;

- здійснення аналізу стану забезпечення єдності вимірювань у системі ДСНС;
- організація, проведення аналізу інформації стосовно міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань органів та підрозділів цивільного захисту;
- забезпечення ефективної взаємодії з іншими суб'єктами структури національної метрологічної служби щодо забезпечення єдності вимірювань;
- розроблення програм щодо вдосконалення забезпечення єдності вимірювань, спрямованих на підвищення безпечності та якості послуг, що надаються, шляхом підвищення точності та достовірності результатів перевірки на всіх етапах надання послуг з використанням засобів вимірювальної техніки;
- здійснення аналізу матеріалів, наданих метрологічними службами органів та підрозділів цивільного захисту або особами, відповідальними за забезпечення єдності вимірювань, щодо наявності, використання та потреби в методиках вимірювань та засобах вимірювальної техніки; підготовка пропозицій з упорядкування їх номенклатури;
- участь у розробленні сучасних методів вимірювань та засобів вимірювальної техніки;
- підготовка пропозицій щодо проведення робіт з національної стандартизації у сфері метрології та метрологічної діяльності;
- підготовка пропозицій та проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з питань забезпечення єдності вимірювань у системі ДСНС;
- розроблення планів робіт з перевірки, перегляду та скасування нормативних документів з метрології та метрологічної діяльності у системі ДСНС;
- організація і проведення експертизи технічних завдань, звітів про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, що проводяться в органах та підрозділах цивільного захисту;

— організація та проведення заходів, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань в органах та підрозділах цивільного захисту;

— організація нарад, семінарів, конференцій, виставок з питань забезпечення єдності вимірювань, інших заходів з обміну досвідом у сфері метрології та метрологічної діяльності у системі ДСНС;

— облік органів та підрозділів цивільного захисту, які виконують певні вимірювання у сфері законодавчо регульованої метрології, а також повірочних лабораторій, уповноважених на проведення повірки, та калібрувальних лабораторій;

— підтримка в контрольному стані нормативних документів щодо забезпечення єдності вимірювань в органах та підрозділах цивільного захисту з метою інформаційного забезпечення;

— організація робіт з підвищення кваліфікації метрологів та фахівців, що працюють у метрологічних службах органів та підрозділів цивільного захисту.

3) Права та обов'язки метрологічної служби ДСНС

Метрологічна служба ДСНС має право:

— отримувати в установленому порядку від органів та підрозділів цивільного захисту необхідні узагальнені звіти та інші матеріали щодо забезпечення єдності вимірювань;

— координувати роботу метрологічних служб органів та підрозділів цивільного захисту щодо додержання вимог Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність", технічних регламентів та інших нормативно-правових актів у сфері метрології та метрологічної діяльності.

Метрологічна служба ДСНС та метрологічні служби органів та підрозділів цивільного захисту зобов'язані додержуватися метрологічних вимог [28].

4.2. Охорона праці

Генеральна конференція Міжнародної організації праці, що скликана в Женеві Адміністративною радою Міжнародного бюро праці 1 червня 1960 року, постановивши ухвалити ряд пропозицій щодо захисту працівників від іонізуючої радіації. Витяг з цього документу наведено нижче:

1) Треба вживати відповідних заходів колективного та індивідуального захисту для того щоб не перевищувалися максимально допустимі рівні, гадані у статтях 6, 7 і 8 Конвенції 1960 року про захист від іонізуючої радіації, і щоб не перевищувалися максимально допустимі концентрації в атмосфері й воді, котрі можуть потрапити до організму.

2) Роботодавець повинен призначити компетентну особу, котра відає від імені цього підприємства питаннями захисту від іонізуючої радіації.

3) У тих випадках, коли вони забезпечують дійовий захист, перевага має надаватися методам колективного захисту як матеріального, так і організаційного характеру.

4) Якщо колективні методи захисту є недостатніми, то мають застосовуватися індивідуальні засоби захисту, а де доцільно - має бути опрацьовано відповідну процедуру захисту.

5) Усі захисні пристосування й пристрої, а також апаратура мають бути сконструйовані або змінені таким чином, щоб вони відповідали своєму призначенню.

6) Треба вживати всіх необхідних заходів для забезпечення регулярного огляду цих пристосувань, пристроїв та апаратури з метою встановлення їхнього справного стану, задовільного функціонування й забезпечення потрібного захисту; вони особливо повинні перевірятися перед введенням у вжиток і щоразу, коли вносяться зміни в процедуру, обладнання і захисні пристосування.

