

О. А. Кучмагра, Г. І. Одинокін, А. Д. Скорбун, С. М. Стадник, А. С. Садовніков

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬФА-АКТИВНОСТІ РАДІАТОРА КАМЕРИ ПОДІЛУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НЕЙТРОННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

Досліджено власні шуми іонізаційної камери поділу КНТ-31-1 у складі нейтронного вимірювального каналу. Визначено статистичні параметри цього шумового сигналу, у тому числі діапазон амплітуд імпульсів, викликаних α -частинками матеріалу радіатора камери поділу. Показано умови, за яких шумовий сигнал від α -частинок (α -струм) може бути використано для контролю працездатності нейтронного вимірювального каналу.

Ключові слова: іонізаційна камера поділу, нейтронний вимірювальний канал, контроль працездатності.

Вступ

Однією з вимог до систем контролю, важливих для безпеки АЕС, до систем аварійної сигналізації про виникнення ланцюгової реакції, яка самопідтримується, до вимірювальних систем параметрів нейтронного потоку є вимога забезпечення перевірки працездатності всіх технічних засобів, що входять до складу цих систем [1]. Як правило, для виконання цієї вимоги до складу вимірювального каналу вводиться так званий тест-генератор, який за певним алгоритмом або за ініціативою оператора включається й після цього фіксується проходження тестового імпульсного сигналу по вузлах підсилення, формування й попередньої обробки. У деяких випадках, наприклад в апаратурі автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки, передбачено контрольне джерело (бленкер) з нуклідом ^{90}Sr , яке розміщене всередині корпусу блока детектування. У таких системах вимога перевірки працездатності виконується в повному обсязі, оскільки можуть бути перевірені всі вузли вимірювального каналу, включаючи детектор іонізуючого випромінювання.

У системах контролю нейтронного потоку, де використовуються камери поділу, у даний час використовується тільки тест-генератор, наприклад у [2]. У цьому випадку перевіряється тільки електроніка вимірювального каналу, а працездатність камери поділу не може бути перевірена.

У даній роботі досліджено можливість використання в якості тестового сигналу імпульсів від α -розпаду радіатора камери поділу для перевірки працездатності всього вимірювального каналу таких систем, включаючи детектор. Ідея про те, що радіатор камери поділу може бути використаний в якості внутрішнього контрольного джерела, висловлювалася неодноразово, наприклад у [3]. Мета даного дослідження полягає у вивченні конкретних характеристик фонового α -розпаду радіатора камери поділу у складі нейтронного вимірювального каналу та визначенні придатності цього сигналу для практичного використання, у першу чергу визначення можливості використання такої методики перевірки вимірювального каналу в умовах постійного нейтронного випромінювання, тобто не в лабораторних, а у виробничих умовах, наприклад за відсутності можливості чи значних труднощів демонтажу блока детектування для перевірки працездатності. Це особливо актуально [4] для систем контролю паливовмісних матеріалів об'єкта "Укриття".

Основні характеристики камер поділу

Для реєстрації нейтронного випромінювання застосовуються іонізаційні камери поділу, які серед детекторів даного випромінювання найменш чутливі до інших видів іонізуючого випромінювання і, як правило, супроводжують потік нейтронів [5]. На конструктивні елементи електроду у внутрішньому об'ємі камери поділу наноситься матеріал, який ділиться під дією нейтронів (так званий радіатор). Радіатори таких камер містять ядра ^{233}U , ^{235}U чи ^{239}Pu . Імпульс струму на виході камери поділу утворюється при русі в електричному полі електронів іонізації як уламками поділу, так і α -частинками від спонтанного розпаду матеріалу радіатора.

За відсутності зовнішнього нейтронного потоку і, відповідно, уламків поділу імпульси струму на виході камери поділу утворюються лише під дією α -частинок матеріалу радіатора. По суті усередині камери поділу знаходиться джерело іонізуючого випромінювання, яке створює так званий α -фон (або α -струм) камери поділу.

