

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

Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України, Київ

ПОРТАТИВНИЙ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ МОНІТОР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ α -ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДОНУ В ОТОЧУЮЧОМУ СЕРЕДОВИЩІ



В роботі обґрунтована необхідність створення нових технологій та технічних засобів контролю і моніторингу радону в оточуючому середовищі в режимі реального часу. Наведено основні технічні характеристики створеного монітора для вимірювання α -випромінювання радону в навколишньому середовищі. Наведено його основні відмінності від існуючих прототипів.

Ключові слова: α -випромінювання радону, портативний монітор.

Природні радіонукліди в довкіллі знаходяться в динамічній рівновазі. В результаті складних природних явищ або внаслідок сільськогосподарської та промислової діяльності людини їх рівновага порушується. Одним з найбільш небезпечних факторів, що негативно впливає на стан здоров'я людини, є надлишок радіоактивних газів радону і торону в оточуючому її середовищі. Зважаючи на широку поширеність радону та дочірніх продуктів його розпаду (ДПР) і високий рівень потенційного ризику для здоров'я людей через високий рівень його концентрації в повітрі та воді, надзвичайно актуальним є завдання виявлення небезпечних концентрацій радону та забезпечення і посилення його радіаційного контролю [1]. Особливо це стосується підприємств, в технологічних процесах яких передбачені реакції з викидом радону і продуктів його розпаду. Господарська діяльність, в ході якої від-

бувається перерозподіл і концентрація природних радіонуклідів, приводить до помітних змін природного радіаційного фону. До таких видів діяльності відносяться видобування і спалювання кам'яного вугілля, нафти, газу, використання фосфатних добрив, добування і переробка руди. Підприємства атомної енергетики, добування і переробки фосфатів, переробки металічних руд та інших сировинних матеріалів, видобутку і використання органічного палива, а також теплоелектростанції спричиняють підвищення радіаційного фону за рахунок технологічного випромінювання.

Найзначнішим джерелом викидів радону та його поширення на великі відстані є високотемпературні процеси виробництва фосфору, заліза, сталі, а також низькотемпературні процеси виробництва цегли та кераміки. Наприклад, у фосфатній промисловості підвищення концентрації радону досягає 35–780 Бк/м³ (при природному вмісті в атмосфері 10 Бк/м³) залежно від сезону і розмірів робочих зон. Природно, що максимальна концентрація радону спостерігається безпосередньо в місцях

переробки; на відстані вона швидко знижується. У зв'язку з цим найбільші дозові навантаження отримують працівники виробництв, дещо менші – населення навколишньої території.

Одним з варіантів вирішення питання захисту людей є посилення контролю за радоною безпекою на таких підприємствах. Безперервний контроль можна інтерпретувати по-різному: це і 100 % охоплення часу робіт звичайним штатним контролем з періодичним виміром активності (потребує збільшення чисельності служби контролю), і безперервний контроль в режимі *on-line*, коли результат контролю видається практично миттєво.

Для підприємств, які в своїх технологіях мають значні аерозольні викиди, контроль радону в режимі *on-line* є новим і непростим завданням, але впровадження на радіаційно-небезпечних ділянках безперервного контролю дасть можливість:

- ✦ здійснювати 100%-ий контроль радонової обстановки;
- ✦ автоматизувати контроль радонових викидів;
- ✦ видавати сигналізацію про перевищення встановлених порогів в кожній окремій точці контрольованої площі;
- ✦ забезпечити оперативність контролю і своєчасність заходів щодо нормалізації радіаційної обстановки при її відхиленнях;
- ✦ зменшити трудовитрати на проведення контролю.

Таким чином, для успішної діяльності підприємства в найближчому майбутньому неминуче впровадження автоматизованого безперервного контролю (часткового або повного) за викидами радону та його ДПР.

НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБКИ ПОРТАТИВНОГО МОНІТОРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ α -ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДОНУ

Ефективне виявлення та контроль за об'ємною активністю радону неможливі без відповідних технологій та відповідних контрольованих вимірювальних приладів.

Устаткування, призначене для цієї мети, включає стаціонарні та переносні пошукові монітори для вимірювання α -випромінювання радону. Монітор для вимірювання α -випромінювання радону – це пристрій, призначений для безперервного вимірювання рівня іонізуючого випромінювання в точці контролю, порівняння виміряних значень з рівнем фонового випромінювання та для сигналізації про перевищення виміряних значень порівняно з фоном. Найчастіше реєстрація і аналіз іонізуючого випромінювання в моніторі здійснюється методом порівняння випромінювання в місці розташування монітора з рівнем фонового випромінювання без врахування значення якої-небудь нормованої характеристики випромінювання. При виявленні підвищеної радіоактивності радону монітор подає сигнали, які підтверджують, що α -випромінювання в точці контролю перевищує межі вибраного порогу по відношенню до зовнішнього радіаційного фону.