7) Кожна помічена несправність у цих пристосуваннях, пристроях та апаратурі має бути негайно усунена; у разі потреби має бути негайно припинена робота обладнаних ними установок, які не повинні використовуватися доти, доки не усунено дефекти.

8) Компетентний орган влади повинен вимагати проведення відповідної і регулярної перевірки основних вузлів захисного обладнання, особливо контрольно-сигнального обладнання.

9) З відкритими джерелами слід поводитися з усією обережністю, якої вимагає їхня отруйність.

10) Методи поводження з ними мають вироблятися з метою зменшення можливості потрапляння до організму радіоактивних речовин і поширення ризику радіоактивного розпаду.

11) Плани заходів повинні заздалегідь опрацьовуватися з метою якомога швидше виявлення будь-якого витoku радіоактивних речовин із закритого джерела чи його руйнування, здатних спричинити небезпеку радіоактивного розпаду; та невідкладного вжиття відповідних заходів для запобігання дальшому поширенню радіоактивного розпаду, а також вжиття інших необхідних захисних заходів, серед яких і процедура знешкодження з безпосереднім співробітництвом, якщо потрібно, всіх заінтересованих влад.

12) Джерела, що можуть спричинити небезпеку впливу іонізуючої радіації на працівників, та зони, в яких може виявлятися такий вплив або в яких працівники можуть зазнати зараження радіоактивними речовинами, у відповідному випадку мають бути позначені легко розпізнаваними знаками попередження.

13) Усі відкриті чи закриті джерела радіоактивних речовин, що їх підприємства використовують або зберігають на своїх складах, мають бути належним чином зареєстровані.

14) Жодні радіоактивні речовини не повинні передаватися іншому роботодавцеві або підприємству без відповідного повідомлення, що його може зажадати компетентний орган влади.

15) Якщо будь-хто має підставу вважати, що яке-небудь радіоактивне джерело зникло, загубилося, викрадене чи пошкоджене, він повинен негайно повідомити про це компетентну особу, або якщо це неможливо, іншу відповідальну особу, котра повинна якнайшвидше повідомити про це компетентну особу.

16) З огляду на те, що використання праці жінок такого віку, коли вони здатні до народження дітей, на пов'язаних із радіацією роботах зачіпає особливі медичні проблеми, треба вживати всіх можливих запобіжних заходів для того, щоб вони не зазнавали великого ризику впливу радіації.

17) Повинен проводитися відповідний нагляд за працівниками та місцями їхньої роботи з метою визначення ступеня вразливого впливу на працівників іонізуючої радіації та радіоактивних речовин, щоб пересвідчитись у дотриманні допустимого рівня радіації.

18) У разі радіоактивного випромінювання зі зовнішнього джерела такий контроль повинен здійснюватися за допомогою фільмів, дозиметрів або інших відповідних пристосувань.

19) У разі внутрішнього опромінення, коли є підстави вважати, що максимально допустимі рівні можуть бути досягнені або перевищені, до такого контрольного визначення повинна входити перевірка:

- а) радіоактивного зараження;
- б) якщо це виявиться можливим, кількості речовин в організмі.

20) Поряд із визначенням ступеня опромінення всього тіла контрольне визначення має встановити часткове опромінення тієї частини тіла, якій може бути завдано найбільшої шкоди.

21) Компетентний орган влади повинен, де доцільно, вимагати проведення перевірки з метою виявлення зараження рук, тіла й одягу осіб, що йдуть з робочого місця.

22) Особи, які здійснюють такий контроль відповідно до положень Конвенції 1960 року про захист від радіації та цієї Рекомендації, повинні забезпечуватися потрібним обладнанням і мати всі можливості для проведення такої роботи [29, 30].

4.3. Висновки до розділу 4

У цьому розділі були розглянуті питання проведення заходів метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки іонізуючого випромінювання, а також заходів метрологічного забезпечення в єдиній державній системі цивільного захисту. Визначено, що метрологічне забезпечення засобів вимірювальної техніки іонізуючого випромінювання має велике значення у сфері безпеки, так як єдиний спосіб оцінити рівень ІВ в навколишньому середовищі – вимірювання за допомогою відповідних приладів. Визначено основні засади захисту працівників від впливу іонізуючих випромінювань.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено і обґрунтовано метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для підвищення інформативності радіометричних вимірювань. Для досягнення цієї мети були розв'язані такі задачі:

