

гностика подшипниковых узлов электрических машин / Б.Г. Марченко, М.В. Мыслович. – К.: Наукова думка, 1992. – 196 с. **8. Марченко Б.Г.** Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике / Б.Г. Марченко. – К.: Наукова думка, 1973. – 191 с. **9. Коваленко И.Н.** Случайные процессы: Справочник / И.Н. Коваленко, Н.Ю. Кузнецов, В.М. Щуренков. – К.: Наукова думка, 1983. – 366 с.

Bibliography (transliterated): 1. Roman, O.V., Skorohod, V.V., Fridman, G.R. *Ul'trazvukovoj i rezistometricheskij kontrol' v poroshkovej metallurgii*. Minsk: Vysshaja shkola, 1989. Print. **2.** Fedorchenko, I.M., Andrievskij, R.A. *Osnovy poroshkovej metallurgii*. Kyiv: AN USSR, 1963. Print. **3.** Baldev R., Radzhendran V., Palanichami P. *Primenenie ul'trazvuka*. Moscow: Tehnosfera, 2006. Print. **4.** Cheremskoj, P.G., Slezov, V.V., Betehtin, V.I. *Pory v tverdom tele*. Moscow: Jenergoatomizdat, 1990. Print. **5.** Berkman, A.S. *Poristaja pronicaemaja keramika*. Moscow: Gosstrojizdat, 1959. Print. **6.** Eremenko, V.S., Galagan, R.M. "Ways to minimize the total error of ultrasonic velocity measurements in materials with heterogeneous structure". *Electrotechnical and Computer Systems* 06 (82) (2012): 39-45. Print. **7.** Marchenko, B.G. Myslovich, M.V. *Vibrodiagnostika podshipnikovyh uzlov jelektricheskikh mashin*. Kyiv: Naukova dumka, 1992. Print. **8.** Marchenko, B.G. *Metod stohasticheskikh integral'nyh predstavlenij i ego prilozhenija v radiotekhnike*. Kyiv: Naukova dumka, 1973. Print. **9.** Kovalenko, I.N., Kuznecov, N.Ju., Shhurenkov, V.M. *Sluchajnye processy: Spravochnik*. Kyiv: Naukova dumka, 1983. Print.

Надійшла (received) 30.04.2014

УДК 504.064.3:66.085

О. М. ГРИГОР'ЄВ, канд. физ. мат. наук, ст. н. с. НДЛ ФВПНТУ «ХП»;

З. В. БЛИК, науч. сот. НДЛ (о РХБ з), ФВП НТУ «ХП»;

Ю. В. ЛИТВИНОВ, доц. Харківського Національного пед.ун-ту;

О. В. САКУН, канд. біол. наук, нач. каф. ХБТХР, ФВП НТУ «ХП»;

В. В. МАРУЩЕНКО, канд. біол. наук, доц., нач. каф. БЗПВРХБз, ФВП НТУ «ХП»

О. Ю. ЧЕРНЯВСЬКИЙ, начальник НДЛ (о РХБ з), ФВП НТУ «ХП».

ЧОТИРИКАНАЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР ІМПУЛЬСІВ ДЛЯ ОДНОЧАСНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ АЛЬФА-, БЕТА-, ГАММА- ТА НЕЙТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАНЬ

Розроблена апаратура та спосіб для одночасного вимірювання енергетичних спектрів альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання із застосуванням напівпровідниково-

© О. М. Григор'єв, З. В. Білик, Ю. В. Литвинов, О. В. Сакун, В. В. Марущенко,
О. Ю. Чернявський, 2014

вих блоків детектування, аналого-цифрових перетворювачів, персонального комп'ютера та програмного забезпечення. Експериментальні дослідження з використанням джерел альфа-, бета-, гамма-випромінювання довели працездатність приладу з достатньо високими технічними параметрами, такими як: точність та стабільність своїх характеристик.

Ключові слова: альфа-джерела, бета-джерела, гамма-джерела, нейтронне джерело, багатоканальний аналізатор імпульсів, кремній, телурид кадмію.

Вступ. Проведення якісного радіаційного екологічного моніторингу різних об'єктів вимагає застосування приладів з широким діапазоном вимірювань, а також використання методів спектрометрії [1].

У роботі [2] описаний спектрометр-дозиметр для автоматичного вимірювання потоків, доз альфа-, бета-випромінювання та спектрів гамма-випромінювання речовин за допомогою напівпровідникових детекторів. Цей пристрій не визначає наявність нейтронного випромінювання та товщину шару альфа-випромінювання.