В імпульсних камерах поділу КНТ-31 і КНТ-31-1 в якості матеріалу радіатора використовується уран, збагачений до 90 % ізотопом ^{235}U . У такому урані зазвичай міститься близько 1 % домі-

© О. А. Кучмагра, Г. І. Одинокін, А. Д. Скорбун, С. М. Стадник, А. С. Садовніков, 2016

шок ^{234}U , α -активність якого значно більша, ніж у ^{235}U . За довідковими даними [5], питома α -активність чистого ^{235}U становить $80 (\text{с}\cdot\text{мг})^{-1}$, для чистого ^{234}U – $2,2\cdot 10^5 (\text{с}\cdot\text{мг})^{-1}$. Питома активність комерційного урану 90 %-ного збагачення по ^{235}U – $2,5\cdot 10^3 (\text{с}\cdot\text{мг})^{-1}$. Схожі дані наводяться і в [6], де вказано, що як матеріал радіатора застосовується уран високого збагачення (93 % ^{235}U + 1 % ^{234}U) або особливо високого збагачення (99,9 % ^{235}U , менше ніж 0,03 % ^{234}U). Проте, зважаючи на надзвичайно високу вартість, останній застосовується в разі крайньої необхідності зниження α -фону ^{234}U до рівня фону ^{235}U (зокрема, у камерах КНТ-14 і КНК-15-1 [5]), але не в КНТ-31 і КНТ-31-1, які розглядаються). Цей факт є експериментальним доказом того, що фоновий сигнал у вимірювальних системах з камерами поділу дійсно обумовлений α -розпадом радіатора.

Далі розглядається можливість використання такого джерела α -частинок для діагностування працездатності нейтронного вимірювального каналу, який включає блок детектування з камерою поділу КНТ-31-1, зарядочутливий підсилювач імпульсів та багатоканальний амплітудний аналізатор імпульсів в якості реєструючого приладу.

Експеримент

В основі дослідження лежить ідея, що амплітуди імпульсів у камері поділу є різними для нейтронів і α -частинок, а ймовірність одночасної реєстрації кількох α -частинок, що дають сумарний сигнал, порівнянний з нейтронним, є малою [7]. Для визначення діапазону реєстрації амплітуд імпульсів від α -частинок за умови мінімізації швидкості рахунку від шумів, наведень і впливу потоку нейтронів від зовнішнього джерела були проведені вимірювання та аналіз амплітудних спектрів імпульсів на виході підсилювача вимірювального каналу.

На початку був визначений діапазон амплітуд імпульсів від α -частинок за умови мінімізації швидкості рахунку від шумів і наведень електронного тракту. Для цього фіксувалися амплітудні спектри на виході вимірювального каналу у двох режимах: без високовольтного живлення камери поділу (α -струм не реєструється) і при ввімкненій високій напрузі живлення (α -струм реєструється). При цьому зовнішнє нейтронне випромінювання було відсутнє. Режим вимірювання за відсутності високої напруги на камері поділу дозволяє оцінити діапазон каналів амплітудного спектра (тобто діапазон амплітуд імпульсів), в яких реєструються шуми і наведення у вимірювальному каналі за відсутності імпульсів від α -частинок. Режим вимірювання з високовольтним живленням камери поділу дозволяє здійснювати збір заряду іонізації від α -частинок і фіксувати відповідний амплітудний спектр сигналу, обумовлений також і α -частинками.

Результати проведених вимірювань показали, що для досліджуваного вимірювального каналу (конкретні камера поділу, попередній підсилювач зі своїм коефіцієнтом перетворення “заряд - амплітуда”) максимальні значення амплітуд від шумів і наведень відповідають 25-му каналу аналізатора, тобто без високовольтного живлення камери поділу імпульси в діапазоні від 25-го до 300-го каналу не фіксувались і, відповідно, швидкість рахунку імпульсів у цьому діапазоні дорівнює нулю. При реєстрації α -частинок (високовольтне живлення ввімкнуте) у каналах від 25-го до 65-го фіксуються десятки тисяч імпульсів. На рис. 1 показано амплітудний спектр та дискримінаційну характеристику (залежність швидкості рахунку імпульсів від рівня дискримінації) фонових вимірювань. Значення кількості імпульсів у каналах на амплітудному спектрі представлено як середнє значення зафіксованих імпульсів по 10 вимірюваннях.