- Проведено аналітичний огляд літературних джерел за обраною тематикою, в результаті чого було отримано теоретичну базу для подальших досліджень. Визначено, що ДГМ який працює в режимі Гейгера-Мюллера видає цілком однакові імпульси для будь-яких видів ІВ, до яких він чутливий. Також визначено, що ДГМ працювати в обмеженому пропорційному режимі, для чого необхідно використовувати напругу живлення нижче номінальної, і при цьому можуть виникнути відмінності у імпульсах;

- Надано оцінку вихідного сигналу радіометричної установки як випадкового процесу. При цьому визначено, що ядерні процеси, в результаті яких виникає ІВ, мають статистичні властивості і розподіляються за законом Пуассона. Сам процес виникнення імпульсів у радіометричній установці оцінено як стаціонарний і ергодичний;

- Оцінено зовнішні впливи на радіометричну установку в умовах експерименту, в результаті чого визначено, що на ДГМ постійно діє космічне γ -випромінювання, а вплив інших видів ІВ - контрольований за рахунок зміни активного зразка;

- Обрано необхідний режим роботи давача Гейгера-Мюллера шляхом аналізу його лічильної характеристики. Його працездатність у обмеженому пропорційному режимі підтверджено шляхом аналізу частоти виникнень імпульсів з різними амплітудами при впливі на ДГМ ІВ з відомою природою та енергією. На основі отриманих даних отримано детектувальну характеристику радіометричної установки, яка виявилась експоненціальною;

- Проведено збір інформації з радіометричної установки при впливі різних видів ІВ. Було зібрано окремі імпульси, синхронізовані за часом, сформовано ансамблі реалізацій імпульсів для різних видів випромінювання. Зважаючи на вплив космічного γ -випромінювання, сформовано статистику, скільки космічних імпульсів припадає на певну кількість імпульсів, спричинених активним зразком;

- Шляхом СУ було отримано усереднений імпульс для космічного γ -випромінювання. Цей імпульс містить інформацію з 20-ти окремих реалізацій. Вибірki реалізацій від інших видів випромінювання були порівняні з усередненим імпульсом для космічного γ -випромінювання. Таким чином було виконано відсіювання можливих імпульсів γ -випромінювання на користь β -випромінювання, що породжене зразком. На основі цих вибірок також було сформовано усереднені імпульси, після чого шляхом гармонічного аналізу було виявлено інформативні ознаки, які відрізняють імпульси, спричинені γ -випромінюванням від імпульсів, породжених β -випромінюванням.

Завдяки виявленим інформативним ознакам можливою є реалізація розпізнавання імпульсів, спричинених ІВ різного роду у реальному часі, використовуючи алгоритми швидкого перетворення Фур'є.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement - 3rd edition (Chapters 16 to 18), John Wiley & Sons, 1999.
2. Методи для реєстрації іонізуючих випромінювань. Класифікація приладів радіаційного контролю [Електронний ресурс]//studme. Режим доступу: https://studme.org/1679042228701/bzhd/metody_dlya_registratsii_ioniziruyuschih_izlucheniya_klassifikatsiya_priborov_radiatsionnogo_kontrolya. Назва з екрану
3. Книга 5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електронний ресурс]//ЕНЕРГЕТИКА. Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5>. Назва з екрану.
4. Камера Вільсона та дослідження треків частинок [Електронний ресурс]//Studfiles. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5538270/page:16/>. Назва з екрану.
5. Ionization Chamber – Ion Chamber [Електронний ресурс]//Nuclear-Power. Режим доступу: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/radiation-detection/gaseous-ionization-detector/ionization-chamber-ion-chamber/>. Назва з екрану.
6. Geiger Counter – Geiger-Mueller Detector [Електронний ресурс]//Nuclear-Power. Режим доступу: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/radiation-detection/gaseous-ionization-detector/geiger-counter-geiger-mueller-detector/>. Назва з екрану.
7. U.S. Department of Energy, Instrumentation and Control. DOE Fundamentals Handbook, Volume 2 of 2. June 1992.
8. Proportional Counter – Proportional Detector [Електронний ресурс]//Nuclear-Power. Режим доступу: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/radiation-detection/gaseous-ionization-detector/proportional-counter-proportional-detector/>. Назва з екрану.

