

УДК 543.42+543.429.3

Ю.Ю. Юркуц¹, О.М. Поп², М.В. Стець², В.Т. Маслюк²

¹Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54, Україна

²Інститут електронної фізики НАН України, 88017, Ужгород, вул. Університетська, 21, Україна

²e-mail: oksana_pop@i.ua

СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ТА ПОНИЖЕННЯ ФОНУ В ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ

Гамма-спектрометричний комплекс (ГСК) ІЕФ НАН України використовує пасивний, багат шаровий зовнішній захист (ЗЗ), виготовлений в 1989 р. ГСК відповідає, в основному, вимогам прикладної ядерної гамма-спектрометрії (ПЯГС) зразків масою > 100г, з межею таких вимірів на рівні > 10 Бк/кг та похибкою > 10 %. ПЯГС гамма-фону розробленої нами системи та розрахунок коефіцієнтів ефективності захисту КЕЗ створеної системи показали зменшення значень та дисперсії інтенсивності фонових ліній гамма-активних нуклідів рядів Th232, U238 та K40.

Ключові слова: гамма-спектрометричний комплекс, пасивний захист, фон, гамма-активні нукліди.

Гамма-спектрометричний комплекс ІЕФ НАНУ

Гамма-спектрометричний комплекс (ГСК) являє собою систему, котра складається з детектора Д іонізуючих частинок, в нашому випадку – гамма-квантів (це, як правило, типовий прилад у нас Ge(Li)-детектор ДГДК-100В); попереднього підсилювача, багатоканального аналізатора імпульсів; програмного забезпечення; зовнішнього захисту (ЗЗ) – металеві конструкції, призначеної для захисту детектора від зовнішнього по відношенню до ЗЗ випромінювання, і пониження фону системи.

Якщо детектори та електроніка є більш-менш стандартними вузлами, ЗЗ - це металева конструкція, призначена для пониження фону детектора. В деяких випадках він захищає персонал від випромінювання зразка. Конструкція захисту залежить від багатьох факторів і тому є суттєво індивідуальною. Такими факторами є: задачі, для яких використовується ГСК; місце розташування ГСК (детекторного приміщення); місце розташу-

вання наукового приміщення (лабораторії) – географічні координати.

В нашому випадку ГСК виконує дві задачі – прикладну ядерну гамма-спектрометрію (ПЯГС) наведеної гамма-активності (високі рівні гамма-активності) та ПЯГС природної гамма-активності (низькі рівні гамма-активності).

Гамма-спектрометричний комплекс ІЕФ НАНУ використовує напівпровідниковий Ge(Li)-детектор ДГДК 100В (Д), розміщений в пасивному, багат шаровому (Pb+Cd+Fe+Cu+Al) 4л-захисті (ЗЗ). Така конструкція обумовлена наступним. Середні значення енергії рентгенівського КХ-випромінювання матеріалів комбінованого захисту ГСК ВФЯП ІЕФ НАНУ впорядковані наступним чином:

$Pb(76,74\text{KeV}) > Cd(26,63\text{KeV}) >$

$Fe(6,47\text{KeV}) > Cu(8,11\text{KeV}) > Al(1,49\text{KeV}).$

Така послідовність обумовлена фізикою захисту. Більш жорстке випромінювання, поглинаючись в зовнішньому шарі захисту, збуджує в ньому випромінювання менших енергій, зокрема рентгенівське випромінювання, котре буде реєструватись детектором. Для захисту від цього випро-

мінювання використовується наступний шар із меншим значенням атомного номера Z і т. д. Знак $>$ вказує напрямок від зовнішньої до внутрішньої поверхонь захисту. Цим забезпечується поглинання більш жорсткого зовнішнього випромінювання в ЗЗ [1]. Таким чином, ЗЗ орієнтований на захист від зовнішнього випромінювання. Завважимо, що жорстке гамма-випромінювання зразка, котрий розміщується в середині ЗЗ, збуджує рентгенівське випромінювання в цьому ж зразку (зокрема Pb (76,74KeV)).

