

УДК 53.082.79

СИСТЕМА ДЛЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Забулонов Ю. Л., Буртняк В. М., Одукалець Л. А.

Забулонов Ю. Л., чл.-кор. НАН України, д. т. н., зав. від. ядерно-фізичних технологій ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» zabulonov@mail.ru;

Буртняк В. М., ст. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» burtin@list.ru

Одукалець Л.А., н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» laoduk@i.ua

В роботі обґрунтована необхідність створення нових технічних засобів для радіаційного контролю гамма випромінювання продуктів харчування та будівельних матеріалів. Наведено основні технічні характеристики створеної системи та її основні переваги над існуючими аналогами. Розроблений спектрометр адаптований до японського ринку. Передбачена можливість діалогу користувача з оператором на японській мові. Радіаційний контроль гамма випромінювання проводиться відповідно до вимог місцевого законодавства (радіаційних норм). Для визначення характеристик приладу було проведено ряд експериментів по визначенню розсіювання результатів вимірювань, яке може бути обумовлено не тільки статистичним характером розпаду і коливань фону, але і іншими випадковими чинниками (апаратурні перешкоди, похибки процедури вимірювань тощо).

Ключові слова: гамма випромінювання, радіаційний контроль, спектрометр

Вступ

Радіоактивне випромінювання є одним з основних природних та техногенних факторів, що впливають на життя і здоров'я людини. В наслідок бурхливого розвитку ядерних технологій (виробництво та випробування ядерної зброї, атомна енергетика, використання іонізуючих джерел випромінювання в народному господарстві та медицині) значно зросло загальне радіоактивне забруднення біосфери. В результаті середні дози опромінення людини досягають подвоєного природного фону і впритул наблизилися до величини, яка визначається як радіаційно небезпечна. Тому в сучасних умовах є неприпустимим додаткове опромінення людини, оскільки воно може різко збільшити ризик виникнення захворювань.

Радіоактивні речовини, які опромінують організм людини, можуть бути як зовнішніми (потрапляють в організм через легені з повітрям і шкіру), так і внутрішніми (потрапляють в організм через шлунково-кишковий тракт разом з водою і їжею). Біологічний ефект при внутрішньому опроміненні організму значно вищий. У цьому випадку збільшується час опромінення (опромінення відбувається постійно), зменшується геометричне ослаблення потоку енергії (джерело розташоване впритул), неможливе застосування захисту і відбувається вибіркова концентрація радіонуклідів в окремих органах. У зв'язку з тривалим впливом навіть найменші дози радіації здатні викликати в клітинах організму зміни, які призводять до генетичних порушень, злоякісним новоутворенням і різноманітним розладам обмінних процесів організму, його травних, кровотворних і інших функцій.

Досвід вивчення стану навколишнього середовища на забруднених радіацією територіях дозволив екологам зробити висновок про те, що радіонукліди найактивніше надходять в організм людини по ланцюжку «ґрунт – рослина – продукти харчування».

Ядерні катастрофи в Чорнобилі в 1986 році і на Фукусімі в 2011 році ще більш підвищили стурбованість урядових організацій, галузевих підприємств і споживачів стосовно ризику, пов'язаного з можливим радіаційним забрудненням харчових продуктів і питної води.

У більшості країн, в т.ч. в Україні, існують національні програми в галузі харчування, які включають в себе закони про харчові продукти і воду, передбачають жорсткий контроль виробництва, реалізації та вживання харчових продуктів [1].

Згідно з новітніми уявленнями, навіть санітарні нормативи не гарантують повної безпеки людини. Тому проблему радіаційної безпеки потрібно зводити не тільки до забезпечення контролю по запобіганню розповсюдження радіонуклідів обмеженого числа потенційно небезпечних об'єктів, а необхідно виявляти і виміряти будь які радіоактивні забруднення, які присутні у повсякденно вживаній продукції. Таким чином, контроль вмісту радіонуклідів в продуктах харчування (воді, молоці, м'ясі, рисі, злаках, лікарських рослинах, морепродуктах), будівельних матеріалах та інших пробах навколишнього середовища є важливою і актуальною проблемою. Першорядну важливість даної проблеми підкреслила аварія на АЕС Фукусіма в Японії, де в результаті викиду радіоактивних речовин виявилися забруднені значні території. Поверхневе забруднення ґрунтів, житлових і робочих приміщень, водойм, а як наслідок і продуктів харчування, призвело до значного збільшення як зовнішнього, так і внутрішнього опромінення населення. В усіх цих випадках необхідно проводити кількісні вимірювання питомої активності радіонуклідів у великих обсягах. Скорочення часу таких вимірів дозволить значно прискорити і здешевити цю процедуру. Таким чином особливо гостро постала необхідність у системах оперативного контролю радіаційної обстановки на обраних територіях.

