

**О.В. Алексєєва, Г.В. Лисиченко,
Ю.Л. Забулонов, В.М Буртняк, Л.А. Одукалець**

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ України», Київ

МОНІТОРИНГ ТА КОНТРОЛЬ НАД АЕРОЗОЛЬНИМИ РАДІОАКТИВНИМИ ВИКИДАМИ АЕС



Обґрунтована необхідність створення нових технологій та технічних засобів для виявлення аерозольних радіоактивних викидів АЕС та встановлення моніторингу і контролю над ними в режимі реального часу. Наведені основні технічні характеристики створеного комплексу контролю за α - та β -випромінюванням радіоактивних аерозолів. Наведені його основні відмінності від існуючих прототипів.

Ключові слова: α - та β -випромінювання аерозолів, моніторинг, спектрометр.

Україна є однією з провідних держав в контексті використання ядерної енергії в мирних цілях. Після закриття Чорнобильської АЕС в Україні діють чотири атомні електростанції з 15-ма енергоблоками та два дослідницькі реактори.

Навіть при абсолютній надійності і безаварійній роботі будь-яка АЕС істотно впливає на навколишнє середовище через газоаерозольні (зокрема, радіоактивні) викиди в атмосферу. Ці викиди представляють інтерес як найменш контрольовані після їх виникнення. Так, реактор типу ВВЕР утворює в рік на 1 ГВт електроенергії близько 40 000 Кі радіоактивних газоаерозольних відходів, а реактори типу РБМК, BWR і GCR — ще більше (див. табл. 1) [1].

Більшість радіонуклідів, що містяться в газоаерозольних викидах, утримуються фільтрами або швидко розпадаються, втрачаючи радіоактивність, але серед них є ще значна кількість, що потрапляє в оточуюче середовище та забруднює його.

Крім звичайних газоаерозольних викидів час від часу будь-яка АЕС неминуче викидає в атмосферу аерозолі, які утворюються в результаті корозії реактора і першого контуру. Ці аерозолі містять радіонукліди, що є продуктом поділу ядер урану. Серед радіонуклідів найбільш значущими є:

- ✦ хром-51, період напіврозпаду — 27,8 діб;
- ✦ магній-54 — 280 діб;
- ✦ кобальт-60 — 5,26 років;
- ✦ ніобій-95 — 35,1 діб;
- ✦ рутеній-106 — 368 діб;
- ✦ церій-144 — 284 діб.

На рис. 1 наведена динаміка сумарних річних викидів довгоживучих радіонуклідів з АЕС України (з реакторами типу ВВЕР) за період 1998–2002 рр. (МБк/рік).

Про масштаби газоаерозольного забруднення оточуючого середовища свідчать такі дані [1]:

- ✦ сумарна величина дозволених (або запланованих) викидів від усіх існуючих АЕС у світі впродовж усього терміну їх експлуатації перевищує загальну величину викиду ЧАЕС у 1986 р.;
- ✦ 100 АЕС світу протягом 25-и років роботи легально викидають у чотири рази більше

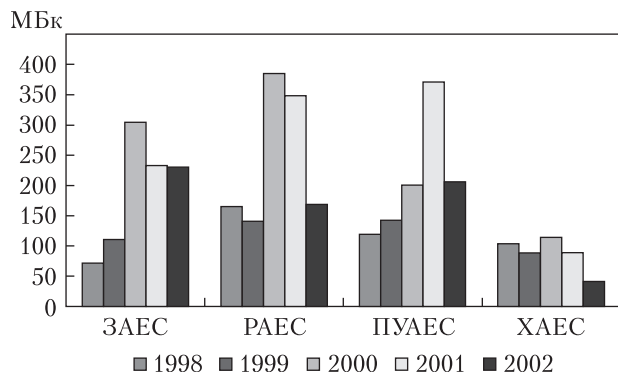


Рис. 1. Динаміка викидів довгоживучих радіонуклідів з атомних електростанцій України

радіонуклідів цезію-137 (одного з найбільш небезпечних), ніж було викинуто в атмосферу в результаті Чорнобильської катастрофи.