Нестабільність фону внутрішнього доквілля

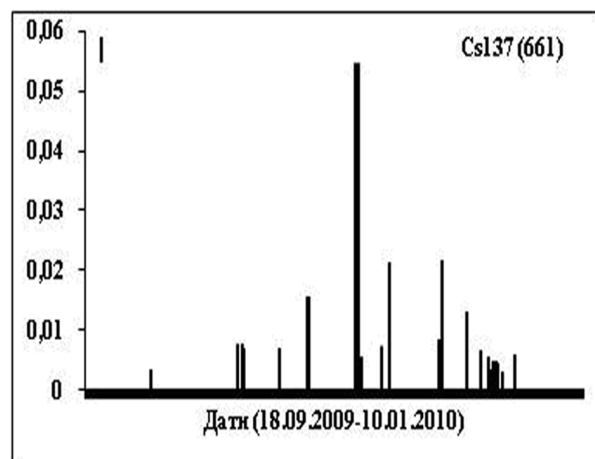
Будемо розуміти під внутрішнім доквіллям ГСК доквілля експериментальних приміщень. Причина нестабільності фону внутрішнього доквілля стала зрозумілою після вимірів при працюючому прискорювачі досить швидко. Було встановлено, що при роботі мікротрона фон внутрішнього доквілля зростає в декілька разів, в залежності від енергії прискорених частинок, і зменшується – при виключенні. Цей фон обумовлений миттєвою дією первинного та вторинного випромінювань мікротрона. Інша причина вказаної проблеми стала зрозумілою після вимірів при непрацюючому прискорювачі – це циклічність роботи прискорювача, котра поступово змінює зовнішній фон в приміщеннях внутрішнього доквілля. При роботі протягом дня (двох змін) рівень гамма-фону зростає від початку до кінця дня. При роботі прискорювача протягом тижня фон, спадаючи за ніч, знову зростає, зростаючи, таким чином, від понеділка до п'ятниці, від початку роботи до її закінчення і т.д.

Зростання фону обумовлене поступовою активацією матеріалів, в які попадають прискорені частинки - електрони, гальмівні гамма-кванти та частинки, котрі можуть утворитись (нейтрони, розсіяні електрони, гамма-кванти). В матеріалах може ініціюватись поділ ядер Торію та Урану. Як матеріал виступає захист

прискорювача – сотні тон бетону, глини та цегли.

Метеорологічна ситуація впливає на рівень гамма-активності повітря, компонентами якої є радіоактивні гази – $C14$ (складова вуглекислого газу CO_2), ізотопи Rn , котрі, в свою чергу, впливають на значення активностей дочірніх гамма-активних нуклідів (ГАН) [3]: $Rn220$ – $Pb212$, $Bi212$, $Tl208$ (ряд $Th232$); $Rn219$ (ряд $U235$); $Rn222$ – $Pb214$, $Bi214$ (ряд $U238$) та дисперсію цих значень. Ці дочірні ГАН, маючи інтенсивні лінії, фактично складають основний образ апаратурного гамма-спектра (АГС), формуючи його не тільки своїми піками повного поглинання (ППП), а і комптонівськими розподілами, піками сум, піками одиночних та подвійних вильотів, рентгенівськими піками і т.п. Компонентами повітря є $K40$; можуть бути і інші радіоактивні нукліди (РАН), наприклад, $C14$. На рис. 1 та рис. 2 наведено значення інтенсивностей I гамма-активності $Cs137$ та $K40$ нашого ГСК для різних дат вимірів.

Бета-частинки розпаду $C14$, попадаючи в речовину гальмуються, що призводить до виникнення в ній гальмівного гамма-випромінювання, яке реєструється детектором. Це стосується і інших бета-активних РАН.



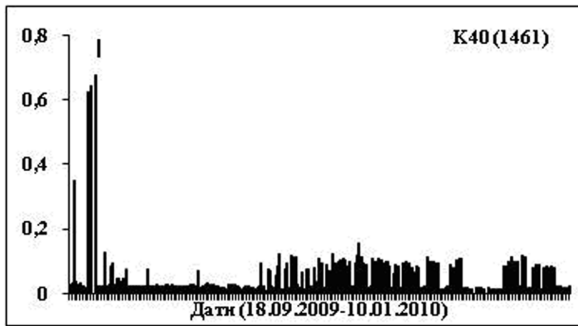


Рис. 2. Залежність інтенсивностей I гамма-активності $K40$ від дати виміру.

Гальмівне випромінювання, маючи неперервний спектр, сильно змінює АГС в області низьких енергій гамма-квантів.

При підвищенні вологості ($> 90\%$), пониженні температури, відбувається конденсація вологи на охолоджених поверхнях (поверхні детектора, криостата і т.п.). Радон (Rn) – важкий газ, добре конденсується на охолоджених поверхнях та разом з атмосферною водою накопичується за час відсутності природної та примусової вентиляції (детальніше фізико-хімічні властивості Rn див. [2]).

Джерелом Rn є зовнішнє довкілля ГСК: скальні породи, на яких побудовано лабораторний корпус, система каналізації, матеріал захисту мікротрона. Rn є і в повітрі, яке приноситься до нас вітрами. Під час опадів його концентрація зростає.

Зауважимо, що кожен із вказаних нами основних факторів впливу на значення фону має власну динаміку і ці фактори діють одночасно.