Враховуючи важливість і актуальність радіаційного контролю проб води, продуктів харчування та інших об'єктів навколишнього середовища, фахівцями відділу ядерно-фізичних технологій ДУ «ІГНС НАН України» була створена вимірювальна система нового покоління, що дозволяє оперативно з заданою точністю виявляти радіонукліди у вимірюваному зразку.

Метою цієї роботи було проектування, створення, а також оцінка параметрів компактного, недорогого, бездротового гамма-спектрометра з живленням від акумулятора, який може бути використаний для зазначених вище застосувань і прикладних задач.

Результати роботи та їх обговорення

Сьогодні радіаційний контроль продуктів харчування та будівельних матеріалів здійснюється за допомогою спеціалізованих технічних засобів [2]. Основні характеристики найбільш відомих і доступних приладів приведені в табл. 1.

Наведені в табл. 1 дані показують, що існуючі прилади не дозволяють повною мірою проводити швидкий і якісний контроль інтенсивності випромінювання зразків продуктів харчування та будівельних матеріалів. Це викликано перш за все значним часом, який потрібно витратити на вимірювання, щоб досягти необхідної точності. Також прилади мають великі розміри і не зовсім сучасне ІТ середовище.

Гамма-спектрометр «FoodLight» розроблявся як автономний, бездротовий і недорогий радіоізотопний ідентифікатор. Іншими словами «FoodLight» повинен містити в корпусі детекторну та обробну частини, а також бездротовий інтерфейс, що дозволяє з'єднуватися з будь-яким мобільним телефоном чи планшетом. Крім того, спектрометр повинен бути компактным, мати низьке енергоспоживання, а також бути досить простим для серійного виробництва.

Зазначені параметри були досягнуті за допомогою розробки цифрового процесора імпульсних сигналів (АЦП) на базі процесора Cortex-M3 [3]. Цей процесор базується на архітектурі ARMv7-M і був спеціально спроектований для досягнення високої продуктивності (забезпечується продуктивність порядку 1.25 MIPS/МГц) всієї системи в недорогих високо економічних вбудованих додатках. Усі компоненти АЦП були розміщені на виготовленій під замовлення друкованої платі, включаючи аналогову і цифрову

електроніку для обробки сигналу, а також живлення спектрометра, що складається з декількох стабілізаторів напруги. Це означає, що для роботи «FoodLight» потрібно тільки одне джерело живлення з напругою 12 В. Структурна схема спектрометра показана на рис. 1.

Таблиця 1. Характеристики спектрометрів для контролю радіоактивності в продуктах харчування

Параметр	РУГ-91 М	Прогрес-Гамма	СЕГ-001 «АКП-С»-40	МИГ-053
Радіонукліди, активність, яких вимірюються	Cs-137+Cs-134, K-40, Ra-226, Th-232	Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137	Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137	Cs-134, Cs-137, Co-60, K, Th, Ra
Детектор, мм	CsI з кристалом Ø40x40	NaI(Tl) з кристалом Ø63x63	NaI(Tl) з кристалом Ø40x40	NaI(Tl) з кристалом Ø25x25
Мінімальна активність, яка вимірюється, Бк/кг	3	3	10	17,7
Час вимірювання мінімальної активності, хв.	60	60	60	60
Похибка вимірювання питомої активності Cs-137, %	25 при ймовірності 0.95	10	25	-
Товщина свинцевого захисту, мм	40	50	30	15
Час безперервної роботи, год.	24	8	24	24
Маса, кг	45	120		12
Максимальний об'єм проби, л	0.5	1	0.5	0.5
Комп'ютерний інтерфейс	так	так	так	так
Зберігання показань вимірюваної питомої активності проб в пам'яті приладу	так	так	так	-

Розглянемо пристрій і принцип дії створеної вимірювальної системи (на рис. 2 а і б зображені блок-схема і зовнішній вигляд приладу відповідно). Блок-схема і зовнішній вигляд приладу зображені на рис. 2.