Для одержання високої точності результатів об'єктивного і оперативного моніторингу α -випромінювання необхідне одночасне та роздільне визначення спектральних і дозових характеристик випромінювання, а також визначення сумарної дози і параметрів ДПР радону на місці проведення контролю [2].

Можливості використання декількох спектральних ліній (для кожного з ДПР радону) та врахування фону для кожної спектральної лінії забезпечують монітори-спектрометри з високою енергетичною роздільною здатністю. Але моніторів-спектрометрів радіаційного α -випромінювання радону та торону вітчизняного виробництва не існує.

Усі монітори-спектрометри можна умовно розділити на дві групи. *Перша* – це прилади з високою чутливістю і енергетичною роздільною здатністю, але з великими габаритами, масою, енергоспоживанням та вартістю. Використовуються вони в основному в системах радіаційної безпеки на ядерних об'єктах. *Друга* – прилади, що мають малу масу, енергоспоживання і незначну вартість, але при цьому

невисокі чутливість і спектрометричні параметри. Універсальні монітори-спектрометри, які здатні були б з високою достовірністю проводити автономно протягом декількох місяців з автономним живленням як безперервні вимірювання α -випромінювання радону і його ДПР, так і оперативний контроль за радіаційною обстановкою, сьогодні на ринку відсутні.

Проведений аналіз сучасних приладів контролю за радоною обстановкою показав, що настала необхідність розробки нового інтелектуального портативного багатофункціонального монітора для вимірювання α -випромінювання радону в оточуючому середовищі.

Це обумовлено, в першу чергу, тим, що існуючі технічні системи мають недостатні для сучасних умов функціональні можливості, а саме: незадовільний рівень автоматизації процедур контролю; нерозвинену процедуру обміну інформацією; «закритість архітектури»; реєстрацію тільки обмежених характеристик радіаційних полів α -випромінювання. Існуючі прилади неможливо інтегрувати з іншими системами моніторингу та об'єднати в єдину загальну систему контролю за оточуючим середовищем.

Удосконалення та впровадження нових інструментальних засобів вимірювання випромінювання радону в оточуючому середовищі забезпечить можливість здійснення дистанційного контролю та моніторингу та створить умови для виключення «людського фактору» в здійсненні важливих заходів для створення екологічної безпеки.

Сучасний монітор-спектрометр для вимірювання α -випромінювання радону повинен забезпечувати високий рівень автоматизації контролю, мати високі спектрометричні параметри, сучасні програми обробки даних, малі габарити, масу і вартість та забезпечувати тривалий термін автономної роботи.

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ α -ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДОНУ І ТОРОНУ

Кількісна характеристика об'ємної активності радону з наступним визначенням еквівалент-

ної об'ємної активності (ЕРОА) ^{222}Rn і ^{220}Rn (торону) можна визначити за методом Маркова. В основі цього методу лежить властивість радіоактивних аерозолів накопичуватися на поверхні паперового фільтра до рівня, пропорційного об'єму продутого через нього повітря, та розпадатися з швидкістю, яка пропорційна величині постійної розпаду дочірнього радіонукліду.

Алгоритм процесу визначення α -випромінювання радону в повітрі такий:

1) накопичення аерозолів на фільтр методом продування повітря через фільтр (5 хв);

2) витримка паузи (0,5 хв);

3) вимірювання кількості імпульсів — N_1, N_2, N_3 за 5 хв;

4) визначення активності дочірніх продуктів розпаду і величини ЕРОА ^{222}Rn за формулами: об'ємна активність ^{218}Po (RaA), Бк/м³:

$$\text{RaA} = 2,206 \frac{N_1 - 0,545 \cdot N_3}{X};$$

об'ємна активність ^{214}Pb (RaB), Бк/м³:

$$\text{RaB} = 4,686 \frac{N_2}{X} \cdot \Pi_i;$$

об'ємна активність ^{214}Bi (RaC), Бк/м³:

$$\text{RaC} = 0,766 \frac{N_3}{X} (1 - \Pi_i);$$

еквівалентна рівноважна об'ємна активність ^{222}Rn , Бк/м³:

$$\text{ЕРОА } ^{222}\text{Rn} = 0,105 \text{ RaA} + 0,516 \text{ RaB} + 0,379 \text{ RaC};$$