Потрапляючи в біосферу, радіоактивні ізотопи або продукти їх розпаду зрештою залучаються в біохімічні та біофізичні процеси, які протікають всередині кожного живого організму. Деякі з них небезпечні для всього живого навіть у малих дозах, оскільки можуть серйозно порушити налагоджені протягом мільярдів років еволюції процеси обміну речовин.

Згідно з «Основними санітарними правилами протирадіаційного захисту України» [2] на всіх радіаційних об'єктах з техногенними джерелами іонізуючого випромінювання необхідно проводити комплекс заходів з радіаційної безпеки, основою якої є систематичний контроль за радіаційною обстановкою та її оцінка.

Неодмінною умовою створення системи ефектної радіаційної безпеки є необхідність здійс-

нення всебічного постійного і оперативного контролю як за радіаційною обстановкою, якою б складною вона не була, так і за джерелами радіаційного випромінювання.

Основним джерелом інформації при проведенні радіаційного контролю є вимірювання, які виконуються за допомогою спеціальної апаратури (систем, комплексів і окремих приладів) і направлені на інформаційне забезпечення процесу контролю.

Серед завдань, що вирішуються при проведенні радіаційного контролю, необхідно виділити задачу вимірювання радіоактивності газоаерозольних викидів і повітря навколишнього середовища. Згідно з існуючими нормативними документами завдання радіаційного контролю над газоаерозольними викидами з енергоблоків АЕС є особливо важливим, оскільки контрольовані параметри характеризують і безпеку експлуатації АЕС. На підставі всестороннього аналізу радіоактивних аерозолів і їх ізотопного складу в першому і другому контурах реактора можна зробити висновок про характер несправності, ступеню її небезпеки для обслуговуючого персоналу і про заходи щодо нормалізації радіаційної обстановки.

Газоаерозольні викиди на АЕС контролюються за допомогою автоматизованих засобів радіаційного контролю (ЗРК) (штатні радіометри російських і зарубіжних виробників), а також лабораторними методами, які базуються на відборі і вимірюванні активності проб контрольованого газоаерозольного середовища.

Таблиця 1

Середня кількість радіоактивних газоаерозольних викидів різних реакторів

Тип реактора	Інертні радіоактивні гази Кі/добу	Йод-131 10^{-3} Кі/добу	Довгоживучі радіонукліди 10^{-3} Кі/добу	Тритій Кі/добу
РБМК	5500	80	16	1,3
ВВЕР	220	1,7	4,5	5,9
GCR	2320	1,4	1,4	5,4
BWR	2200	9,3	43	3,4
HWR	210	0,23	0,04	670

Процес контролю радіоактивності аерозольних викидів може бути поточним, оперативним і аварійним. Поточний контроль здійснюють за допомогою стаціонарної апаратури, оперативний контроль — за допомогою переносної апаратури. Характерною особливістю всіх сучасних штатних радіометричних установок контролю над активністю аерозолів є неможливість вимірювання радіонуклідного складу і, як наслідок, об'ємної активності регламентованих нуклідів. Це унеможливує проведення контролю над викидами аерозолів з АЕС за допомогою штатних ЗРК відповідно до вимог «Санітарних правил проектування і експлуатації АЕС СПАЕС-88» [3].

Сьогодні для встановлення радіонуклідного складу та об'ємної активності виявлених в аерозольному викиді нуклідів використовуються лабораторний метод. За допомогою цього методу контроль над викидом аерозолів здійснюється шляхом пропускання газоаерозольного середовища (проби його відбираються в контрольних пунктах) через аналітичні фільтри АФА з подальшим вимірюванням активності радіонуклідів в приготованих певним чином концентрованих зразках в лабораторному приміщенні з використанням спектрометричного комплексу. Значення контролюваного лабораторними методами викиду аерозолів залежить від умов відбору проб, кількості прокачаного через фільтр повітря, часу експонування аерозольного фільтра, а також метрологічних і технічних характеристик спектрометричної установки, на якій проводиться вимірювання.