В якості детектора (1) для спектрометра був вибраний сцинтиляційний лічильник, який стикований з чутливим фотоприймачем. Вибір в сторону сцинтиляційних кристалів був зроблений тому, що вони можуть бути компактними, недорогими, забезпечувати ефективну реєстрацію гамма квантів, можуть використовуватися при кімнатній температурі, а також працюють в спектрометричному режимі.

В якості фотоприймача вибрано фотоелектронний помножувач (ФЕП) японської фірми HAMAMATSU Photonics [4]. Ці оптичні чутливі модулі дозволяють проводити точні і

швидкі вимірювання дуже слабких світлових потоків з надзвичайною зручністю використання. Їх компактний корпус пристосований для простого кріплення.

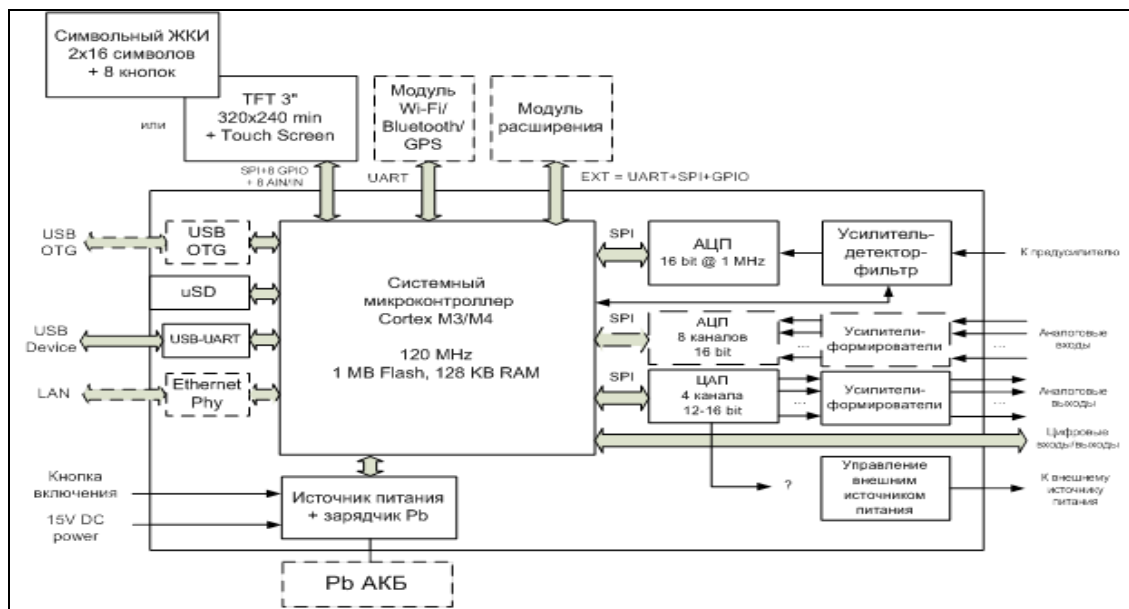


Рис. 1. Структурна схема спектрометра «FoodLight»

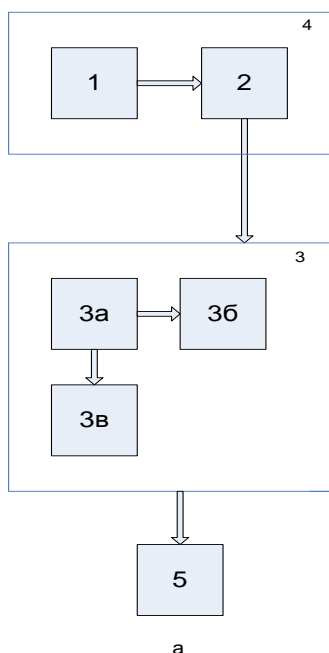


Рис. 2. Спектрометр «FoodLight» (а – блок-схема; б – зовнішній вигляд)

Заряджена частинка (гамма випромінювання), проходячи через люмінесцентну речовину (кристал CsJ (Na) розміром 63x63 мм) разом з іонізацією атомів і молекул збуджує їх. Повертаючись в основний (не збуджений) стан атоми випускають фотони, які в свою чергу, потрапляючи на катод ФЕП, вибивають електрони, в результаті чого на аноді ФЕП виникає електричний імпульс, який надходить на попередній підсилювач (2).