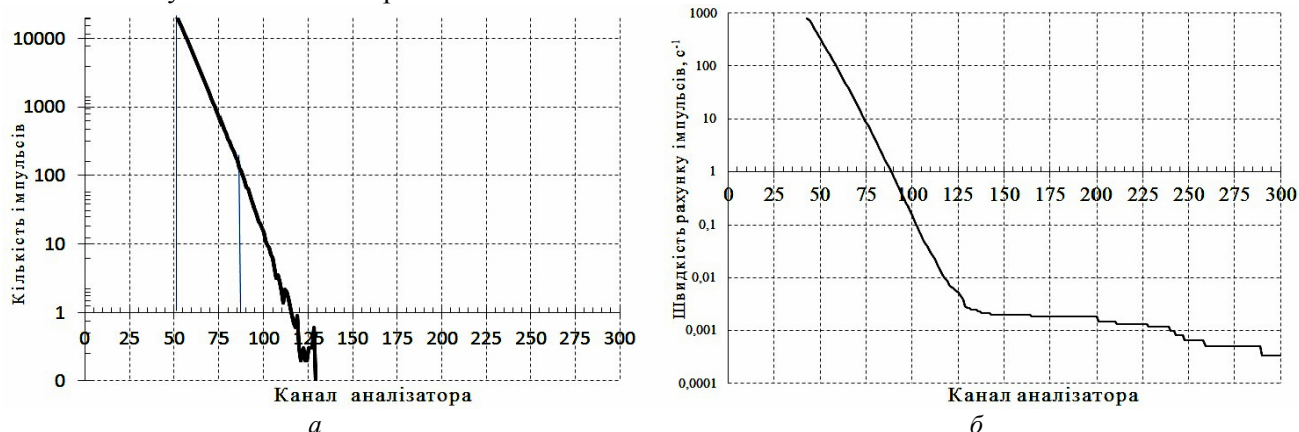


Рис. 1. Амплітудний спектр (а) та дискримінаційна характеристика (б) фонових вимірювань.

Швидкість рахунку імпульсів (див. рис. 1, б) залежно від рівня дискримінації від 50-го до 300-го каналу знижується майже до нуля. В амплітудному "вікні" від 50-го до 85-го каналу швидкість рахунку імпульсів більше 330 c^{-1} . У діапазоні від 85-го до 300-го каналу зрідка фіксуються імпульси, які можуть бути викликані детектуванням поодиноких теплових нейтронів і присутні в місці розташування блока детектування. Середня швидкість рахунку імпульсів у цьому діапазоні не перевищує $1,8 \text{ c}^{-1}$. Виходячи з отриманих результатів, доцільно прийняти для подальших досліджень (з міркувань надійного відсічення шумів і наведень), що амплітуди імпульсів α -струму камери поділу відповідають "вікну" амплітудного аналізатора в діапазоні від 50-го до 85-го каналу.

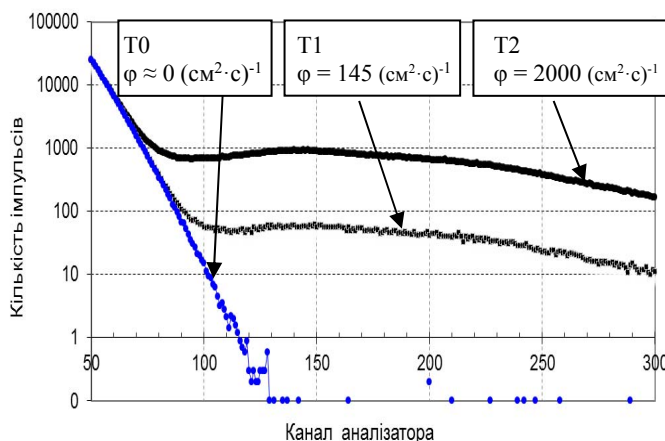


Рис. 2. Амплітудні спектри при різних потоках нейтронів. Час експозиції 600 с.

Далі були визначені статистичні характеристики експериментальних даних (середнє значення швидкості рахунку, середньоквадратичне відхилення швидкості рахунку, довірчі межі середньої швидкості рахунку) у каналах амплітудного аналізатора, визначених за результатами першого етапу, в яких реєструються імпульси з амплітудою, яка відповідає α -частинкам. Вимірювання проводились при розташуванні блока детектування в полі нейтронного випромінювання з густиною потоку нейтронів майже від нуля (фонові значення) до $2000 \text{ (cm}^2 \cdot \text{c)}^{-1}$. При проведенні вимірювань використовувалось плутоній-берилієве джерело нейтронів типу ІБН-12. Блок детектування розташовувався на різних відстанях від джерела (у точках, позначених як T1, T2) з різними значеннями густини потоку нейтронів. Результати вимірювань показано на рис. 2 (значення кількості імпульсів у каналах представлено як середнє значення зафіксованих імпульсів по 10 вимірюваннях).

