

Ю.Л. ЗАБУЛОНОВ, В.М. БУРТНЯК, І.О. ЗОЛКІН

*Державна установа “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”,
м. Київ*

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПРЕС-МЕТОДУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ГАЗОАЕРОЗОЛЬНИХ ВИКИДІВ АЕС

Пропонується метод, що дозволяє проводити оперативний контроль рівня радіоактивності газоаерозольних викидів АЕС. Розглянуто основні особливості методу та його застосування.

Вступ

Підвищення рівня безпеки атомних електростанцій – пріоритетний напрямок розвитку енергетики в цілому і ядерної енергетики зокрема. АЕС вважається безпечною, якщо її радіаційний вплив обмежується встановленими нормативами, та якщо вона не має негативного впливу на навколишнє середовище і населення. Навіть у режимі нормальної експлуатації атомна електростанція викидає в навколишнє середовище радіоактивні аерозолі з твердою і рідкою дисперсними фазами. Газоподібні відходи на АЕС не утилізуються і потрапляють в навколишнє середовище з повітряними викидами [1].

Відомо [2], що індивідуальна середня доза опромінювання населення, яке проживає в зоні радіусом 100 км навколо АЕС, за рахунок газоаерозольних викидів складає від 0,06 до 6,0 мкЗв/рік, тобто може складати до 1% ефекту, обумовленого природним фоном. При аномальних викидах ця цифра може бути в 10 - 100 разів вищою. До аномальних викидів можна віднести аварійні та залпові викиди. Залпові викиди, як порівняно нетривалі, й зазвичай у багато разів перевищують за потужністю середні викиди, які властиві багатьом виробництвам. Їх наявність передбачається технологічним регламентом і обумовлена проведенням окремих (специфічних) стадій певних технологічних процесів. Як показує аналіз технологічних регламентів, якісні показники параметрів залпових викидів і, насамперед, разових і валових надходжень шкідливих речовин в атмосферу істотно відрізняються від аналогічних характеристик штатного режиму роботи АЕС. В цілому ряді випадків тривалість залпових викидів складає менше 20 хв. Подібна ситуація є і з можливими аварійними викидами.

Виникнення і розвиток радіаційних аварій проходить, як правило, в дуже короткий термін. Це, відповідно, накладає дуже жорсткі вимоги на характеристики автоматизованих систем радіологічного контролю [3]. Насамперед, до головних вимог відносяться: підвищення точності, швидкості і надійності радіометричних вимірювань, визначення радіонуклідного складу радіаційних викидів, напрямів їх розповсюдження. При проведенні оперативного радіаційного моніторингу в більшості випадків неможливе застосування аналітичного обладнання стаціонарних лабораторій.

Отже, при аналізі нормальних і аварійних викидів у вентиляційній трубі АЕС необхідно вирішувати наступну задачу – мінімізувати час виявлення зміни потоку іонізуючих випромінювань. Розв'язання цієї задачі ускладнюється проблемами визначення порогу, який через випадковий характер процесу залежить від інтенсивності і фону. Таким чином, визначення наявності радіоактивних ізотопів у газоаерозольних викидах при нормальній і аномальній роботі АЕС становить достатньо складне технічне завдання.

Опис запропонованої методики

Традиційно при вимірюванні рівня радіоактивності газоаерозольних викидів АЕС використовуються детектори з максимальною ефективністю реєстрації та селективністю. На достовірність і точність вимірювання впливають флуктуації природного радіаційного

фону, територіальне розподілення джерел випромінювання, складність спектру їх випромінювання, необхідність проведення вимірювань в природному середовищі і в достатньо короткий термін. Нестабільність природного фону — добові та сезонні коливання, опади, туман тощо, природні чинники, що випадково змінюються, викликають більш ніж двократні (середні) флуктуації фону щодо постійної складової при максимальних відхиленнях від середнього, та досягають 5-7 кратних значень. Проте, задача виділення сигналу, обумовленого радіоактивними газоаерозольними викидами АЕС, може бути теоретично обґрунтована і практично вирішена.

Для вирішення цієї задачі ми пропонуємо оригінальний експрес-метод оперативного та достовірного контролю газоаерозольних викидів АЕС. В основі даного методу лежить поєднання двох методів: методу динамічного аналізу нестаціонарних радіоактивних полів [4] та інформаційного методу виявлення нестаціонарних джерел радіоактивного випромінювання [5].