Попередній підсилювач складається з двох секцій: вхідна секція – зарядочутливий каскад з негативним зворотним зв'язком послідовного типу, коефіцієнт посилення якого визначається резистором під лаштування, а високочастотна корекція здійснюється ємністю, © Забулонов Ю. Л., Буртяк В. М., Одукалец Л. А. СИСТЕМА ДЛЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

яка включена в ланцюг зворотного зв'язку. Високий коефіцієнт посилення сигналу попереднього підсилювача дозволяє вводити глибокий негативний зворотний зв'язок і, тим самим, стабілізувати параметри схеми. Для захисту зарядочутливого підсилювача введено діод, який обмежує амплітуду вхідних імпульсів на рівні 3 В.

Сформовані по амплітуді і тривалості сигнали з попереднього підсилювача надходять на піковий детектор (3а) блоку амплітудно-цифрового перетворювача (3). Піковий детектор (3а) спільно з амплітудним аналізатором (3в) здійснюють їх оцифровку і кодування, після чого у вигляді цифрового коду заносяться в пам'ять контролера (5).

Сцинтиляційний лічильник з попереднім підсилювачем розміщений в свинцевому екрані захисту (4). Завантаження проби проводиться з верхньої частини приладу з використанням спеціальних посудин Маринеллі (для підвищення ефективності реєстрації випромінювання). Живлення сцинтиляційного лічильника здійснюється за допомогою пристрою живлення (3б), який представляє собою перетворювач постійної низьковольтної напруги в регульовану змінну високовольтну з наступним випрямленням і фільтрацією. Управління встановленим значенням вихідної напруги в блоці здійснюється за рахунок нормованого введення зовнішнього керуючого сигналу в ланцюг опорного джерела системи стабілізації.

«FoodLight» – високочутливий вимірювальний прилад, призначений для проведення вимірювань об'ємної (питомої) (ОА/ПА) активності гамма-випромінюючих радіонуклідів Cs-137, Cs-134, K-40, Ra-226, Th-232 рідких, в'язких, сипучих харчових і не харчових проб на рівні допустимих концентрацій і нижче без приготування проб методом хімічного виділення і концентрації в лабораторних і виробничих умовах.

«FoodLight» являє собою найкращу комбінацію датчиків і лічильників з оригінальним програмним забезпеченням та алгоритмами для обробки імпульсів. Прилад має високу чутливість і стабільність результатів вимірювань. Наші прилади мають широкий спектральний діапазон вимірювань, що підвищує можливість визначення різних видів радіонуклідів. Технічні характеристики приладу наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Технічні характеристики «FoodLight»

Детектор, мм	NaI(Tl) з кристалом Ø63x63
Товщина свинцевого захисту, мм	40
Енергетична роздільна здатність, %	6.5
Діапазон вимірювання питомої (об'ємної) активності, Бк/кг:	
при вимірюванні Cs-137, Cs-134	2 – 12000
при вимірюванні K-40	50 - 12000
при вимірюванні Ra-226	15 - 12000
при вимірюванні Th-232	10 - 12000
Мінімальна активність по Cs-137 для детектора, Бк/кг	2
Режим експрес-вимірювання ОА, хв	1-5
Стандартний об'єм вимірювальних проб в посудині Маринеллі, л	1,00 ± 0,01
Власний фон, імп./с	Не більше 5
Час встановлення робочого режиму, хв	Не більше 10
Час безперервної роботи, год	Не менше 24
Нестабільність показів радіометра за 24 год. безперервної роботи, %	Не більше 5
Середнє напрацювання на відмову, год	Не менше 4000
Маса, кг	Не більше 100

При роботі приладу кожні 8 секунд відбувається розрахунок активності зразка, який вимірюється. Протягом вимірювання на приладі відбувається індикація кольором (появлення певного кольору при перевищенні встановленого порогу інтенсивності). В діапазоні вимірювань до 40 Бк горить зелений індикатор, в діапазоні вимірювань від 40 до 100 Бк загоряється жовтий індикатор, в діапазоні понад 100 Бк спалахує червоний індикатор. Діапазон сигналізації контролю вимірів регулюється оператором. По завершенню вимірювання результат виводиться на РК-екран в одиницях Бк/кг або Бк/л. Дійсні значення вимірної активності висвітлюються постійно, а їх оновлення проводиться через кожні 8 с.