Межа можливостей ПЯГС на ГСК

Зараз ГСК відповідає, в основному, вимогам сучасної ПЯГС опромінених зразків (наведена активність) та природної активності зразків масою 100–1000 г, з межею таких вимірів на рівні питомих активностей >10 Бк/кг та похибкою $>10\%$. Значення питомих активностей на рівні 10 Бк/кг відповідають інтенсивностям I на рівні $n - 10^{-3}$ імп/с. Цей рівень – це рівень інтенсивностей гамма-фону. Мова йдеться про спект-

рометрію природної гамма-активності, спектр якої визначається у більшості випадків одним і тим же списком ГАН (див. вище). Тому АГС фону \approx АГС зразка.

Межа можливостей, не в останню чергу, визначається рентабельною тривалістю вимірів: $\leq 4-8$ годин/зразок. Можна вважати, що ця межа є межею «непокрашуваності» – якщо ми не змінимо умови роботи ГСК, тоді весь час будемо знаходитись біля неї.

Статистичні критерії доцільності створення системи стабілізації та пониження фону в ГСК

На основі приведеного аналізу, який підкріплений власними даними (ПЯГС фону та зразків протягом тривалого часу) був зроблений висновок про необхідність покращення параметрів ГСК. Позаяк ГАН зразків і фону, як ми вказали, добре співпадають, відповідно співпадають і їхні лінії в АГС (ППП).

Під час ПЯГС зразка x реєструється одночасно ГАН зразка x та ГАН фону f . Це є найбільш точним визначенням цих двох фізичних величин: ми повинні знати активність фону саме під час дослідження зразка, а не до або після цього виміру. У випадках неодночасності визначення виникає колізія невизначеності «яким був фон? як змінився фон?» та проблема її розв'язання. Тому, ми задачу покращення параметрів ГСК попередньо означимо так – одночасно визначити сигнал зразка і сигнал фону. Розглянемо її більш строго з «статистичної» точки зору, зробивши цим спробу доказу доцільності стабілізації та пониження фону [4, 5].

Одночасне визначення величин ΔS , ΔSx , ΔSf . Для однієї лінії ГАН в АГС аналітичним є ППП, кількісна величина якого (площа) має такі властивості: прямо пропорційна кількості гамма-активних ядер ГАН; прямо пропорційна масі K зразка. Введемо позначення: ΔS – площа ППП; ΔSx – частина ΔS , яка утворена активністю лінії зразка x ; ΔSf –

частина ΔS , яка утворена активністю тієї ж лінії фону f . Тоді:

$$\Delta S = \Delta Sx + \Delta Sf \quad (1)$$

Тому наша задача зараз виглядає так – розв’язати рівняння (1) та знайти ΔSx .

Нехай величини ΔS , ΔSx , ΔSf – точні, але невідомі. Тоді це рівняння (1), в якому дві невідомі змінні ΔSx та ΔSf , розв’язати неможливо. Повторні виміри нічого не дають. Накладемо певні додаткові вимоги до наших величин. Нехай:

Умова 1 (вимога стабільності фону): величина ΔSf – постійна: $\Delta Sf = \text{const}$; але невідома $\Delta Sf \neq \text{det}$; величина ΔSx – змінна: $\Delta Sx (K) = \text{var}$; а також (див. рис. 3): різні точки (зразки з різними масами $K1$, $K2$) повинні відрізнятися своїми значеннями ΔS : $\Delta S (K=K1) \neq \Delta S (K=K2)$; $\Delta Sx (K=K1) \neq \Delta Sx (K=K2)$; значення величин ΔS для точок $K1$ і $K2$ повинні бути невід’ємними: $\Delta Sx (K>0) > 0$; $\Delta Sx (K=0) = 0$, якщо $K1 \neq K2$ для будь яких значень $K1$ і $K2$. Тоді для вимірів двох зразків з масами $K1$, $K2$ і $K1 \neq K2$, відповідно, можна записати:

$$\begin{aligned} \Delta S (K=K1) &= \Delta Sx (K=K1) + \Delta Sf; \\ \Delta S (K=K2) &= \Delta Sx (K=K2) + \Delta Sf; \\ \Delta S (K=0) &= \Delta Sx (K=0) + \Delta Sf = \Delta Sf \end{aligned} \quad (2)$$

Ця система рівнянь має розв’язок: ми можемо знайти ΔSx для будь-яких значень K зразків, позаяк можемо отримати лінійні залежності $\Delta S = f(K)$ та $\Delta Sx = f(K)$. На рис. 3 зображено графічну схему для пошуку залежностей $\Delta S = f(K)$, $\Delta Sx = f(K)$ та ΔSf . Тут ΔS відповідає пряма $y = 0,5x$; ΔSf : $y = 10$; а для ΔSx : $y = 0,5x$. Видно, що для цього випадку значення коефіцієнта детермінації $R^2=1$ [6].