Таким чином, лабораторні методи контролю над викидами аерозолів дають можливість отримувати результати контролю відповідно до вимог СПАЕС-88, але вони можуть бути одержані з запізненням і вимагають невиправдано великих тимчасових витрат і людських ресурсів.

Універсальні монітори-спектрометри з автономним живленням, які були б здатні проводити з високою достовірністю як безперервні ви-

мірювання α - та β -випромінювання аерозольних викидів АЕС протягом декількох місяців, так і оперативний контроль над радіаційною обстановкою, сьогодні на ринку відсутні.

Проведений аналіз сучасних приладів контролю над радіоактивними аерозолями показав, що виникла необхідність розробки нового інтелектуального портативного багатофункціонального приладу α - та β -випромінювання для моніторингу та вимірювання викидів радіоактивних аерозолів з АЕС.

ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ

Головною вимогою до проведення контролю над активністю радіоактивних аерозолів є його безперервність, точне визначення концентрації аерозолів і максимальна швидкість одержання результатів в часі. Переносна штатна апаратура не може забезпечити ці вимоги до контролю над концентрацією та активністю аерозолів. Тому необхідні прилади, що діють безперервно і в яких операції по відбору проб аерозолів, вимірювання активності та переміщення фільтра були б автоматизовані.

Проби аерозолів відбирають аспіраційним методом, суть якого полягає в фільтрації певного обсягу досліджуваного повітря через різні фільтруючі тканини (наприклад, ФПП-15 — фільтруюча перхлорвінілова тканина Петрянова) [4]. Для того щоб фільтр не забруднювався, його необхідно покадрово переміщувати. Час відбору проби залежить від чутливості приладу, а також від об'єму повітря, яке прокачується через фільтр. Концентрація радіоактивних аерозолів визначається шляхом вимірювання активності фільтра, на якому були затримані аерозолі при прокачуванні повітря. Час вимірювання активності фільтра і покадрове переміщення фільтра при високій чутливості приладу значно менші порівняно з часом відбору проби. Тому час циклу вимірювання визначається, в основному, часом відбору проби.

Важливою характеристикою фільтра є коефіцієнт затримки аерозолів, який залежно від

швидкості прокачування повітря і щільності матеріалу фільтра коливається від 0,80 до 0,99 і дорівнює в середньому 0,9. Для забезпечення ефективної роботи фільтра необхідно виключити можливість потрапляння на нього атмосферних опадів (неприпустиме використання мокрих фільтрів).

Обсяг повітря, яке відбирається (прокачується через фільтр) для проби, залежить від сумарної об'ємної радіоактивності аерозолів. У кожному конкретному випадку на фільтрі повинна бути накопичена така активність, яка давала б можливість за регламентований час виміряти її із заданою точністю. Ця умова визначає вибір продуктивності фільтрувального пристрою, а також розмірів фільтра.

Нехай у контролюючому приладі операції відбору проби і вимірювання активності фільтра суміщені, тобто проводяться одночасно. У цьому випадку детектор для вимірювання активності фільтра повинен розміщуватися безпосередньо над вікном відбору і знаходитися в потоці повітря, яке буде досліджуватися.

Активність A фільтра в процесі відбору проби за час t буде обчислюватись за формулою

$$A = \frac{EQC}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}),$$

де E — ефективність уловлювання аерозолів фільтром; Q — об'ємна витрата повітря через фільтр; C — концентрація радіоактивних аерозолів; λ — постійна радіоактивного розпаду аерозолів.

Наведений вираз дає можливість не тільки оцінити чутливість вимірювання концентрації аерозолів і вибрати оптимальні параметри вимірювальної апаратури, але і обчислити поправку на радіоактивний розпад у процесі відбору проби.

«Мертвий час» приладу з покадровим переміщенням фільтра (час, протягом якого є нечутливим до зміни концентрації аерозолів) визначається часом переміщення фільтра та часом відбору проби. При розташуванні детектора безпосередньо в потоці досліджуваного повітря

досягається мінімальна інерційність приладу і мінімізація часу перехідних процесів.