На графіках добре видно нижню границю реєстрації уламків поділу (нейтронів) – це приблизно 105-й канал. У каналах з меншими номерами реєструється сумарний (нейтрон + фон) сигнал.

У таблиці для конкретності наведено результати розрахунків статистичних характеристик отриманих експериментальних даних. Аналіз результатів вимірювань показує, що середня швидкість рахунку імпульсів у визначеному амплітудному "вікні" при зміні зовнішнього потоку нейтронів на детектор від нуля до $\phi = 2000 \text{ (cm}^2 \cdot \text{c)}^{-1}$ відрізняється одна від одної на 23 c^{-1} , що становить 6,5 %, а відносна невизначеність вимірювань швидкості рахунку досить мала і лежить у межах від 0,13 до 0,45 %.

Результати вимірювань та розрахунків

Параметр	Точка виміру T0 (фон)	Точка виміру T1	Точка виміру T2
Густина потоку нейтронів ϕ ($\text{cm}^2 \cdot \text{c)}^{-1}$)	$\phi = 0$	$\phi = 145$	$\phi = 2000$
Швидкість рахунку n_i (у "вікні" від 50-го до 85-го каналу), c^{-1} (експозиція 600 с)	330,02	334,88	352,81
	331,01	333,18	354,17
	331,75	333,04	354,62
	331,09	333,81	354,79
	332,02	334,22	354,21
	331,70	335,10	353,64
	330,08	331,80	355,03
	331,68	330,80	354,14
	330,57	329,07	354,89
	331,92	329,66	354,12

Продовження таблиці

Параметр	Точка виміру Т0 (фон)	Точка виміру Т1	Точка виміру Т2
Густина потоку нейтронів ϕ ($\text{см}^2 \cdot \text{с}$) ⁻¹	$\phi = 0$	$\phi = 145$	$\phi = 2000$
Середня швидкість рахунку $\bar{n}_k = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ik}}{m}, \text{с}^{-1}$	331,18	332,56	354,24
Стандартна невизначеність середньої швидкості, с^{-1} $S_{nk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_{ik} - \bar{n}_k)^2}{m \cdot (m - 1)}}$	0,24	0,68	0,21
Довірчі границі при ймовірності 0,95, с^{-1} $\Delta_{nk} = t_s \cdot S_{nk}$	0,52	1,49	0,46
Відносна невизначеність, % $\delta_{nk} = \frac{\Delta_{nk}}{\bar{n}_k}$	0,16	0,45	0,13

У таблиці використано показник t_s (критерій Стьюдента), який при довірчій імовірності 0,95 та 10 вимірюваннях дорівнює 2,3.

Залежність середньої швидкості рахунку від температури досліджувалась у діапазоні зміння температури блока детектування з попереднім підсилювачем від 15 до 40 °С. Виявлено, що додаткова похибка середньої швидкості рахунку не перевищує 0,3 %/°С і зменшується зі зменшенням діапазону амплітудного "вікна" досліджуваного α -струму. Але в будь-якому випадку таке значення температурної залежності швидкості рахунку є прийнятним для нейтронного вимірювального каналу й у подальшому може не братися до уваги.

Висновки

Кількісно проаналізовано шуми іонізаційної камери поділу КНТ-31-1. Визначено діапазон амплітуд (каналів) імпульсів, де шуми α -фону перевищують шуми апаратури. Це дає змогу використовувати α -фон у практиці лабораторних вимірювань і у виробничих умовах.

Виявлено, що статистичні відхилення швидкості рахунку імпульсів у заздалегідь визначеному амплітудному "вікні" є незначними і це дає змогу використовувати α -фон в якості тестового сигналу для перевірки працездатності як електроніки вимірювального тракту, так і камери поділу.

Незначна залежність швидкості рахунку α -фону (при відповідному виборі амплітудного "вікна") від зовнішнього нейтронного випромінювання дозволяє перевіряти працездатність вимірювального каналу в реальних умовах експлуатації.