Нехай на детектор приходять випадковим чином γ -кванти або заряджені частинки, які породжують імпульси напруги. Реєструється час приходу t_i та енергія кожного з них. Обробка сигналів, що прийшли, методом динамічної вибірки проводиться наступним чином. Від моменту t_i приходу кожного i -го імпульсу відкладається назад інтервал часу τ , який будемо називати *вікном перегляду*. Випадкове число, рівне кількості імпульсів у вікні перегляду перед i -м імпульсом позначимо як $n_i(\tau)$, причому індекс i опускається, коли мова йде про число n як таке. Число $n_i(\tau)$, при заданому i підраховується як

$$n_i(\tau) = \max_l(i-l) \quad (1)$$

за умови, що $t_l \geq t_i - \tau$.

Потім підраховуються такі ж величини для $(N-l)$ -го імпульсів, що передують i -му. Після цього визначається кратність кожного числа $n(\tau)$ в межах вікна усереднення, яку позначають як k_n :

$$k_n = \sum_{j=1}^{i-(N-1)} \delta_{n,n_j(\tau)}, \quad (2)$$

де: $\delta_{n,m}$ - символ Кронекера.

Починаючи з деякого імпульсу $i_s > N$, такого що можна відкласти назад від нього N імпульсів і час τ від $(i_s - N + 1)$ -го, обчислюються частоти зустрічі n імпульсів у вікні усереднення:

$$\Omega_n(t_i, \tau) = \frac{k_n}{N}, \quad (3)$$

і будується гістограма — розподіл частот $\Omega(n)$ для кожного i -го імпульсу, що приходить, при одному і тому ж τ для всіх моментів t_j . Ця характеристика вибірки, що складається з N випадкових чисел $n_i(\tau)$, є динамічною, оскільки її поведінка залежить від часу, який через момент t_i входить у визначення кратності k_n .

Даний метод дозволяє із заданою достовірністю за мінімальний час визначити характеристики:

- нестаціонарного джерела, що діє разом з відомим фоновим випромінюванням;
- стаціонарного слабоінтенсивного джерела, що діє разом з відомим фоновим випромінюванням.

Експеримент і результати

Будемо вважати, що слабоінтенсивне джерело має постійну активність, яка складає малу частку від фону. Для її виявлення будемо застосовувати метод динамічної вибірки з програмним перемиканням двох режимів детектора: "фон" і "фон + джерело".

У режимі "фону" будемо програмно створювати образ фону із заздалегідь визначеним за дійсним фоном параметром a . Випадкові імпульси будуть створюватись датчиком випадкових чисел відповідно до розподілу Пуассона $P_n(n_0\tau)$. Для достовірного визначення інтенсивності фону проводимо всі вимірювання і розрахунки відповідно до наведеної вище методики. Визначаючи інтенсивність фону n_0 , ми таким чином знаходимо ширину вікна перегляду τ , яка вже не буде змінюватись.

У режим "фон + джерело" будемо програмно переходити в деякий момент t^* та будемо знаходитись в ньому до моменту $t^* + T$, після чого знов повернемося в режим фону. Потім весь процес повторюється знову або припиняємо вимірювання, якщо отримаємо достовірний результат. Тоді тимчасову залежність $n_c(t)$ можна представити як елементарне нестационарне джерело

$$n_c(t) = \begin{cases} n_c, t \in (t^*, t^* + T), \\ 0, t \notin (t^*, t^* + T), \end{cases} \quad (4)$$

де: $n_c = const$ - інтенсивність джерела.

Для набору достатньої статистики в цьому режимі необхідно оптимально вибрати час експозиції джерела $T - \tau$, щоб за цей час число імпульсів у вікні усереднення було також статистично спроможним, як і при вимірюванні фону. Для виключення флуктуацій можна використовувати оцінку $T \geq 2(T_{\min} - \tau)$. Якщо тепер в цьому тимчасовому інтервалі використовувати метод максимальної правдоподібності, то ми отримаємо шукане значення n_c . А це єдиний невідомий параметр в даній моделі, оскільки при програмному перемиканні режимів детектування момент t^* ми задаємо самі.

Проведено моделювання роботи комплексу з вимірювання слабоактивного джерела випромінювання. Вважається, що випромінювання джерела складає 40% від інтенсивності фону і може перекриватися від входу в детектор на заздалегідь встановлений час, тоді як фонове випромінювання діє постійно. Згідно [4], таке випромінювання повинно тільки трохи змінювати форму розподілу Пуассона, зменшуючи значення до і збільшуючи їх після середнього значення. Оскільки така зміна незначна, то для його детектування традиційними методами необхідний значний час. В результаті переривань випромінювання джерела, у варіаціях форми гістограм, побудованих згідно [5], з'явиться змінна складова відомої частоти. Тоді можливе застосування інформаційного методу, який дозволить порівняти гістограми фонового випромінювання та джерела і провести аналіз характеристик джерела.