Вимірювання та обробка результатів проводиться автоматично. При вимірюванні питомої активності значення ваги проби в грамах вводиться оператором.

При бажанні оператор може проводити вимірювання і з ПК (для цього розроблено спеціальне програмне забезпечення). Також режим вимірювання з ПК дозволяє виводити на екран і аналізувати отриманий спектр (рис. 3).

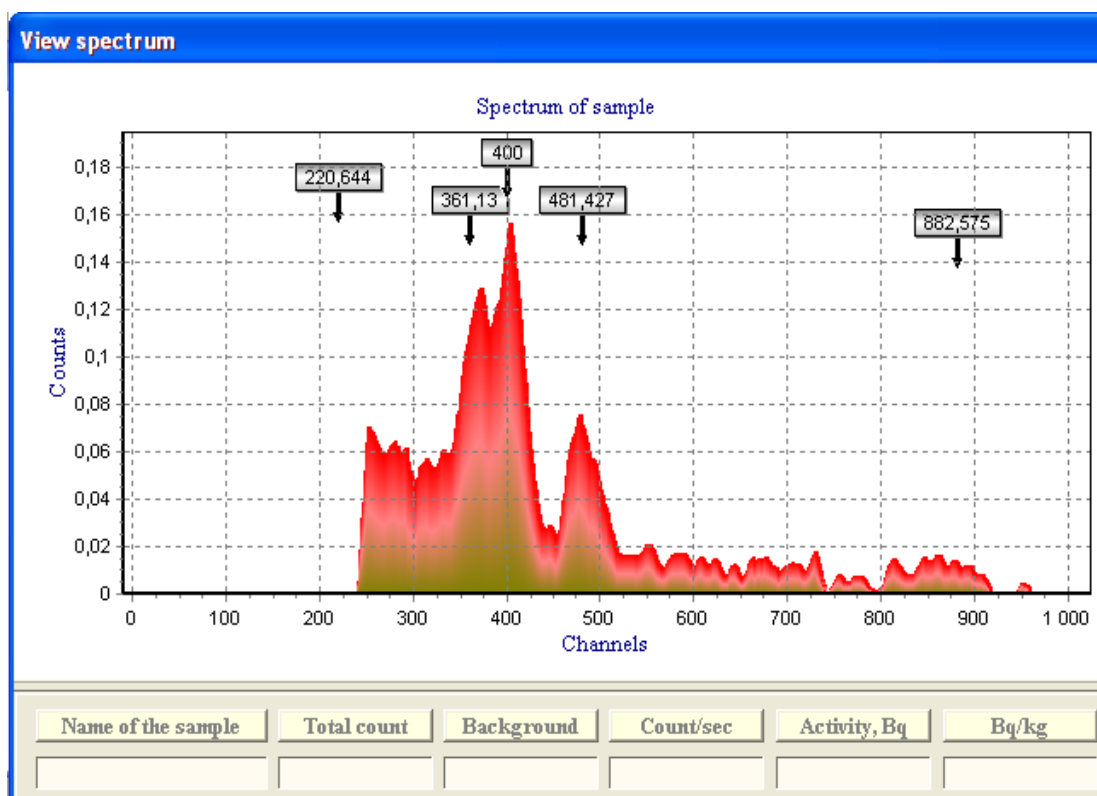


Рис. 3. Спектр рису, який забруднений Cs-137 та Cs-134 (рис привезений із Японії)

Прилад адаптований до японського ринку. Діалог з оператором може відбуватися на японській мові. Вимірювання проводяться відповідно до вимог місцевого законодавства (радіаційних норм). Пристрій має важливу функцію - швидке сортування проб, які вимірюються. "FoodLight" дозволяє, **не чекаючи закінчення виміру, виявити забруднений продукт!**