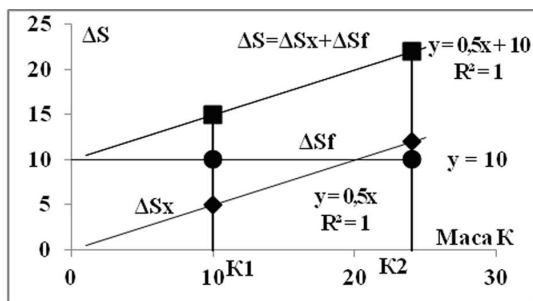


Рис. 3. Графічний розв’язок системи залежностей точних значень $\Delta S=f(K)$, $\Delta Sx=f(K)$ та $\Delta Sf=\text{const}$.

Розглянемо більш реальний випадок, коли ΔS , ΔSx , ΔSf – експериментальні (і тому вимірюються з похибкою) і ядерно-фізичні (і тому по своїй природі статистичні) і тому є випадковими, змінними величинами. Тут необхідно розглядати не тільки ΔS , ΔSx , ΔSf , їх середні значення ΔS , ΔSx , ΔSf , а також їх дисперсії D і розподіли, яким ці величини підчиняються. Тоді для величин ΔS , ΔSx , ΔSf та їх середніх значень ΔS , ΔSx , ΔSf теж будуть справедливими міркування, приведені для точних значень ΔS , ΔSx , ΔSf : ми в змозі знайти значення ΔSx та ΔSf , використовуючи, зокрема, методи регресійного аналізу [7, 8]. Тут доцільно використовувати більше, ніж дві точки (виміри). На рис. 4 приведено результат регресійного аналізу (EXCEL – тренди) для випадкових величин в графічній схемі попереднього рис. 3. Таким чином, якщо виконуються *Умова 1*, наша задача вирішується і в цьому випадку ми можемо одночасно визначити сигнал зразку та сигнал фону.

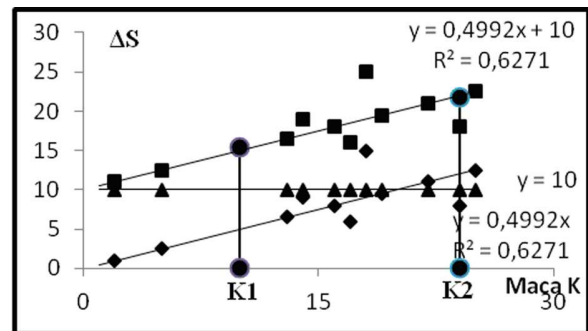


Рис. 4. Графічний розв’язок системи залежностей випадкових значень $\Delta S=f(K)$, $\Delta Sx=f(K)$, та $\Delta Sf=\text{const}$ (інші позначення див. рис. 3).

Величини ΔS , ΔSx , ΔSf для одного ППП визначаються, (див. рис. 5):

$$\begin{aligned} \Delta S &= S - F; \quad \Delta Sf = Sf - F; \\ \Delta Sx &= \Delta S - \Delta Sf; \\ \Delta Sx &= S - Sf; \quad \Delta Sx = Sx - F; \end{aligned} \quad (3)$$

де F – площа п’єдесталу, на якому стоїть ППП. Це спільна для ΔS , ΔSx , ΔSf і незалежна від них величина, яку можна визначити. Звідси:

$$S = \Delta S + F = \Delta Sx + \Delta Sf + F; \quad (4)$$

$$Sx = \Delta Sx + F; \quad Sf = \Delta Sf + F; \quad (5)$$

тут S , S_x , S_f – загальні площі ділянки АГС, де знаходиться виділений нами ППП.

Співвідношення між дисперсіями D цих величин будуть такими:

$$\begin{aligned} D(\Delta S) &= D(S) + D(F); \\ D(\Delta Sf) &= D(S_f) + D(F); \\ D(\Delta Sx) &= D(S) + D(S_f); \\ D(\Delta Sx) &= D(\Delta S) + D(\Delta Sf); \\ D(\Delta Sx) &= D(S_x) + D(F). \end{aligned}$$

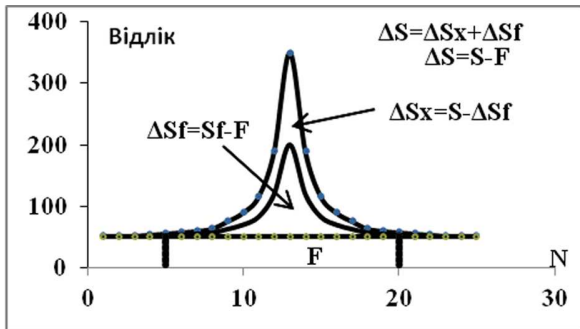


Рис. 5. Співвідношення між основними величинами піку повного поглинання (ППП).