Відомий спосіб реєстрації нейтронів [3], який заснований на рахунку миттєвих γ -квантів захоплення, що утворюються при взаємодії нейтронів з ядрами кадмію-113. Для створення гамма-квантів захоплення та їх реєстрації використовують монокристал напівпровідникової сполуки кадмію, зокрема, селенід або телурид кадмію. Даний спосіб менш інформативний внаслідок відсутності спектрів гамма-випромінювання, по якому можна виділити «кадмієві» нейтрони за реакцією $^{113}\text{Cd} (n, \gamma) ^{114}\text{Cd}$, а також не дозволяє визначити нейтронні джерела в присутності потужних γ -джерел.

У роботі [4] проведено визначення основних вимірювальних параметрів широкодіапазонних дозиметрів-радіометрів нейтронів і фотонів МКС-03СМ, блок детектування якого реалізує принцип розміщення декількох лічильників на різній глибині в сповільнювачі. Визначено основні вимірювальні параметри в діапазоні енергій від 25 кеВ до 15 МеВ. Для оперативного індивідуального контролю персоналу по еквівалентній дозі розроблений прямопоказуючий сигнальний дозиметр ДКБН-01, принцип роботи якого заснований на застосуванні детектору нейтронів з кремнієвого напівпровідникового детектору з водородвмісним радіатором. Дані пристрої не дозволяють визначати альфа- і бета-джерела.

В роботі [5] для вимірювання полів гамма-випромінювання та надійної ідентифікації основних ізотопів-продуктів поділу запропонований повністю цифровий гамма-спектрометр з багатоелементних CdZnTe-детектором. Спектрометр містить масив детекторів з CdZnTe, цифровий багатоканальний аналізатор імпульсів, реалізований з використанням швидкодіючих АЦП 32-розрядних сигнальних процесорів. Кожен детектор виготовлений таким чином, що забезпечуються умови переважного збору носіїв одного знака (квазісферична геометрія). Це

дозволяє істотно покращити енергетичну розподільчу здатність. Для детекторів спектрометричної якості розподільча здатність знаходиться в діапазоні 6-9 кеВ для енергії 662 кеВ ^{137}Cs . Даний спектрометр дозволяє проводити вимірювання лише гамма-випромінювання.

Авторам не відомі прилади, наприклад [6,7], для одночасного вимірювання альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання.

Таким чином, аналіз літературних даних показав, що не існує приладу для одночасного вимірювання альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання.

Метою роботи є розробка способу та приладу для одночасного визначення альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання, що зменшує час вимірювання бета- та гамма-випромінювання, а також дає змогу одночасно вимірювати щільність потоку альфа- та нейтронних часток.

Викладення основного матеріалу. Аналіз вищевикладених приладів для детектування ядерних випромінювань та детекторів, що застосовують для їх аналізу, підвів до використання для одночасного вимірювання альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання в чотирьох багатоканальних аналізаторах імпульсів наступних детекторів:

1) спектрометричний телурид-кадмієвий детектор розміром $5 \times 5 \times 3$ міліметра для вимірювання розподілу гамма-квантів за енергією, де ефективність рахунків детектора складала 0,8 % [8];

2) кремнієвий детектор площею 10×10 мм перед яким був розташований поглинач з товщиною алюмінію 30 мкм, що затримував потік α -часток та пропускав β -частки з енергією більше ніж 100 кеВ і використовувався для вимірювання щільності потоку бета-часток;

3) кремнієвий детектор площею 10×10 мм, який вкритий шаром алюмінію товщиною 1 мкм для захисту від зовнішнього світла, що використовувався для вимірювання щільності потоку альфа-часток;

4) кремнієвий детектор площею 10×10 мм, що був загорнутий в поліетиленову плівку для вимірювання щільності потоку швидких нейтронів [4,9].

До переваг Si детекторів, що застосовували для реєстрації альфа-, бета- та нейтронного випромінювання, варто віднести [10]:

розподіл за енергією на лінії плутонія-238 може не перевищувати 10-12 кеВ;

відкрита поверхня р-п-переходу площиною 1 см^2 ;

технологія виготовлення р-п-переходу здійснюється дифузією бором та фосфором, що дозволяє розраховувати на підвищену радіаційну

та механічну стійкість; товщина р-п-переходу може досягати 0,3 мм, що дозволяє міряти енергію β -часток до 300 кеВ, α -часток – до 10 МеВ.