Відомо, що в атмосферному повітрі завжди міститься невелика кількість радону і торону — газоподібних радіоактивних еманцій радю, торію, а також продуктів їх розпаду. Концентрація природних радіоактивних ізотопів в атмосферному повітрі протягом доби досягає в окремих випадках більше 10^{-13} Кі/л. У деяких випадках концентрації активних природних ізотопів у повітрі є значно більшими, ніж гранично допустимі концентрації найбільш небезпечних з біологічної точки зору штучних технологічних α - та β -активних ізотопів. Тому вимірювання малих концентрацій α - та β -активних аерозолів на рівні природної аерозольної активності пов'язане з великими труднощами.

Для виключення природних радіоактивних аерозолів при безперервному контролі можна скористатися тією обставиною, що енергія вказаних ізотопів є відомою, і за наявності системи вимірювання, яка може розділити випромінювання радіоактивних аерозолів по енергіях, можна усунути вплив продуктів розпаду радону та торону на результати вимірювання концентрації штучних аерозолів.

ОСНОВНІ ФУНКЦІ І КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ

Аналіз вимог, що висуваються до сучасних технічних засобів контролю над радіоактивними аерозольними викидами АЕС, показує, що на сьогодні актуальним є прилад з такими функціями [5]:

- ✦ безперервний контроль повітря та індикація концентрації радіоактивних аерозолів з α - та β -випромінюванням;
- ✦ мінімальний час виявлення радіоактивних викидів і ідентифікації ізотопного складу та їх кількісних характеристик;
- ✦ багатоканальна спектрометрія випромінювання та обробка інформації в режимі *on line*;
- ✦ прийнятна похибка одержаних результатів;
- ✦ можливість порівняння обробленої інформації з контрольними рівнями;

- ✦ наявність звукової та світлової сигналізації при перевищенні порогів;
- ✦ наявність фільтр-касети, що забезпечує довготривалу роботу приладу;
- ✦ малі габарити;
- ✦ достатній час роботи від акумуляторної батареї та можливість роботи від мережі.

Сучасний спектрометр α - та β -випромінювання радіоактивних аерозолів повинен забезпечувати високий рівень автоматизації контролю, мати високі спектрометричні параметри, сучасні програми обробки даних, малі габарити, масу та вартість, а також забезпечувати тривалий термін автономної роботи.

У рамках даного проекту був розроблений експериментальний комплекс для моніторингу і контролю над радіоактивними аерозольними викидами з АЕС у реальному часі. До складу устаткування пропонуваного комплексу включені апаратні засоби, що дозволяють проводити виявлення, ідентифікацію та вимірювання в оточуючому середовищі об'ємної активності (ОА) аерозолів з твердою дисперсною фазою, а саме детектори іонізуючого α - та β -випромінювання і мікропроцесорний контролер для проведення обчислень у реальному часі.

Для можливості проводити моніторинг радіоактивних аерозолів у віддаленому від «центрального поста» місці комплекс обладнаний системою передачі даних.

Структурна схема мобільного комплексу представлена на рис. 2.

Для вимірювання спектрів α - та β -частинок на повітряному фільтрі після або під час прокачування через нього повітря використовуються два напівпровідникові детектори (НПД) з особливо чистого кремнію з характеристиками, наведеними в табл. 2. Для осадження аерозолів у системі використовується фільтрувальна стрічка типу ЛФС-2-50. Стрічка намотується на котушку, що забезпечує зручність при її заміні. Покадрове переміщення стрічки здійснюється кроковим двигуном типу INNOSTEP CSD-1.2-2.6-1. Управління кроковим двигуном здійснюється мікропроцесорним контролером.