9. Rice-Evans P., Spark, streamer, proportional and drift chambers, L., 1974; Sauli F., Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers, Gen., 1977;
10. Заневский Ю. В., Проволочные детекторы элементарных частиц, М., 1978;
11. Статистика в микромире [Электронный ресурс]//nuclphys. Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/statistic/index.html>. Назва з екрану.
12. Статистическая обработка экспериментальных данных: методические указания к лабораторным работам (цикл лабораторных работ) / составитель Ю.Я. Кацман; Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.
13. Спектрально -корреляционный анализ равномерных временных рядов: Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. - 48 с.
14. Стохастические процессы и системы: Учеб. пособие для студентов фак. радиофизики и электроники / С.В. Гилевский. - Мн.: БГУ, 2004. - 112с.
15. Доказательство стационарности случайных процессов [Электронный ресурс]//studref. Режим доступа: https://studref.com/570096/tehnika/dokazatelstvo_statsionarnosti_sluchaynyh_prot_sessov. Назва з екрану.
16. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB: учеб. пособие. - СПб.: БХВ-Петербург, 2018. - 560 с.: ил. - (Учебная литература для вузов)
17. A Circuit for the Analysis of Geiger-Counter Pulses. Review of Scientific Instruments 6, 121 (1935).
18. Счетчики Гейгера. Принцип работы. Строение и принцип работы счётчика Гейгера – Мюллера [Электронный ресурс]//optolov. Режим доступа: <https://optolov.ru/dizajjn-vannojj/schetchiki-geigera-princip-raboty-stroenie-i-princip-raboty.html>. Назва з екрану.
19. Технічні умови ОДО.339.172 ТУ
20. Приемники и детекторы излучений. Справочник. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 640 с., табл. 415, ил. 1326.

21. Atom Spectra [Електронний ресурс]//GooglePlay. Режим доступу: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.fe57.atomspectra&hl=uk>. Назва з екрану.

22. Azooz A A 2009 Operating a Geiger–Müller tube using a PC sound card Eur. J. Phys. 30 pp 57–67

23. Audi G., Wapstra A. H., Thibault C. The AME2003 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs, and references(англ.) // Nuclear Physics A. — 2003. — Vol. 729. — P. 337—676. — DOI:10.1016/j.nuclphysa.2003.11.003. — Bibcode: 2003NuPhA.729..337A

24. Table of Isotopes decay data. The Lund/LBNL Nuclear Data Search. February 1999.

25. Introduction of Time Synchronous Averaging [Електронний ресурс]//crystalinstruments. Режим доступу: <https://www.crystalinstruments.com/time-synchronous-average>. Назва з екрану.

26. Time-synchronous signal average [Електронний ресурс]//mathworks. Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/tsa.html>. Назва з екрану.

27. ДСТУ 3240:2015. Забезпечення єдності вимірювань характеристик іонізуючих випромінень і ядерних констант. [На заміну ДСТУ 3240–95, чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 4с.

28. Про затвердження Положення про метрологічну службу Державної служби України з надзвичайних ситуацій: Наказ від 27.07.2017 р. № 396, Державна служба України з надзвичайних ситуацій.

29. Рекомендація щодо захисту працівників від іонізуючої радіації N114, "Міжнародне законодавство про охорону праці", Київ, 1997 р

30. Конвенція про захист працівників від іонізуючої радіації N 115 (укр/рос), Конвенції та рекомендації, ухвалені Міжнародною організацією праці 1919-1964, Том I, Міжнародне бюро праці, Женева.

Додаток А

Параметри основних видів іонізуючого випромінювання

Таблиця А.1

Порівняння параметрів основних видів іонізуючого випромінювання

Вид ІВ	Енергія, МеВ	Швидкість поширення в вакуумі, м/с	Пробіг в повітрі	Пробіг в біологічних тканинах.	Іонізуюча здатність
α частинки	1-10	$2 \cdot 10^4$	< 20 см.	До 50 мкм	10000-20000 пар-іон/мм
β частинки	0.1-2	$2,7 \cdot 10^5$	< 15 м	До 1 см	5-10 пар-іон/мм
γ , рентгеновське випромін.	0.1-20	$3 \cdot 10^8$	> 100 м	Десятки сантиметрів	1 пара-іон/см

Таблиця А.2

Різновиди вільних нейтронів

Назва різновиду нейтронів	Значення енергії, кеВ
Повільні (теплові)	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Резонансні	<0,5
Проміжні	0,5 – 500
Швидкі	500 - 20000
Надшвидкі	>20000

Додаток Б
Копія тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Національна академія наук України
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Шяуляйська державна колегія (Литва)
Жешувський політехнічний університет ім. Лукасевича (Польща)
Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)
Наукове товариство ім. Шевченка
ГО «Асоціація випускників Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»

**АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ
СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Збірник

тез доповідей

Том I

**IX Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів
25-26 листопада 2020 року**



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2020**

ЗМІСТ

Секція: ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.	С.Р. Жеп'як, І.О. Мирзасв, М.З. Пекар, О.Р. Кавецький ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО ДЕФОРМІНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ПОВЕРХНЕВИМИ ТРИЩИНАМИ	5
2.	С.Р. Жеп'як, І.О. Мирзасв ПІДВИЩЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ СТІЙКОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ	6
3.	О.Р. Кавецький, М.З. Пекар МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЮ ДУГОЮ	7
4.	В.І. Крочак, В.Л. Дунець МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ГАЗОРОЗРЯДНИХ ДАВАЧІВ ГЕЙГЕРА- МЮЛЛЕРА	8
5.	М.Ф. Кузмічов, Н.Р. Бутрак, В.В. Пікусь ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИКО- МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЛИСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	9
6.	Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків, О.А. Загоруйко РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ ПРОГРАМУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ КОМІРКИ	10
7.	Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків, Й.Р. Кравець, Н.С. Мінько МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІНИ ІНСТРУМЕНТІВ В РОБОТОТЕХНІЧНІЙ КОМІРЦІ	12
8.	Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків, Р-В. М. Павловський ПРОЄКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВЧАЛЬНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО РОБОТА	14
9.	Ч.В. Пулька, А.І. Горішний, І.Ф. Дудич, Т.М. Струсь. ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН	16
10.	В. Є. Романів, В. В. Лазарюк ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУМІШЕЙ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ ПРИ НАПІВАВТОМАТИЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ	18
11.	В.Ф. Савків ДОСЛІДЖЕННЯ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ СТАЛІ 09Г2С	20

УДК 621.3.087.47:[53.05+53.09]

В.І. Крочак, В.Л. Дунець, канд. тех. наук.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ГАЗОРОЗРЯДНИХ ДАВАЧІВ ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

V.I. Krochak, V.L. Dunets, Ph.D

METHOD OF RECOGNITION OF IONIZATION RADIATION EMISSION SIGNALS FOR GEIGER-MULLER DETECTORS

При вимірюванні радіоактивності матеріалів і дослідженні сукупних іонізуючих випромінювань за допомогою давачів Гейгера-Мюллера, як правило, застосовують метод екранування, при якому один з видів випромінювання на шляху до давача відсікається певним матеріалом або полем. Такий метод є ефективним, але непрямым, тому частина інформації втрачається. [1].

Запропонований метод дозволяє без застосування методу екранування розрізнити види випромінювань, які спричиняють лавинний процес в давачі Гейгера-Мюллера, що є більш інформативним.

Проведено збір та опрацювання даних за допомогою експериментальної установки, в результаті чого виявлено інформативні ознаки, які дозволяють розпізнавати різновиди іонізуючого випромінювання за параметрами сигналу.

Шляхом синхронного по часу усереднення [3] встановлено часове представлення імпульсів на виході давача Гейгера-Мюллера (рис.1), породжених різними видами іонізуючого випромінювання. Після чого отримані імпульси були оброблені і отримані їх періодограми [2] (рис.2).

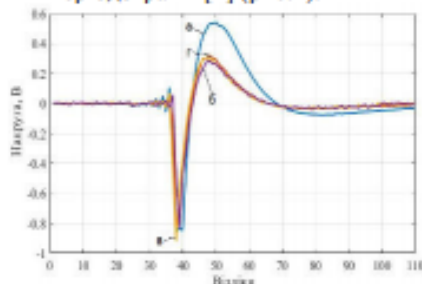


Рисунок 1. Часові представлення сигналів а – породженого γ -випромінюванням,

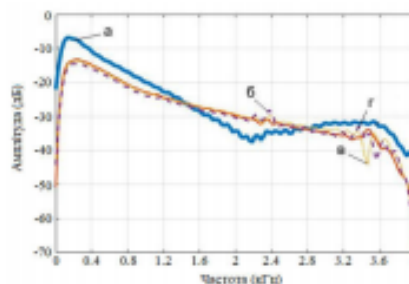


Рисунок 2. Періодограми сигналів б, в, г – β -випромінюванням

Інформативною ознакою визначена оцінка спектральної густини потужності (періодограма) окремих сигналів на виході давача Гейгера-Мюллера. Виявлено, що вказана оцінка відрізняється для сигналів породжених різними видами іонізуючого випромінювання (β - або γ - випромінювання).

Література

1. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник. — Київ: Світ, 2003. — 288 с.:245,140,143,152
2. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB: учеб. пособие.— СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 560 с.: ил. — (Учебная литература для вузов)
3. <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/tsa.html>