Для одночасного вимірювання альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання було створено діючий макет з чотирьох багатоканальних аналізаторів імпульсів, який зображено на рисунку 1.

Блоки детектування альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання підключені до чотирьох входів аналізатора імпульсів. Блок детектування альфа-випромінювання – без кришки з фольгою. Результати вимірювань виводяться на персональний комп'ютер.

Спосіб, завдяки якому можливо одержувати інформацію з чотирьох датчиків випромінювання, базується на використанні чотирьох шістнадцятирозрядних аналого-цифрових перетворювачів, що керуються одним мікроконтролером. Загальна схема одного каналу аналізатора імпульсів зображена на рисунку 2, в якій мікроконтролер є загальним для чотирьох каналів вимірювання.

В чотирьох багатоканальних аналізаторах імпульсів використовувались передсилювач ОРА 27, шістнадцяти розрядний АЦП ADS 8361, восьми розрядний мікропроцесор 16F877А, малошумлячий з високоомним опором та високою швидкістю наростання сигналу підсилювач AD8033. В аналогово-цифровому перетворювачі використовувалися дванадцять розрядів АЦП з можливістю використання додаткових розрядів для підвищення роздільної здатності.



Рис. 1 – Чотириканальний аналізатор імпульсів для одночасного вимірювання альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання

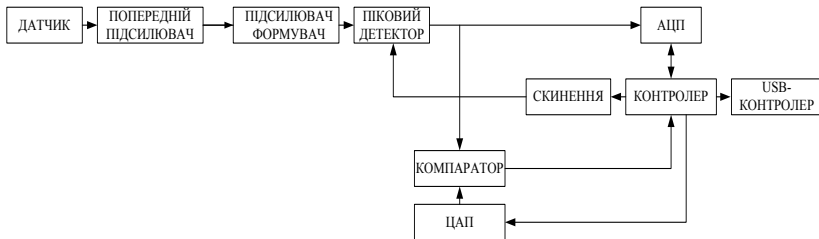


Рис. 2 – Загальна схема одного каналу аналізатора імпульсів

При проведенні експериментальної перевірки чотирьох багатоканальних аналізаторів імпульсів за каналом гамма-випромінювання використовувалось джерело гамма-випромінювання ^{137}Cs активністю $A=1,185 \times 10^{11}$ Бк. Спектр гамма-випромінювання, що отриманий від джерела ^{137}Cs , зображений на рисунку 3 – спектрометр 1.

Відстань до джерела ^{137}Cs складала 3,5 метри, дискримінація встановлювалась на рівні 100-110 кеВ для вимірювання по гамма-каналу, півширина піку складала 15 %. Як видно з рисунку 3 для кожного каналу характерна відповідна кількість рахунків та відповідний енергетичний спектр.

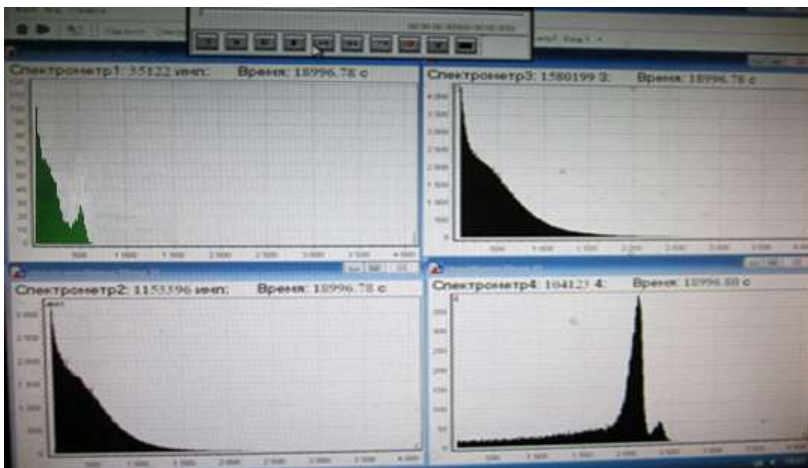


Рис. 3 – Спектр від джерел ^{137}Cs – спектрометр 1, $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ – спектрометр 2 та 3, ^{239}Pu – спектрометр 4.