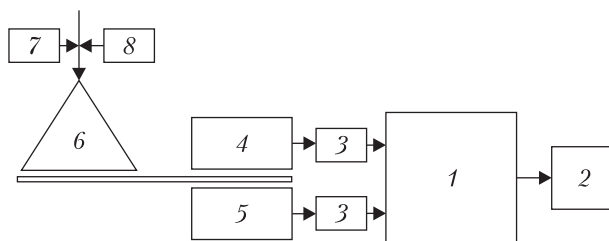


Рис. 2. Структурна схема пристрою: 1 – мікропроцесор з АЦП; 2 – дисплей; 3 – попередній підсилювач; 4 – НПД α -випромінювання; 5 – НПД β -випромінювання; 6 – система прокачування повітря; 7 – повітродувка; 8 – датчик швидкості прокачування повітря

Отримані спектри та дані щодо витрати і обсягу повітря обробляються мікроконтролером. Ізотопний склад знаходиться по α - та β -лініях.

Такий комплекс відрізняється від існуючих прототипів такими характеристиками:

- ✦ можливість роботи в польових умовах;
- ✦ портативний варіант приладу;
- ✦ клієнт-серверна архітектура комплексу;

Таблиця 2

Технічні характеристики пристрою

Фільтр	ЛФС-2-50
Площа детектора	5 см ²
Шум детектора і каналу підсилення	20 кеВ
Енергетична роздільність	60 кеВ
Швидкість прокачування повітря	20 л/хв
Кількість каналів (розрядність)	1024
Діапазон амплітуд	0 + 5 В
Вхідний хвилевий опір	50 Ом
Максимальна частота вхідних імпульсів	<1 Мгц
Мінімальна тривалість вхідних імпульсів	250 нс
Чутливість	5 мВ/кан
Інтегральна нелінійність, не гірше	10 ⁻³
Диференціальна нелінійність	50 %
Максимальний об'єм пам'яті	2 ³² біт
Температурний діапазон	-10 °С ++ 40 °С
Температурний коефіцієнт чутливості	10 ⁻⁴ °С
Інтерфейс комп'ютера	Wi-Fi
Напруга живлення	12 В
Споживана потужність, не більш	5 Вт

- ✦ проведення неперервних (режим моніторингу) і інтерактивних (експресних) вимірювань;
- ✦ час прокачки повітря, тривалість вимірювання і пауза між вимірюваннями в режимі моніторингу регулюються оператором;
- ✦ збереження виміряних спектрів в незалежній пам'яті (1 Гб пам'яті — більше ніж 6 місяців безперервної роботи);
- ✦ візуалізація інтегральних і усереднених виміряних значень;
- ✦ побудова графіків трендів інтенсивності радіоактивних аерозолів з α - та β -випромінюванням у точці проведення моніторингу;
- ✦ ведення бази даних вимірювань;
- ✦ формування звітів;
- ✦ документування інформації;
- ✦ видача узагальненого сигналу про перевищення гранично допустимого рівня викидів;
- ✦ передача результатів вимірювань на відстань;
- ✦ діагностика технічних засобів комплексу;
- ✦ дистанційне керування технічними засобами комплексу.

При розробці комплексу для контролю над α - та β -випромінюванням радіоактивних аерозольних викидів АЕС розробниками були застосовані нові ідеологічні, технічні та технологічні принципи побудови приладів такого типу. Відповідно до цих принципів мобільний високочутливий α - та β -спектрометр для контролю радіоактивних аерозолів характеризується:

- ✦ високим рівнем інтелектуалізації процесу вимірювань;
- ✦ наявністю функції автоматичного калібрування;
- ✦ алгоритмічною корекцією помилок;
- ✦ лінеаризацією вимірювальних характеристик;
- ✦ адаптацією до різних умов проведення вимірювань;
- ✦ виділенням сигналів, які представляють інтерес, з фонових за певними ознаками.

ВИСНОВКИ

1. Створено експериментальний зразок монітора для вимірювання α - та β -випромінювання радіоактивних аерозольних викидів АЕС.

2. Існує можливість отримувати спектри будь-якого α - та β -випромінювання у режимі реального часу з подальшою їх програмною обробкою і аналізом.

3. Прилад може надійно працювати без участі оператора протягом тривалого періоду від автономного джерела живлення і дає можливість отримувати тренди даних з ОА радіоактивних аерозолів, які контролюються. Має низьку вартість, що забезпечує можливість масового тиражування.

4. Забезпечена висока надійність контролю, оскільки інтервал між послідовними вимірюваннями в одній точці може бути зведеним до нуля.