При визначенні характеристик приладу було проведено ряд експериментів по визначенню розсіювання результатів вимірювань, яке може бути обумовлено не тільки статистичними характером розпаду і коливаний фону, але і іншими випадковими чинниками (апаратурні перешкоди, похибки процедури вимірювань тощо). Ця характеристика визначається наступним чином. Проводиться серія вимірювань і по завершенню перевіряється відповідність розподілу результатів вимірювань закону Пуассона. Для оцінки ступеня близькості розподілу вимірювань до пуассонівського (теоретичного) розподілу розраховують критерій χ^2 :

$$\chi_p^2 = (n - 1) \frac{s_N^2}{\sigma_{n(N)}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{\bar{N}} \quad (1)$$

Вибіркова дисперсія s^2

$$s_x = \sqrt{s_x^2} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (2)$$

враховує всі джерела випадкових похибок при реєстрації імпульсів, а дисперсія σ^2

$$\sigma_{n(N)}^2 = \bar{N} \quad (3)$$

тільки статистику радіоактивного розпаду.

Різниця між теоретичним розподілом і розподілом експериментальних вимірювань вважається несуттєвою, якщо експериментальна величина $\chi_{\text{експ}}^2$ не перевищує табличного значення $\chi_{0,05}^2$ для заданого рівня значущості ($p = 0,05$) і даного числа ступенів свободи f . Статистичний характер радіоактивного розпаду дає можливість перевірити стабільність (надійність) роботи реєструючого приладу. З цією метою в строго однакових умовах було проведено 10 послідовних вимірів N_i тривалістю 5 хв. для проби зі швидкістю рахунку $1000 \div 3000$ імп./хв. Використовуючи рівняння 1, 2, 3, обчислюємо вибірку дисперсію, дисперсію розподілу Пуассона і значення χ^2 – критерію (табл. 3):

Таблиця 3. Вибірка вимірювань активності пробного зразка

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результати вимірювань (N_i , імп)	7256	7268	7096	7010	7180	7116	6999	7129	7056	7200

$$\sigma_{n(N)}^2 = 7131, \quad S = 8967.$$

Розраховане значення $\chi_{\text{експ}}^2$ порівнюємо зі значенням $\chi_{0,05}^2$ для рівня значущості $p = 0,05$ і числа ступенів свободи $f = 9$ ($\chi_{0,05}^2 = 16,9$).

Так як значення $\chi_{\text{експ}}^2 = 11,32$ менше, ніж $\chi_{0,05}^2 = 16,9$ можна вважати, що апаратні перешкоди, які повинні порушити пуассонівський характер розподілу числа реєстрованих імпульсів, відсутні. В іншому випадку розбіжність між спостережуваним розподілом і розподілом Пуассона визнавалася б значущою, що свідчило б про наявність випадкових похибок, пов'язаних із нестабільністю роботи приладу.

Спектрометр “FoodLight”, ПК та бездротовий інтерфейс управління та передачі даних Wi-Fi являють собою закінчену функціональну програмно-апаратну систему.

Висновки

Таким чином основними перевагами розробленого спектрометра “FoodLight” є:

- можливість проводити вимірювання як в стаціонарних, так і в мобільних умовах
- висока чутливість (5 Бк) і стабільність результатів при незначних масо-габаритних характеристиках (вага 100 кг, товщина захисту 40 мм)
- висока енергетична роздільна здатність (6.5 %) підвищує точність ідентифікації радіонуклідів
- широкий спектральний діапазон вимірювань від 0.5 KeV до 3 MeV підвищує можливість визначення різних видів радіонуклідів

