

УДК 539.108

Розорінов Г.М., д-р.техн.наук,
Мелешко М.А., канд.техн. наук,
Сгоров О.К.

СТОХАСТИЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Інститут комп'ютерних технологій НАУ

Запропонована й експериментально підтверджена нова методика виміру інтенсивності іонізуючих випромінювань, заснована на використанні багатомірних функцій розподілу потоків імпульсів з виходу детектора випромінювань.

Вступ

Виявлення потоків іонізуючих випромінювань малої інтенсивності здійснюється в наш час, як правило, шляхом проведення безперервного спектрального аналізу радіаційної обстановки протягом десятків годин [1,2]. При цьому як детектори випромінювань, в основному, використовують рідинні або твердотілі сцинтилятори, за допомогою яких виділяють області в енергетичних спектрах, що відповідають пікам енергії певних радіонуклідів, і/або вимірюють середню інтенсивність випромінювань (середнє число розпадів за одиницю часу). Помітимо, що на середньому числі розпадів в одиницю часу ізотопу ^{14}C засноване датування історичних подій. Для забезпечення необхідної точності результатів виміру в спеціальному устаткуванні, яке, наприклад, випускається в даний час Київським НПП "АтомКомплексПрибор" сцинтиляційному спектрометрі, енергії бета випромінювання СЕБ-01-70, застосовується високо-ефективна низькофононий захист (сталь + свинець), що знижує рівень фонового випромінювання до значень, що не перевищують 0,35 імпульсів/сек. Однак час виміру, необхідний для досягнення високої вірогідності результатів виміру, при інтенсивностях випромінювань порядку 1...3 імпульсів/сек досягає 24-х годин.

Наведена робота ставить своєю метою показати, що методи багатовимірної імовірнісного аналізу та стохастичного посилення дозволяють ефективно вирішити завдання виміру інтенсивності іонізуючих випромінювань, зменшення впливу

природного радіаційного тла на точність вимірів і зменшення часу вимірів [3-6].

Методика виміру інтенсивності випромінювань по багатомірних функціях розподілу ймовірностей

Нехай t_i , $i = 0, \overline{N}$ - момент появи i -го імпульсу на виході детектора випромінювань, що реєструє іонізуюче випромінювання. Тоді спільна функція розподілу ймовірностей того, що інтервали часу між появами кожної пари суміжних імпульсів не перевищують деякого заданого інтервалу часу T , має вигляд

$$P\{t_{k+1} - t_k < T, t_{k+2} - t_{k+1} < T, \dots, t_{k+N+1} - t_{k+N} < T\}, k = 0, 1, \dots \quad (1)$$

Відзначимо, що величина, зворотня середньому значенню інтервалу між імпульсами, що надходять із детектора випромінювань являє собою не що інше, як середню інтенсивність випромінювання.

Як показано в [5], завдання виміру спільних функцій розподілу ймовірностей вирішується за допомогою пристрою, структура якого показана на рис.1.

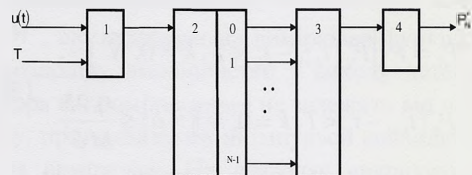


Рис.1 Структурна схема вимірника спільних N -вимірних функцій розподілу ймовірностей інтенсивності випромінювання

Потік імпульсів $u(t)$, що знімається з виходу детектора випромінювань, пода-

ється на один із входів квантователя за часом 1, що виробляє сигнал порівняння між часовими інтервалами надходження імпульсів і постійним тимчасовим інтервалом T (вікном виміру), що задається вручну. Це відповідає алгоритму

$$U(t_k) = \begin{cases} 1, \text{ при } t_{k+1} - t_k < T, \\ 0, \text{ при } t_{k+1} - t_k \geq T, k = 0, 1, \dots \end{cases} \quad (2)$$

Отримана в результаті квантування послідовність імпульсів $U(t_k)$ запам'ятовується в N -розрядному рухівному регістрі 2. Сигнали, що знімаються з паралельних виходів регістра надходять на N -входову схему збігу 3, що формує процес

$$Y(t_k, t_{k+1}, \dots, t_{k+N-1}) = \prod_{i=k}^{i=k+N-1} U(t_i), k = 0, 1, \dots \quad (3)$$

Результат збігу, отриманий відповідно до (3), далі подається на t -поточний інтегратор 4 (нагромаджуючий суматор), що здійснює формування оцінки N -вимірної функції розподілу інтенсивності випромінювання

$$P^* \{t_{k+1} - t_k < T, t_{k+2} - t_{k+1} < T, \dots, t_{k+N} - t_{k+N-1} < T\} = \frac{1}{M} \sum_{i=k}^{i=k+M-1} Y(t_i, t_{i+1}, \dots, t_{i+N-1}), k = 0, 1, \dots, \quad (4)$$

де M - постійна нагромадження.