Видно, що дисперсії $D(\Delta Sx)$ залежать від дисперсій фону $D(\Delta Sf)$. Введемо позначення: $\sigma(\Delta Sx)$ – середньоквадратичне відхилення; $\sigma^2(\Delta Sx) = D(\Delta Sx)$; α – коефіцієнт надійності, пов'язаний із довірчою ймовірністю $P(\alpha)$ [5]: $P(\alpha = 1) = 0,68$; $P(\alpha = 2) = 0,95$; $P(\alpha = 3) = 0,997$.

Знайдемо вираз для довірчого інтервалу, в межах якого можна вважати встановленим з ймовірністю $P(\alpha)$ перевищення значення ΔSx над величиною ΔSf [5].

Умова 2: Щоб з ймовірністю $P(\alpha)$ виявити різницю між ΔSx і ΔSf ($\Delta Sx = \Delta S - \Delta Sf$) достатньо, щоб різниця між значеннями цих величин ΔS і ΔSf дорівнювала $\alpha \cdot \sigma(\Delta Sx)$:

$$\Delta Sx = \Delta S - \Delta Sf = \alpha \cdot \sigma(\Delta Sx) = \alpha \cdot (\sigma^2(\Delta S) + \sigma^2(\Delta Sf))^{1/2} \quad (5)$$

Перетворимо рівняння (5) у вираз, в якому фігурує тільки ΔSf :

$$\begin{aligned} \Delta Sx &= \alpha \cdot (\sigma^2(\Delta S) + \sigma^2(\Delta Sf))^{1/2} = (\sigma^2(\Delta Sx + \Delta Sf) + \sigma^2(\Delta Sf))^{1/2} = \\ &= (\sigma^2(\Delta Sx) + \sigma^2(\Delta Sf) + \sigma^2(\Delta Sf))^{1/2} = \\ &= (\sigma^2(\Delta S) + 2\sigma^2(\Delta Sf))^{1/2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Залежності, що відповідають розподілу Пуассона, наприклад, для величини ΔSx :

$\sigma^2(\Delta Sx) = D(\Delta Sx) = \Delta Sx$: дисперсія $D(\Delta Sx)$ і, відповідно, квадрат відхилення $\sigma^2(\Delta Sx)$ величини ΔSx , рівна цій величині ΔSx . Використовуючи цю властивість, отримаємо:

$$\Delta Sx = \alpha (\Delta Sx + 2 \Delta Sf)^{1/2}. \quad (7)$$

Рішенням цього квадратного рівняння буде:

$$\Delta Sx = 0,5 \alpha^2 (1 + (1 + 8 \Delta Sf / \alpha^2)^{1/2}), \quad (8)$$

якщо $\Delta Sf = \text{const}$, тоді

$$D(\Delta Sf) = \sigma^2(\Delta Sf) = 0$$

$$\Delta Sx = 0,5 \alpha^2 (1 + (1 + 4 \Delta Sf / \alpha^2)^{1/2}).$$

Таким чином, величина ΔSx , визначена з ймовірністю $P(\alpha)$, залежить не від власного значення, а від значення ΔSf .

Реалізація Умов 1, 2. Зрозуміло, що *Умови 1, 2* задані формально, є апіорними знаннями, тобто до початку вимірів ми повинні бути впевненими, що фон стабільний (*Умова 1*) та низький (*Умова 2*). Тому для практичного використання ці *Умови* повинні бути реалізовані технічно і підтверджені експериментально. Виконання *Умови 1* – це технічно реалізована стабільність фону. Виконання *Умови 2* – це технічно забезпечена необхідна відстань між значеннями двох статистичних величин: корисного сигналу та сигналу фону, яка, при зменшенні сигналу фону, дозволяє визначати слабші корисні сигнали.

Таким чином, зараз наша задача покращення параметрів ГСК може бути задана шляхом розв'язання рівняння

$$\Delta Sx = \Delta S - \Delta Sf, \quad (9)$$

та виконавши *Умови 1, 2*.

Система стабілізації та пониження фону гамма-спектрометричного комплексу (ССПФ ГСК)

Ми розглянули ряд основних факторів, що впливають на роботу ГСК ВФЯП та зробили спробу обґрунтувати доцільність стабілізації та пониження фону в ГСК. На основі цього була розроблена система стабілізації та пониження фону гамма-спектрометричного комплексу (ССПФ ГСК), яка складається з підсистем, комбінація яких формує геометрію виміру. Вибір конструкції та матеріалу для ССПФ обумовлений

наступними вимогами: він повинен бути недорогим; конструкція ССПФ повинна бути простою, мобільною, піддаватись очистці, подальшій можливій модернізації та демонтажу. Зрозуміло, що розроблювана система є складовою ГСК і включає в себе існуючий зовнішній захист.