На рис. 1 наведено приклад ряду гістограм, отриманих за допомогою описаної методики в модельному експерименті. Для цього був змодельований ряд випадкових часів приходу імпульсів від джерела, який дає на детекторі в середньому 20 імпульсів за секунду, і фону інтенсивністю 50 імпульсів/сек. Перемикання режимів фон/(фон+джерело) проводилося кожні 10 секунд, інтервал усереднення вибраний 300 імпульсів, а вікно перегляду – 0,2 секунди. Перша гістограма взята в режимі тільки фонового випромінювання під кінець 10-ої секунди спостереження, а п'ята – в режимі фон+джерело під кінець 20-ої. Друга і шоста гістограми взяті на 12-ій і 22 секундах, а третя і четверта – на 16-ій і 19 секундах. Підкреслимо, що вказані гістограми є випадковими, ніколи не повторюються, а їх форма відрізняється від розподілу Пуассона. Їх візуальний аналіз показує, що гістограми на 10-ій і 20-ій секундах, напевно, мають різні середні значення, проте в польових умовах це можна відмітити тільки при багатократному повторенні періоду перемикань.

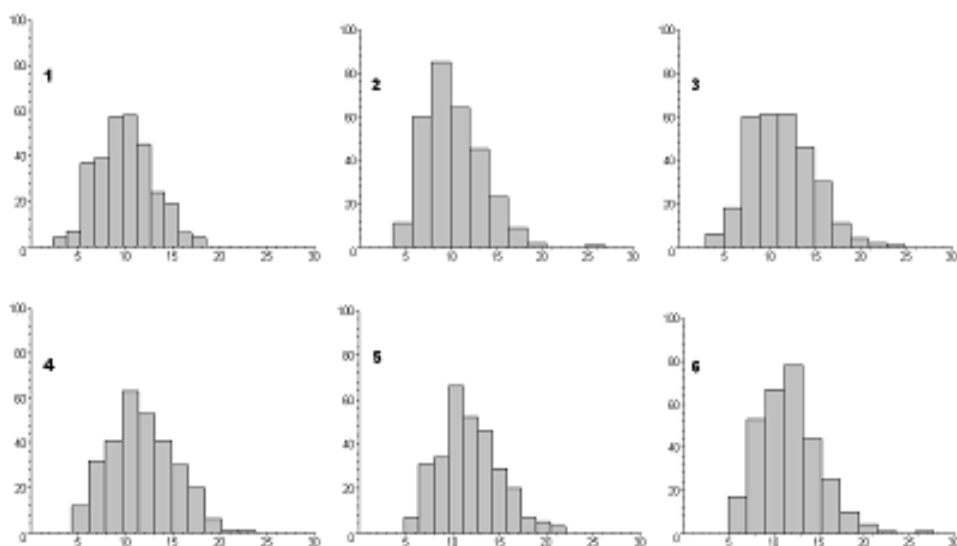


Рис. 1. Гістограми, отримані для модельного фону потужністю $I_p=50$ імп/сек та джерела з інтенсивністю $I_s=0,2I_p$. Подробиці в тексті

Проте, проведений чисельний аналіз для ряду гістограм, отриманих на інтервалі близько трьох хвилин, показав, що у випромінюванні, яке детектується, присутня змінна компонента з періодом близько 10 сек, а інтенсивність додаткового джерела складає близько 35% з довірчою імовірністю близько 66%.

На рис. 2 представлена часова розгортка модельних гістограм в напівтонах для випадку: фон 100, сигнал 40 імп/сек, час перемикавання 10 сек, інтервал усереднення 300 імп., і вікно перегляду 0,15 сек (в середньому 15 імп.). По осях абсцис і ординат відкладено число імпульсів у вікні перегляду і число імпульсів, що прийшли (десятків), пропорційне часу. Інтенсивність сірого тону забарвлення пропорційна амплітуді гістограми. Видно чітку зміну в локалізації гістограми в межах від 15 до 21 імп., яка коливається в середньому з періодом близько 2350 імп. Легко бачити, що перші дві цифри дають початкові інтенсивності, а третя – початковий період перемикавання. Відзначимо, що інші модельні приклади аналізу дають результати такого ж типу.