коефіцієнт рухомої радіоактивної рівноваги між ^{222}Rn і його ДПР:

$$F = 0,4372 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{-0,6115};$$

еквівалентна рівноважна об'ємна активність — ЕРОА ^{220}Rn :

$$\text{ЕРОА } ^{220}\text{Rn} = 1,2 \frac{N_3}{X},$$

де N_1, N_2, N_3 — кількість імпульсів в каналах K_1, K_2, K_3 ; $X = \varepsilon \cdot \eta \cdot v$; ε — коефіцієнт затримки аеро-

золів фільтром ($\varepsilon \approx 0,9$); η – коефіцієнт ефективності реєстрації α -частинок у геометрії 2π ($\eta \approx 0,3$ імп/Бк); v – продуктивність повітродувки (20–30 л/хв); Π_i – поправка на зміщення радіоактивної рівноваги відносно значення $F = 0,5$, яке прийняте для обчислення коефіцієнтів робочих формул:

$$\Pi_i = 0,2157 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)_i^{0,3251}.$$

Алгоритм процесу визначення кількості імпульсів α -випромінювання можна записати так:

1) регулярно, з інтервалом δt (наприклад, через кожну 1 с) вимірюється і запам'ятовується значення показників детектора $z(t_i)$, де $t_i = i \cdot \delta t, i = 1, n$;

2) обчислюється значення показників детектора за час $\Delta t = n \cdot \delta t$ – час вимірювань (задається в налаштуваннях оператором, наприклад 5 хв):

$$S = \sum_{i=1}^n Z(t_i);$$

3) визначається кількість імпульсів в інтервалах масиву S :

N_1 : 5,0–6,5 МеВ;

N_2 : 6,5–8,2 МеВ;

N_3 : 8,2–10,0 МеВ.

Алгоритм визначення середніх значень ЕРОА радону за годину, місяць, рік [3] є такий:

1) обчислюється середнє значення показників детектора за заданий період (годину, місяць, рік): n – кількість вимірювань (залежить від тривалості одного вимірювання):

$$\bar{S}_j = (1/n) \sum_{i=1}^n s_i;$$

2) визначається стандартне відхилення значень ЕРОА на заданому періоді від середнього значення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{S}_j - s_i)^2}{n}};$$

3) порівнюється стандартне відхилення, отримане в п.2, з нормативним і приймається

рішення про характер радонового випромінювання.

ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ І ФУНКЦІЇ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО МОНІТОРА ВИМІРЮВАННЯ α -ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДОНУ

Аналіз вимог, що висуваються до сучасних технічних засобів контролю за радоною безпекою, показує, що необхідним на сьогодні є прилад з такими функціями:

- ✦ безперервний контроль повітря та індикація об'ємної α -активності радону;
- ✦ мінімальний час визначення ЕРОА радону і торону, який регулюється;
- ✦ багатоканальна спектрометрія випромінювання в режимі *on-line*;
- ✦ прийнятна похибка одержаних результатів;
- ✦ звукова та світлова сигналізація при перевищенні порогів;
- ✦ фільтр-касета, що забезпечує роботу приладу до 6-и місяців;
- ✦ малі габарити;
- ✦ достатній час роботи від акумулятора та можливість роботи від мережі.

У рамках даного проекту було розроблено експериментальний комплекс для моніторингу радонових викидів в реальному часі і контролю за ними. До складу комплексу входять: мобільний високочутливий α -спектрометр, система передачі інформації і ПК.

Такий комплекс відрізняється від існуючих прототипів такими характеристиками:

- ✦ можливість роботи в польових умовах;
- ✦ портативний варіант приладу;
- ✦ клієнт-серверна архітектура комплексу;
- ✦ проведення безперервних (режим моніторингу) і інтерактивних (експресних) вимірювань;
- ✦ час прокачування повітря, тривалість вимірювання і пауза між вимірюваннями в режимі моніторингу регулюються оператором;
- ✦ збереження виміряних спектрів в незалежній пам'яті (1 Гб пам'яті – більше 6-и місяців безперервної роботи);
- ✦ візуалізація інтегральних і усереднених виміряних значень;

- ✦ побудова графіків трендів інтенсивності α -випромінювань радону і торону в точці проведення моніторингу;
- ✦ ведення бази даних вимірювань;
- ✦ передача результатів вимірювань на відстань.