Підсистема фіксованого об'єму та складу повітря. Для зменшення неконтрольованого простору в детекторному приміщенні (ДП) створена система фіксованого об'єму та складу повітря ФОСП та ФОСП-К. Повітря вважається ізольованим в цих об'ємах, не зважаючи на неповну герметичність; нові надходження РАН – сповільнені. Повітря, ізольоване в ФОСП і ФОСП-К, не бере участі в неконтрольованій або примусовій конвекції.

Підсистема шлюзів. Для зменшення неконтрольованої конвекції повітря між ДП та іншими приміщеннями та для зменшення неконтрольованої конвекції повітря і конденсації атмосферної вологи у ЗЗ, створена підсистема із 5 послідовних шлюзів (пропускників) для доступу до ГСК.

Підсистема температурних градієнтів. Рушієм неконтрольованої конвекції повітря, як відомо, може бути перепад тисків та температурні градієнти (перепади температур), що залежать від кліматичних умов, тощо. Рішенням цієї проблеми було створення підсистеми температурних градієнтів, яка забезпечує стабільний перепад температур в середині ЗЗ (де, як вказувалось, є центр конденсації) між ЗЗ та ДП, між ДП та суміжним з ДП вимірювальним приміщенням.

Теплоізоляція. Було встановлено, що певне значення має і температура внутрішньої (металевої) поверхні ЗЗ. Тому вони були закриті теплоізолятором. Окрім теплоізоляції, ці додаткові поверхні перешкождали попаданню повітря зі щілин ЗЗ.

Підсистема вентиляції. Було встановлено, що повна теплоізоляція без вентиляції призводить до небажаного підвищення температури повітря та нагрівання електроніки. Тому була створена підсистема

вентиляції з невеликих компактних вентиляторів, які вентилювали повітря в ЗВЗ та ЗНЗ.

Внутрішній захист. ПЯГС різних, в тому числі і об'ємних (де під терміном «об'ємний» слід розуміти не тільки великі зразки, але і зразки довільної маси, форми та розмірів, напр. археологічні об'єкти) зразків, в яких знаходяться об'єми повітря, потребує додаткового, внутрішнього захисту (ВЗ), який знаходиться у ЗВЗ. Цей захист служить для одночасного захисту поверхні кристала Д та об'ємних зразків і складається з внутрішнього верхнього захисту – ВВЗ, який захищає зразки та внутрішнього нижнього захисту – ВНЗ, який захищає бокову поверхню детектора. Розроблено декілька конструкцій ВЗ, який складається із фольг Al, Cd, Ta, Cu.

Геометрії. Реалізація вказаних технічних рішень йшла поступово в різних напрямках, які ми умовно назвали геометріями. Наступна геометрія, як правило, є розвитком попередньої. Загалом було досліджено 21 геометрію. Вкажемо ті геометрії, які використовувались як базові, для порівняння з іншими геометріями.

Геометрія 0 (позначення – г0). В цій геометрії розпочинались виміри - детектор Д знаходився в ЗЗ і здійснюється вентиляція ЗЗ, ДП та ПЯГС стандартних джерел гамма-квантів, тобто виміри, для яких наявність ЗЗ некритична.

Геометрія 3 (г3). Це геометрія, коли Д знаходиться поза захистом в ДП. Використовується як базова для порівняння між собою різних геометрій та різних рівнів гамма-фону ближнього доквілля.

Режими вимірів гамма-фону. Окрім геометрій були виділені два режими (способи) виміру фону. Це – фон накопичення (позначений – ф.н.) та фон вентиляції (ф.в.). Фон накопичення – стартовий вимір гамма-фону після нічної або іншої тривалої перерви, коли в ДП та ЗЗ ніякі роботи не проводились. Фон вентиляції – наступний після виміру фону накопичення; вимір, коли з метою зменшення можливого накопичення

радіоактивності в повітрі ДП та ЗЗ здійснюється інтенсивна тепловентиляція. Обидва типи фонів здійснюються в геометрії г0.

Гамма-спектрометрія

Весь процес розробки системи контролювався гамма-спектрометрично. Виміри виконувались на напівпровідниковому Ge(Li) – детекторі ДГДК 100В (Д). Тривалість ТС одного виміру складала від 0,5 до 2 год. Пакет програм SBS-40 виконує функції багатоканального амплітудного аналізатора, де АГС.

Список ГАН та їх ліній. Розгляду підлягали основні лінії (ППП), виявлені та ідентифіковані програмою SBS-40. Це – ГАН (в дужках – енергія гамма-квантів, КеВ): Ac228 (338; 968; 911); Pb212 (239); Bi212 (727); Tl208 (583; 2614); Ra226 (186); Bi214(609; 1120; 1765); Pb214 (295; 351); K40 (1461); Cs137 (662).