Стабільність статистичних параметрів швидкості рахунку α -фону у визначеному «вікні» підтверджує стабільність метрологічних характеристик нейтронного вимірювального каналу - коефіцієнта перетворення густини потоку нейтронів та величину основної похибки коефіцієнта перетворення. Подальший розвиток цього положення має за мету розробку методики повірки нейтронного вимірювального каналу без демонтажу блоків детектування з місць розташування. Така методика дуже актуальна для використання у системі ядерної безпеки інтегрованої автоматизованої системи контролю об'єкта «Укриття».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Правила проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий.* ПБЯ-06-10-91. - 1991.
2. *Августов В.В., Кучмагра А.А., Одинокин Г.И. и др.* Система контроля состояния топливосодержащих материалов "Сигнал". Конфигурация и технические средства измерения // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 11. - С. 73 - 75.
3. *Мальшев Е. К., Засадыч Ю.Б., Стабровский С. А.* Газоразрядные детекторы для контроля ядерных реакторов. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - С. 159.
4. *Довыдьков А. И., Краснов В. А., Щербин В. Н.* Анализ задач контроля ядерной безопасности // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2015. - Вып. 25. - С. 115 - 124.
5. *Дмитриев А.Б., Мальшев Е.К.* Нейтронные ионизационные камеры для реакторной техники. - М.: Атомиздат, 1975. - С. 94.
6. *Козлов В. Ф.* Справочник по радиационной безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - С. 352.
7. *Калашникова В.И., Козодаев М.С.* Детекторы элементарных частиц. - М.: Наука, 1996. - С. 407.

А. А. Кучмагра, Г. И. Одинокин, А. Д. Скорбун, С. Н. Стадник, А. С. Садовников

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬФА-АКТИВНОСТИ РАДИАТОРА КАМЕРЫ ДЕЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕЙТРОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Исследованы собственные шумы ионизационной камеры деления КНТ-31-1 в составе нейтронного измерительного канала. Определены статистические параметры этого шумового сигнала, в том числе диапазон амплитуд импульсов, вызванных α -частицами материала (^{235}U) радиатора камеры деления. Показаны условия, при которых шумовой сигнал от α -частиц (α -ток) может быть использован для контроля работоспособности нейтронного измерительного канала.

Ключевые слова: ионизационная камера деления, нейтронный измерительный канал, контроль работоспособности.

O. A. Kuchmagra, G. I. Odinokin, A. D. Skorbutun, S. M. Stadnyk, A. S. Sadovnikov

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chernobyl, 07270, Ukraine

USING OF A-ACTIVITY OF FISSION CAMERAS RADIATOR FOR CONTROLLING OF NEUTRON SENDING CHANNEL WORKING ABILITY

Internal noises of ionization fission chamber KNT-31-1, which is a part of neutron measuring channel, have been investigated. Statistical parameters of those noise signal, among them diapason of amplitudes of impulses, which arise from α -particles from fission chamber radiator ($^{234,235}\text{U}$), have been evaluated. The conditions, at which a noise signal from α -particles (alpha-current) can be applied for control of neutron measuring channel workability, have been shown.

Keywords: ionization fission chamber, neutron measuring channel, workability control.

REFERENCES

1. *Regulations of the design and operation of alarm systems on the occurrence of a self-sustaining chain reaction and the organization of measures to limit its impact.* RSN-06-10-91. - 1991. (Rus)
2. *Augustov V. V., Kuchmagra A. A., Odinokin G. I. et al.* System of monitoring of fuel materials "Signal". Configuration and technical measuring // Problemy Chornobylya. - 2002. - № 11. - P. 73 - 75. (Rus)
3. *Malyshev E. K., Zasadych Y. B., Stabrovskaya S. A.* The discharge detectors for monitoring nuclear reactors. - Moskva: Energoatomizdat. - 1991. - P. 159. (Rus)
4. *Davydkov A. I., Krasnov V. A., Shcherbin V. N.* Analysis of monitoring tasks of nuclear safety // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2015. - Iss. 25 - P. 115 - 124. (Rus)
5. *Dmitriev A. B., Malyshev E. A.* Neutron ionization chamber for reactor engineering. - Moskva: Atomizdat, 1975. - P. 94. (Rus)
6. *Kozlov V. F.* Reference book on radiation safety. - Moskva.: Energoatomizdat, 1991. - P. 352. (Rus)
7. *Kalashnikov V. I., Kozodaev M. S.* Detectors of elementary particles. - Moskva: Nauka, 1996. - P. 407. (Rus)

Надійшла 12.05.2016
Received 12.05.2016