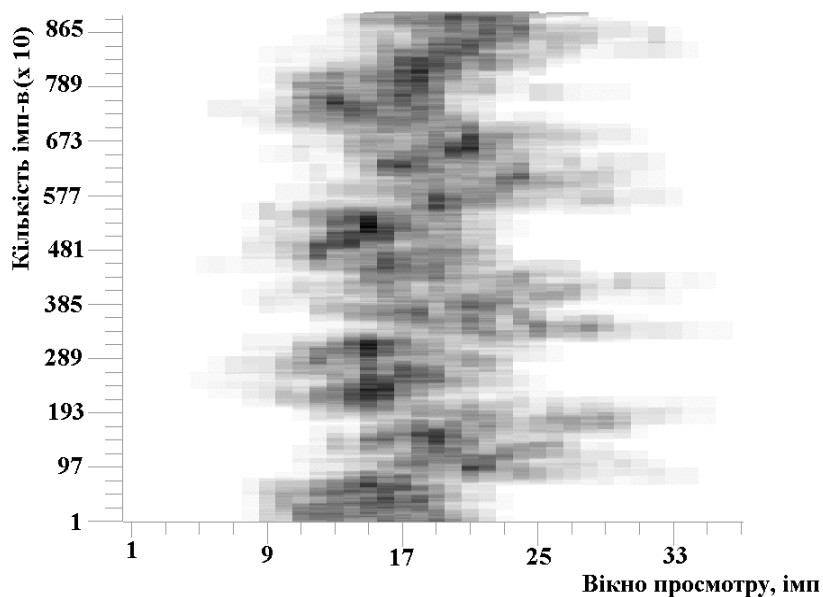


Рис. 2. Часова розгортка динамічних гістограм, модельний фон $I_p=100$ імп/сек, сигнал від джерела $I_s=40$ імп/сек, перемикавання 10 сек, вікно перегляду 0.15 сек, інтервал усереднення 300 імп.

Висновки

У роботі запропоновано і модельно перевірено експрес-метод оперативного контролю газоаерозольних викидів АЕС, який має високу ефективність застосування при нормальному та аварійному режимах роботи станції. Основні особливості методу:

- застосування розвинутого аналітичного математичного апарату часових рядів, використання характеристичних моделей;
- виявлення особливостей характеру флуктуацій радіоактивного аерозольного викиду і фону;
- висока «миттєва» чутливість детектуючої системи;
- вибір оптимального діапазону вимірювань, організація оптимального тракту обробки інформації, адаптивне управління процедурою вимірювання, оцінка достовірності вимірювальної інформації.

За допомогою запропонованого експрес-методу можливе вирішення наступних задач:

- неперервний контроль газоаерозольних викидів АЕС через вентиляційну трубу;
- оцінка параметрів джерела аномального або аварійного викиду;
- безперервна реєстрація даних, з виділенням тих даних, які перевищують встановлені порогові значення;
- оперативне та достовірне визначення рівня радіоактивності газоаерозольних викидів АЕС.

1. Makhijani A. Radioactive Rivers and Rain: Routine Releases of Tritiated Water From Nuclear Power Plants // Science for democratic action. – 2009. – V.16(1). – P. 3.

2. Григорьева Л.И. Радиационная нагрузка на человека в районе АЭС // Ядерная радиационная безопасность. – 2010. – № 1. – С. 19-23.

3. Забулонов Ю.Л., Лисиченко Г.В., Коростиль Ю.М., Ревунова Е.Г. Выявление источников радиоактивного излучения при помощи метода независимых компонент // 36.наук.пр. ИПМЕ ім. Г.Є.Пухова «Моделювання та інформаційні технології» – К., 2009. – Вип. 52. – С. 73-80.

4. Пат. 22444 Україна. Спосіб динамічного аналізу нестаціонарних радіаційних полів / Забулонов Ю.Л., Лисиченко Г.В., Макарець М.В. – Заявл. № u200612043 16.11.06; опубл. 25.04.2007, Бюл. № 5.

5. Буртняк В.М., Забулонов Ю.Л., Золкін І.О., Дивизнюк М.М., Гончаренко Ю.Ю. Виявлення нестаціонарних джерел радіоактивного випромінювання шляхом застосування інформаційного методу // Сучасний захист інформації. – 2011. – № 2. – С. 100-106.

Ю.Л. Забулонов, В.М. Буртняк, І.О. Золкін

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС

Предлагается метод, позволяющий проводить оперативный контроль уровня радиоактивности газоаэрозольных выбросов АЭС. Рассмотрены основные особенности метода и его применение.

Yu.L. Zabulonov, V.M. Burtnyak, I.O. Zolkin

APPLICATION OF RAPID METHOD FOR EFFICIENT CONTROL OF AEROSOL AND GASEOUS RELEASES FROM THE NUCLEAR POWER PLANT

A new rapid method allows carrying out efficient control of the radioactivity level of aerosol and gaseous releases from the nuclear power plant is proposed. The main features of the method and its application are considered.