Розрахунки кількісних характеристик. Для отримання кількісних характеристик та подальшого порівняльного аналізу використовувались значення інтенсивностей I :

$$I = \Delta Sx / T_{сж}, \quad (10)$$

де $\Delta Sx = S - Sf$. Для серії вимірів однієї геометрії знаходились (див. [6]) середні арифметичні значення $I_{сер}$ (функція СРЗНАЧ):

$$I_{сер} = \frac{\sum I}{n}, \quad (11)$$

стандартні вибіркові відхилення (функція СТАНДОТКЛОН):

$$s = \sqrt{\frac{n \sum I^2 - (\sum I)^2}{n(n-1)}}. \quad (12)$$

Оцінки ефективності ССПФ

Коефіцієнти ефективності захисту КЕЗ. Для порівняльного аналізу треба певну кількісну характеристику, котра б давала змогу безпосередньо порівнювати дані різних геометрій X з однією вибраною (базовою) геометрією. Як таку базову

геометрію ми вибрали геометрію 3 (г3: виміри поза захистом, у ДП) і визначили величину, яку назвали $K_{е3}$ коефіцієнтом ефективності захисту КЕЗ:

$$K_{е3} = I_{сер}(X) / I_{сер}(г3). \quad (12)$$

На рис. 6 приведені значення КЕЗ, впорядковані «від меншого до більшого», для різних геометрій X . Видно, що значення КЕЗ задовольняють експоненціальній залежності.

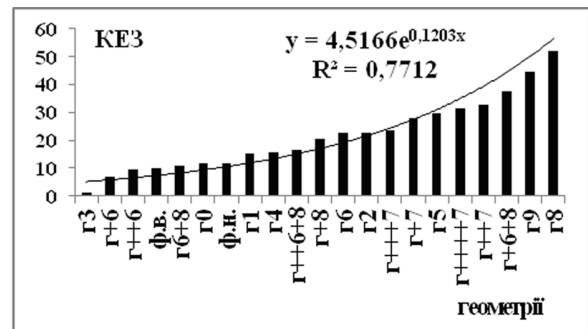


Рис. 6. Значення коефіцієнтів ефективності захисту КЕЗ для різних геометрій захисту (K40 (1461)).

Матриці КЕЗ. Можливість розрахунку КЕЗ можна розширити і для кожної лінії ГАН, розрахувати матрицю значень $K_{е3ij}$, в якій кожний елемент e

$$K_{е3ij} = I_{серi} / I_{серj};$$

$$K_{е3ji} = I_{серj} / I_{серi};$$

i, j – геометрії. Матриці КЕЗ діагональні; значення діагональних елементів = 1. В нижній (під діагоналлю) частині матриці – значення $K_{е3ij} > 1$; верхній – $K_{е3ij} < 1$.

Матриця КЕЗ – «антисиметрична»; елементи, симетричні відносно діагоналі, пов'язані виразом $K_{е3ji} = 1/K_{е3ij}$, тобто включає в себе значення КЕЗ і значення $1/КЕЗ$; вони між собою пов'язані. Тому надалі ми будемо користуватись значеннями $K_{е3} = K_{е3ij} > 1$.

Значення $K_{е3ij} = f(\text{геометрія } X)$ можна представити графічно. На рис. 7 приведені значення $K_{е3ij}$ K40 (лінія 1461 КеВ) для різних геометрій, позначених 1, 2. В цій матриці значення КЕЗ, зображені на рис. 6, займають перший стовпчик. Видно, що основний вклад дає ЗЗ (порівняння з геометрією г3).

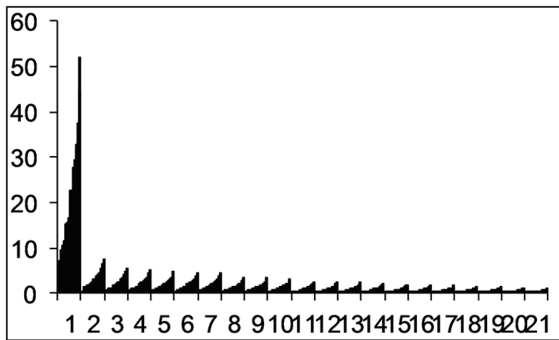


Рис. 7. Значення елементів матриці КЕЗ для різних геометрій захисту (К40 (1461)).

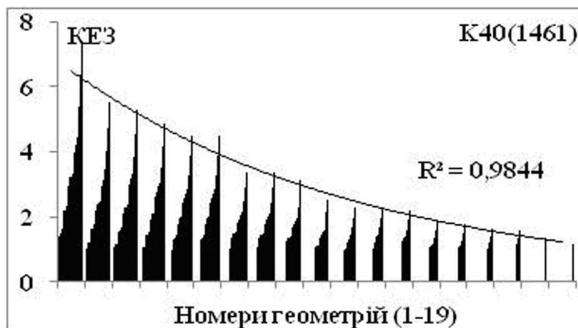


Рис. 8. Значення елементів матриці КЕЗ для різних геометрій захисту (без геометрії г3): К40 (1461).