При розробці багатоканального монітору α -випромінювання радону та торону розробники прагнули освоїти і застосувати нові підходи до побудови приладів такого типу. Відповідно до прийнятої ідеології побудови мо-



Рис. 1. Структурна схема монітора для вимірювання α -випромінювання радону



Рис. 2. Зовнішній вигляд монітора для вимірювання α -випромінювання радону

більний високочутливий α -спектрометр характеризується:

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

Багатофункціональний портативний монітор для вимірювання α -випромінювання радону має певні основні спектрометричні і експлуатаційні характеристики:

Характеристики монітора для вимірювання α -випромінювання радону

Активна площа детектора	20 см ²
Діапазон енергій, що реєструються	від 3 до 10 МеВ
Фільтр	стрічка ЛФС-2-25
Відносна похибка	± 30 %
Чутливість реєстрації α -випромінювання від робочих еталонів типу 1П9 площею 1 см ²	не менше 0,2 Бк / с
Рівень власного фону	не більше 0,002 імп. / с
Нестабільність роботи за 24 години безперервної роботи не перевищує	± 10 %
Максимальна швидкість прокачування повітря	15 л/м
Індикація	РКІ
Об'єм flash-пам'яті	1 Гб
Додаткові датчики	температура
Канал передачі даних	WiFi, GSM
Програмування вставок	меню, дистанційне від ПК
Режими вимірювання	безперервний, експресний
Живлення	автономне, від мережі
Напруга живлення	12 В, 220 В
Розміри	304 × 216 × 100 мм
Вага	5 кг

Прилад застосовується для оцінки активності радону в повітрі та дозволяє аналізувати

динаміку її зміни, сигналізувати про перевищення допустимих санітарних норм вмісту радону в повітрі, а також передавати отримані дані в центр управління або на персональний комп'ютер.

Прилад управляється мікроконтролером і по каналах зв'язку у відповідності до протоколу обміну з комп'ютером. Він може працювати в автоматичному режимі і з автономним електроживленням тривалий час (до 6-и місяців). При проведенні вимірювань спектральні дані накопичуються та разом з даними ідентифікації і програмними вставками фіксуються в енергонезалежній пам'яті. Таким чином, зберігається максимально повна інформація про процес вимірювань. Як фільтр використовується стрічка типу ЛФС-2-25 у вигляді кільця довжиною близько 10 м. Крім того, приладом проводиться синхронне (одночасно з спектром) вимірювання і запис температури.

Програмне забезпечення приладу дозволяє автоматично обробляти спектри, включаючи згладжування, інтерполяцію і екстраполяцію експериментальних даних та автоматичний пошук енергетичних піків у спектрі і визначення всіх параметрів піків (енергія, число сигналів, енергетична роздільна здатність і ін.). Весь спектр поділений на енергетичні зони – по діапазону на всі ДПР радону.

При проведенні вимірювань інформація про питому активності ДПР радону, еквівалентну рівноважну об'ємну активність радону та інша службова інформація виводиться на екран приладу та передається по каналах зв'язку в центр управління. Отже, прилад забезпечує два рівні обробки результатів: автоматичний мікроконтролерний (результати виводяться на дисплей) і більш повний – в центрі управління.

Структурна схема приладу зображена на рис. 1, зовнішній вигляд приладу та результати вимірювання наведені на рис. 2, 3. На рис. 3 показано сумарний спектр сигналів при вимірюванні протягом 3 хв. Видно, що всі піки в спектрі, які відповідають ^{218}Po , ^{214}Po , ^{212}Po ,

упевнено розділяються. ^{218}Po і ^{214}Po відносяться до ланцюжка розпаду радону, а ^{212}Po – до ланцюжка розпаду торону. Прилад має металевий корпус, який не боїться механічних