- експрес-вимірювання ПА (ОА) за час вимірювання (1 – 5) хв
- прилад може працювати як автономно, так і в складі ПК (комплектується програмним забезпеченням)
- прилад володіє колірною індикацією. Діапазони контролю вимірювань регулюються оператором
- є можливість контролю за роботою приладу з відстані (наявність Wi-Fi)
- виготовлення приладу не потребує значних витрат
- акумуляторне живлення спектрометра і бездротовий інтерфейс управління та передачі даних Wi-Fi забезпечують можливість роботи без відповідних кабелів, що істотно спрощує роботу на забрудненій місцевості тому, що усуває необхідність контролю стану кабелів, їхньої дезактивації та інше.
- сучасний ергономічний і естетичний зовнішній вигляд приладу не порушує інтер'єр приміщення, в якому він розміщується. Сучасний дизайн є безпечним для людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гигиенические нормативы: Уровни освобождения радиоактивных материалов от регулирующего контроля. — Утв. Постановлением Главного гос. Санитарного врача Украины от 30.06.2010 №22.— К., 2010.— 6 с.
2. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Алексеева Е.В., Буртняк В.М. Многофункциональный анализатор для радиологических исследований строительных материалов // 3б.наук.ст. 6-а міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» - Алушта, 2010, с. 177-183.
3. Интернет ресурс <http://www.rlocman.ru/review/article.html?di=62815>
4. Интернет ресурс http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03_04/stat_38.htm

REFERENCES

1. .Gihienicheskie normativi: Urovni osvobozhdeniya radioaktivnykh materialov ot rehyliuruushcheho kontroliia. Utv. Postanovleniem Glavnogo Gos. Sanitarnogo vracha Ukrainy (2010). [Hygienic standards: Levels release of radioactive materials from regulatory control. Approved by the Chief State Sanitary Doctor of Ukraine] Kiev, №22 – 6с.[in Russian]
2. G. Lysychenko, Yu. Zabolonov, E. Alekseeva, V. Burtnyak (2010). Mnohofunkzhyonalyyi analizator dlia radiolohicheskikh issledovanyi stroitelnykh materyalov. 6-a Mizhnarodna naukovopraktichna konferentsiia "Ekologichna bezpeka: problemy i shliakhy virisheniia" [Multi-function analyzer for radiological examinations of building materials. 6th International scientific-practical conference "Environmental Security: Problems and Solutions"]. Alushta: [in Russian]
3. Internet resource <http://www.rlocman.ru/review/article.html?di=62815>
4. Internet resource http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03_04/stat_38.htm

СИСТЕМА ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Забулонов Ю. Л., Буртняк В. М., Одукалец Л. А.

Забулонов Ю. Л. чл.-кор. НАН Украины, д. т. н., зав. отд. ядерно-физических технологий ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» zabolonov@mail.ru;

Буртняк В. М. ст. н. с ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» burtn@list.ru

Одукалец Л. А. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» laoduk@i.ua

В работе обоснована необходимость создания новых технических средств для радиационного контроля гамма излучения продуктов питания и строительных материалов. Приведены основные технические характеристики созданной системы и ее основные преимущества над существующими аналогами. Разработанный спектрометр адаптирован к японскому рынку. Предусмотрена возможность диалога пользователя с оператором на японском языке. Радиационный контроль гамма-излучения проводится в соответствии с требованиями местного законодательства

© Забулонов Ю. Л., Буртняк В. М., Одукалец Л. А. СИСТЕМА ДЛЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

(радиационных норм). Для определения характеристик прибора был проведен ряд экспериментов по определению рассеяния результатов измерений, которое может быть обусловлено не только статистическим характером распада и колебаний фона, но и другими случайными факторами (аппаратурные помехи, погрешности процедуры измерений и др.).

Ключевые слова: гамма излучение, радиационный контроль, спектрометр

THE SYSTEM FOR RADIATION CONTROL OF FOODSTUFFS AND BUILDING MATERIALS

Yu. Zabulonov, V. Burtnyak, L. Odukalets

Yu. Zabulonov D. Sc. (Tech.), Cor. Member NASU, head of department of nuclear-physical control technology SI «Institute of Environmental Geochemistry NAS Ukraine»

V. Burtnyak Senior Researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry NAS Ukraine»

L. Odukalets Researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry NAS Ukraine»

The need for new technical means for radiation monitoring of gamma radiation of food and construction materials is justified in the paper. The main technical characteristics of the established system and its main advantages over the existing prototypes are given. The spectrometer adapted to the Japanese market is designed. The possibility of user conversation with the operator in Japanese is provided. Radiation monitoring of gamma radiation is carried out in accordance with local regulations (radiation norms). To determine the characteristics of the device, a series of experiments to evaluate the scattering measurements, which may be due not only to the statistical nature of decay and background fluctuations, but also other random factors (instrumental noise, error measurement procedures, etc.).

Key words: gamma rays, radiation control, spectrometer