5. Прилад може бути використаний як базовий елемент автоматизованої системи безперервного контролю над радіаційною безпекою на підприємствах атомної і добувної промисловості.

Удосконалення та впровадження нових інструментальних засобів вимірювання випромінювання радіоактивних аерозолів у викидах з АЕС забезпечить можливість здійснення дистанційного контролю і моніторингу та створить умови для виключення «людського фактора» в механізмі прийняття важливих рішень для екологічної безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бекман И.Н. Ядерная индустрия. Курс лекций. — М: Наука, 2005. — 22 с.
2. ДСП 6.074.120-01 «Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України», затверджені наказом Головного державного санітарного лікаря від 29.11.2002 № 433.
3. СП АЭС—79. Санітарні правила проектування та експлуатації атомних електростанцій.
4. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.П. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. — М.: Знание, 1968. — 78 с.
5. Забулонов Ю.Л., Буртияк В.М. Золкин И.О. Анализ методов контроля газоаэрозольных выбросов АЭС // Зб. наук. пр. ШМЕ ім. Г.Є. Пухова «Моделювання та інформаційні технології». — К., 2011. — Вип. 59. — С. 104—111.

Е.В. Алексеева, Г.В. Лисиченко,
Ю.Л. Забулонов, В.М. Буртняк, Л.А. Одукалец

МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛЬ
НАД АЭРОЗОЛЬНЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ
ВЫБРОСАМИ АЭС

В работе обоснована необходимость создания новых технологий и технических средств для выявления аэрозольных радиоактивных выбросов АЭС, а также организации мониторинга и контроля над ними в режиме реального времени. Приведены основные технические характеристики созданного комплекса контроля над α - и β -излучением радиоактивных аэрозолей. Приведены его основные отличия от существующих прототипов.

Ключевые слова: α - и β -излучения аэрозолей, мониторинг, спектрометр.

E. Alekseeva, G. Lisichenko,
Y. Zabolonov, V. Burtnyak, L. Odukalets

MONITORING AND CONTROL OF NPP
RADIOACTIVE AEROSOL EMISSIONS

The necessity of new technologies and technical equipment for detection of aerosol radioactive emissions of NPP and establishment of real-time monitoring and control over them is proved. Basic technical descriptions of created complex for the control of α - and β -radioactive aerosols is presented. Its main differences from existing prototypes are given.

Keywords: α - and β -radioactive aerosols, monitoring, spectrometer.

Стаття надійшла до редакції 03.04.12

**Определены
полуфиналисты
Всеукраинского
конкурса
«ИННОВАЦИОННЫЙ
ПРОРЫВ — 2012»**

Решением экспертного комитета 90 из 330 проектов, зарегистрированных для участия в новом сезоне Всеукраинского конкурса «Инновационный прорыв — 2012», вышли в полуфинал конкурса. Из них по направлениям: информационные технологии и телекоммуникации — 51 проект; энергетика, альтернативные источники энергии — 3 проекта; медицина, биотехнологии и фармацевтика — 11 проектов; экология и ресурсосбережение — 12 проектов. Молодежных проектов — 35, из них 13 школьных и 22 студенческих.



Для полуфиналистов «Инновационного прорыва» предусмотрена обучающая программа, состоящая из двух блоков. Первый блок будет посвящен разработке бизнес-модели. Основным результатом второго блока обучающей программы станет профессионально составленное Executive Summary — сводное резюме каждого проекта. На основании составленных резюме экспертный комитет отберет финалистов — 20 проектов. 7 декабря 2012 года финалисты представят свои проекты перед экспертами и инвесторами из Украины и Кремниевой Долины в формате road show — 3 минуты на презентацию проекта и 3 минуты на вопросы и ответы.



Победитель конкурса будет объявлен в тот же день на традиционной торжественной церемонии награждения. Победитель получит два главных приза от партнеров конкурса — программу развития своего проекта в бизнес-инкубаторе Happy Farm и 10 000 дол. США от CRDF Global.

По материалам <http://ukrinnovation.com>