Як показано в [5], довірчий інтервал δ і довірна ймовірність P_δ для оцінок типу (4) зв'язані між собою співвідношенням

$$P_\delta = P \left\{ P_N^* (t_{k+1} - t_k < T, k = \overline{0, N}) - P_N (t_{k+1} - t_k < T, k = \overline{0, N}) > \delta \right\} \leq \frac{0,25}{M \delta^2} \quad (5)$$

де $P_N (t_{k+1} - t_k < T, k = \overline{0, N})$ - дійсне значення функції розподілу. З умови (5) видно, що його права частина залежить тільки від постійної нагромадження M й величини довірного інтервалу δ (асоційо-

ваної з роздільною здатністю), а це дозволяє оцінювати вірогідність результатів вимірів поза залежністю від виду розподілу ймовірностей досліджуваних процесів і виду розподілу самої оцінки (5). Важливо відзначити, що з незалежності довірчої ймовірності P_δ від розподілу інтервалів між імпульсами треба, що при вимірі функцій розподілу ймовірностей інтенсивності випромінювання можна обмежитися обробкою такого числа M імпульсів, що при заданій довірчій ймовірності P_δ забезпечує необхідну роздільну здатність δ .

Експериментальні дослідження

Для перевірки запропонованої методики було проведено кілька серій експериментів по виміру функцій розподілу ймовірностей тимчасових інтервалів між імпульсами, вироблюваними детектором випромінювань. Вимірювалися одне-, три- і п'ятивимірні функції розподілу ймовірностей для фонового випромінювання під час відсутності джерела

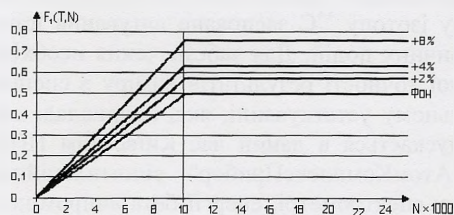


Рис.2 Одновимірна функція розподілу ймовірностей

випромінювання й при його наявності. При цьому рівень випромінювання джерела становив 2%, 4% і 8% рівня фонового випромінювання. Результати вимірів показані на рис. 2-4.

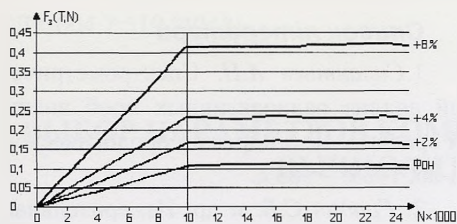


Рис.3 Тривимірна функція розподілу ймовірностей

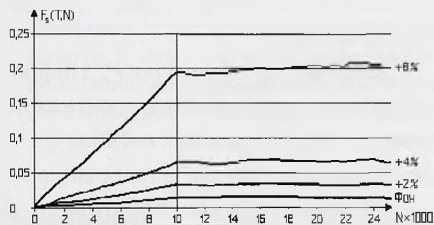


Рис.4 П'ятивимірна функція розподілу ймовірностей

На цих малюнках по осі абсцис відкладена кількість імпульсів, що надходять на вимірювач функцій розподілу ймовірностей з детектора випромінювань, а по осі ординат – значення відповідних функцій. Значення аргументу T вибиралося рівним середньому значенню тимчасових інтервалів між імпульсами фонового випромінювання. В описуваних серіях експериментів цей час дорівнює 0,1 сек, що відповідає інтенсивності тла майже в 30 разів більшої, ніж припустима інтенсивність тла при вимірах за допомогою серійного спектрометра СЕБ-01-70. Зрозуміло, що середньому тимчасовому інтервалу 0,1 сек. відповідає середня інтенсивність імпульсів тла 10 імпульсів/сек.