На рис. 8 приведені значення КЕЗ, розраховані без геометрії г3 (геометрії, коли Д знаходиться поза захистом в ДП). Він ілюструє, що вклад інших геометрій менший, ніж вклад ЗЗ, однак є важливим. Матриці КЕЗ, розраховані для всіх ліній ГАН, є зручним методичним інструментом

для детального порівняльного аналізу можливостей ССПФ.

Висновки

ПЯГС гамма-фону розробленої системи та розрахунок коефіцієнтів ефективності створеної системи показали зменшення значень та дисперсії інтенсивності фонових ліній гамма-активних Ас228, Рb212, Вi212, Тl208 (ряд Th232); Ra226, Рb214, Вi214 (ряд U238), К40. Основний вклад, як і раніше, в зменшення гамма-фону дає ЗЗ: КЕЗ \geq 30; вклад розробленої нами ССПФ менший: КЕЗ \approx 7; вклад всієї системи захисту, в яку входить ЗЗ і ССПФ, знаходиться на рівні КЕЗ \approx 52. Значення КЕЗ для геометрій розробленої нами системи зростають експоненціально, зі зростанням мір захисту (підсистем ССПФ). Вказані закономірності справедливі для енергій гамма-квантів у діапазоні від 186 КеВ (Ra226) до 2614 КеВ (Тl208). Вказані закономірності справедливі для ГАН, які є дочірніми ГАН Радону (Рb212, Вi212, Тl208 – ряд Торію 232; Рb214, Вi214 – ряд Урану 238). Вказані закономірності справедливі також для ГАН, які є не дочірніми ГАН Радону (Ас228 – ряд Торію 232; Ra226 – ряд Урану 238); К40. Тому можна зробити висновок, що їх джерелом, окрім повітря, є речовина захисту, ДП і т.п.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гусев Н.С., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. Атомиздат, 400 (1977).
2. Гайсинкий М., Адлов Ж. Радиохимический словарь элементов. – М., Атомиздат, 256 (1968).
3. Гусев Н.С., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки. – М.: Атомиздат, 1978. – 88 с.
4. Чариков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: «ХИМИЯ», 1984. – 168 с.
5. Тустановский В.Т. Оценка точности и чувствительности активационного анализа. – М.: Атомиздат, 1976. – 192 с.
6. Сингалевская Г.И. Функции в Excel. – «Диалектика», 2005. – 880 с.
7. Минько А.А. Статистический анализ в MS Excel. – «Диалектика», 2004. – 448 с.

8. Стець М.В., Матювка О.М. Пошук залежностей в масивах даних природньої гамма-активності зразків доквілля // Науковий вісник УжНУ.

Серія Хімія. – 2009. – Вип. 22. – С. 158 – 165.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2011

Yu.Yu. Yurkuts¹, O.M. Pop², M.V. Stets², V.T. Maslyuk²

¹Uzhhorod National University, Uzhhorod

²Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad.Sci., Uzhhorod

BACKGROUND STABILIZATION AND REDUCTION IN THE GAMMA-SPECTROMETRIC COMPLEX

The gamma-spectrometric complex (GSC) used at the IEP NAS Ukraine utilizes a passive multilayer external protection (EP) produced in 1989. GSC complies, in general, with the requirements of the applied nuclear gamma-spectroscopy (ANGS) for the samples with mass above 100 g at the measurement limit of >10 Bq/kg with the > 10% error. ANGS of gamma-background and calculations of protection efficiency coefficients PEC of the developed system have shown the reduction of the intensity values and dispersion of the background lines for the gamma-active nuclides Th232, U238 and K40 series.

Key words: gamma-spectrometric complex, passive defense, background, gamma-active nuclides.

Ю.Ю. Юркуц¹, О.М. Поп², М.В. Стець², В.Т. Маслюк²

¹Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина

²Институт электронной физики НАН Украины, Ужгород, ул. Университетская. 21, Украина

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ И ПониЖЕНИЯ ФОНА В ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Гамма-спектрометрический комплекс (ГСК) ИЭФ НАНУ использует пассивную, многослойную внешнюю защиту (ВЗ), изготовленную в 1989 г. ГСК отвечает, в основном, требованиям прикладной ядерной гамма-спектрометрии (ПЯГС) образцов массой > 100г, с пределом таких измерений на уровне > 10 Бк / кг и погрешностью > 10 %. ПЯГС гамма-фона разработанной нами системы и расчет коэффициентов эффективности защиты КЭЗ созданной системы показали уменьшение значений и дисперсии интенсивности фоновых линий гамма-активных нуклидов рядов Th232, U238 и K40.

Ключевые слова: гамма-спектрометрический комплекс, пассивная защита, фон, гамма-активные нуклиды.