Количество импульсов

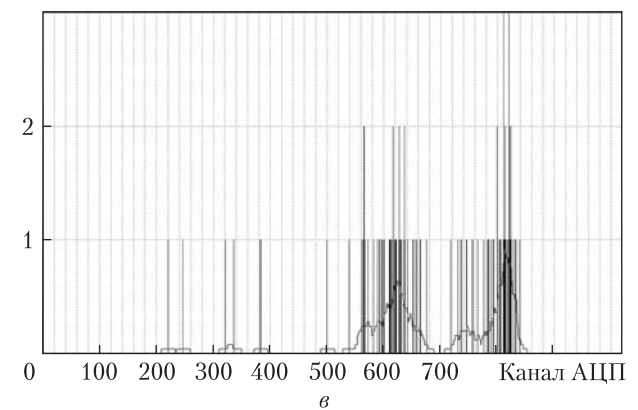
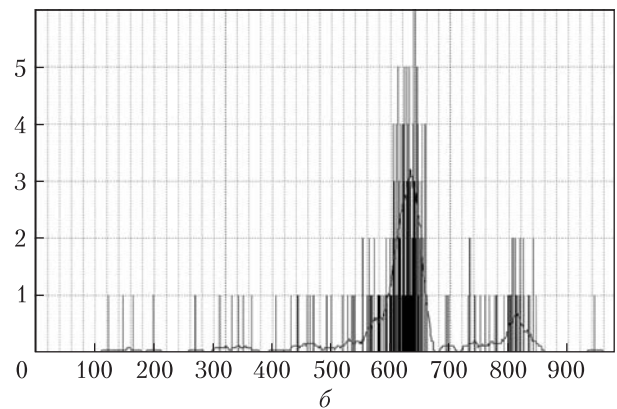
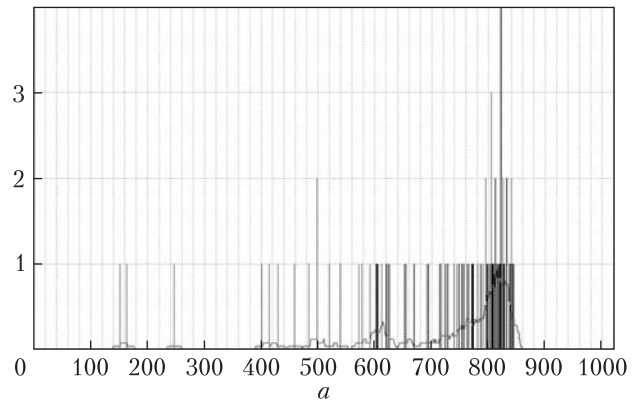


Рис. 3. Результати вимірювання α -випромінювання радону: а – після осадження; б – після паузи 5 хв; в – після паузи 10 хв

ушкоджень. На лицьовій панелі приладу знаходяться екран для відображення результатів вимірів та кнопки управління.

ВИСНОВКИ

1. Створено експериментальний зразок портативного монітора для вимірювання α -випромінювання радону і торону в навколишньому середовищі.

2. Монітор має відмінні спектрометричні і експлуатаційні характеристики і високий радіаційний ресурс, що дозволяє використовувати його для моніторингу високих доз випромінювання.

3. Існує можливість в режимі реального часу отримувати спектри будь-якого α -випромінювання з подальшими їх аналізом та програмною обробкою.

4. Прилад може надійно працювати автономно без участі оператора протягом тривалого періоду (до 6-и місяців) від автономно-го джерела живлення і дозволяє отримувати тренди даних з ЕРОА і ДПР радону, має низьку вартість, що забезпечує можливість масового випуску.

5. Монітор можна використовувати як базовий елемент автоматизованої системи безперервного контролю за α -випромінюванням радону на підприємствах атомної і видобувної промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Публикация 65 МКРЗ «Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах».* — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 78 с.

2. *Никитин В.И., Тихонов А.А.* К вопросу построения радиационной ветви интегрированной системы безопасности // Спецтехника. — 2002. — № 3. — 125 с.

3. *Дейнега Н.Л., Королева М.А. и др.* Система непрерывного контроля за радиоактивностью приземного слоя атмосферного воздуха // АНРИ. — 2000. — № 1. — С. 35–38.

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

ПОРТАТИВНИЙ МНОГОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ МОНІТОР ДЛЯ ІЗМЕРЕННЯ α -ІЗЛУЧЕННЯ РАДОНА В ОКУРЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

В работе обоснована необходимость создания новых технологий и технических средств контроля и мониторинга радона в окружающей среде в режиме реального времени. Приведены основные технические характеристики созданного монитора для измерения α -излучения радона в окружающей среде. Приведены его основные отличия от существующих прототипов.

Ключевые слова: излучение радона, портативный монитор.

*E. Alekseeva, G. Lisichenko,
Y. Zabulonov, V. Burtnyak, L. Odukalets*

PORTABLE MULTIFUNCTIONAL MONITOR FOR THE MEASUREMENT OF RADON ALPHA RADIATION IN THE ENVIRONMENT

The paper proves the necessity of creating new technologies and equipment for real time control and monitoring of radon in the environment.

The basic specifications of the monitor set up for measuring radon alpha radiation in the environment are presented. Its main differences from existing prototypes are given.

Key words: radon alpha radiation, portable monitor.

Стаття надійшла до редакції 24.03.11