На всіх малюнках проміжок значень $N = 0 \dots 10000$ відповідає часу встановлення пристрою, що вимірює відповідні функції розподілу ймовірностей.

Аналіз результатів

З отриманих результатів випливає, що багатовимірні функції розподілу ймовірностей є досить ефективним засобом для виявлення випромінювань, інтенсивність яких у багато разів менше інтенсив-

ності фонового випромінювання. У цей час при виконанні градування по інтенсивності випромінювання ізотопу ^{14}C потрібна точність результатів не гірше, принаймні, 1%. Для одержання такої точності при досить великій довірчій імовірності, відповідно до теорії прийняття статистичних рішень [4,7] необхідно нагромадити не менш 10000 імпульсів випромінювання. При середній інтенсивності 10...20 розпадів за хвилину це призводить до того, що виміри повинні проводитися цілодобово. Це, у свою чергу, приводить до проблем, пов'язаних зі стабільністю параметрів апаратури, а також екранування джерел випромінювань, для забезпечення високого відношення сигнал/тло.

Вимірювання одно-, трьох- і п'ятивимірних розподілів ймовірностей дозволяють впевнено виявляти джерела випромінювання, інтенсивність яких в 50 разів менше інтенсивності фонового випромінювання. Тобто запропонована методика дозволяє аналізувати проби при значно більше високих рівнях фонового випромінювання, у порівнянні з відомими методиками, що, у свою чергу, дозволяє істотно знизити вимоги до низькофонового захисту, і, відповідно, зменшити матеріалоемність та вагу застосовуваних захисних екранів.

З іншого боку, з нерівності (5) випливає, що необхідна точність і вірогідність результатів вимірювань фактично повністю визначається числом імпульсів M , що надійшли на вимірювач функцій розподілу ймовірностей з виходу детектора випромінювань, і не залежить від часу, протягом якого ці імпульси надходять на вимірювач. Це дозволяє виконувати вимір при високих, порядку десятків імпульсів за секунду, інтенсивностях фонового випромінювання й автоматично призводить до істотного (у десятки разів) зменшення часу експозиції проб у порівнянні з відомими методами.

З результатів вимірювань також впливає, що збільшення вимірності вимірюваних функцій розподілу призводить до збільшення відносної чутливості вимірів. При збільшенні інтенсивності випромінювання на 8%, тобто при збільшенні інтенсивності потоку імпульсів в 1,08 рази одновимірна функція розподілу ймовірностей зростає в 1,25 рази, тривимірна - в 3.5 рази, а п'ятивимірна - приблизно в 10 разів. Такий характер змін багатовимірних функцій розподілу ймовірностей, загалом кажучи, пов'язаний з описаним в [6] ефектом стохастичного посилення, однак деталі реалізації стохастичного посилення при вимірі багатовимірних функцій розподілу ймовірностей інтенсивностей випромінювань виходять за рамки наведеної роботи.

Висновки

1. Запропонована, обгрунтована й експериментально перевірена методика виміру інтенсивності іонізуючих випромінювань, заснована на вимірі багатовимірних функцій розподілу ймовірностей інтервалів часу між імпульсами, виробленими детекторами випромінювань.

2. Показано, що розроблена методика дозволяє вірогідно виявляти випромінювання з інтенсивностями в десятки разів нижче інтенсивності фонових випромінювань, причому при високих інтенсивностях фонового випромінювання.

3. Застосування запропонованої методики істотно зменшує (у десятки разів) час аналізу й знижує вимоги до екранування досліджуваних об'єктів від фонового випромінювання.

Список літератури

1. *Силантьев А.Н.* Спектрометрический анализ радиоактивных проб внешней среды. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. – 183 с.

2. *Гридин С.В.* и др. Измерительная система для радиоуглеродных исследований // Известия РАН, "Приборы и техника эксперимента". – 1996. -№6, ноябрь-декабрь, С. 45-48.

3. *Даджион Д., Мерсеро Р.* Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.

4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1984. - 832с.

5. *Брягин О.В., Егоров А.К., Розоринов Г.Н.* Об оценке многомерных функций распределения вероятностей речевых сигналов. // Реестрация, зберігання і обробка даних. – 2004. - Т.6, №3. – С. 41-49.

6. *Егоров А.К., Розоринов Г.Н.* Стохастическое усиление управляющих сигналов. // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2004. - Т.2, №1. – С. 45-47.

7. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. Кн.2. – М.: Сов. радио, 1968. – 552 с.