При проведенні експериментальної перевірки чотириканального аналізатора імпульсів за каналом альфа-випромінювання використовувалось закрите джерело альфа-випромінювання з радіонуклідом ^{239}Pu активністю $A=9,693 \times 10^3$ Бк. Спектр альфа-випромінювання, що отриманий від джерела з активністю A зображений на рисунку 3 – спектрометр 4. Відстань до джерела складала 1 сантиметр, енергія альфа-часток, що реєструвалися, була на рівні 3-4 МеВ, півширина піку складала 9,5 %.

При проведенні експерименту із використанням цього ж детектора [10], що поміщувався у вакуумну камеру з альфа-джерелом з набору ОСАИ плутоній-238 півширина піку складала 16 кеВ (0,35 %), еквівалент товщини джерела дорівнював 8 кеВ, кутова колімація джерела додавала до еквіваленту товщини ще 2 кеВ. Для підсилення сигналу детектору використовувався предпідсилювач з еквівалентом шумів 7 кеВ.

Таким чином, порівняння енергетичних спектрів, що отримані в польових умовах в каналі альфа-вимірювань та у вакуумній камері показує високу якість визначення альфа-джерел при використанні кремнієвих детекторів, а також можливість ідентифікації ізоотопів за визначеною енергією та можливістю визначення товщини шару радіонукліду.

При проведенні експериментальної перевірки чотириканального аналізатора імпульсів за каналом бета-випромінювання використовувалось закрите джерело бета-випромінювання з радіонуклідом $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ активністю $A=2,896 \times 10^9$ Бк. Спектр бета-випромінювання, що отриманий від джерела $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ зображений на рисунку 3 – спектрометр 3.

Відстань до джерела $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ складала 10 сантиметрів.

При проведенні експериментальної перевірки чотириканального аналізатора імпульсів за каналом нейтронного випромінювання використовувалось закрите джерело бета-випромінювання з радіонуклідом $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ активністю $A=2,896 \times 10^9$ Бк. Спектр бета-випромінювання, що отриманий від джерела $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ зображений на рисунку 3 – спектрометр 2.

При проведенні експериментальної перевірки чотириканального аналізатора імпульсів одночасно за чотирма каналами використовувались джерела альфа-, бета-, гамма-випромінювання, що були описані вище. Спектри, що отримані від цих джерел зображені на рисунку 3. Похибка вимірювання не перевищувала 1 %, тобто в кожному каналі вимірювання набиралось не менш як 10000 імпульсів. Таким чином, якщо визначаються альфа-, бета-, нейтронне випромінювання в присутності гамма-випромінювання у відповідних каналах вимірювання, при даних порогах дискримінації, пропорційно віднімається кількість імпу-

льсів, що зареєстрована від гамма-джерела телурид кадмієвим детектором.

Висновки. В роботі проведений літературний огляд, який показав актуальність розробки приладу для одночасного вимірювання альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання. Проведений аналіз літератури показав, що для реєстрації альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання найбільш доцільним, за своїми характеристиками, є застосування напівпровідникових детекторів. З напівпровідникових детекторів для розробленого чотириканального аналізатора імпульсів було обрано спектрометричний телурид кадмію та кремній, завдяки можливості їх застосування в польових умовах з високими технічними характеристиками такими як: стабільність роботи; широкий температурний інтервал застосування від -60 С до +60 С; висока точність вимірювання та малі габарити.

Для одночасного вимірювання інформації за чотирима каналами розроблено спосіб, що базується на використанні чотирьох шістнадцяти розрядних аналого-цифрових перетворювачів.

Розроблений діючий макет універсального радіометра при експериментальних дослідженнях по вимірюванню альфа-, бета-, гамма-випромінювань засвідчив працездатність, точність та стабільність своїх характеристик.

У подальшому розробці підлягає створення програмного забезпечення для розширення динамічного діапазону та швидкодії приладу.

Список літератури: 1. *Чернявський І.Ю.* Військова дозиметрія. / *І.Ю. Чернявський, В.В. Маруценко, І.М. Мартинюк* Підручник. – Харків : ФВП НТУ “ХПІ”, 2011. – 472 с. 2. *Сафьянников Н.М., Кутуан А.А.* Спектрометр-дозиметр : Пат. 2366977 РФ, G01T1 / 24, G01T1 / 16, G01T1 / 02 – 2008109434 / 28 Заявл. 11.03.2008 ; Опубл. 10.09.2009. 3. *Юровський А.В.* Способ регистрации нейтронов : Пат. 2091814 РФ, G01T3 / 08 – 95100444 / 25 Заявл. 11.01.1995 ; Опубл. 27.09.1997. 4. *Бойко А.В., Киреев В.П., Коваленко В.Г., Петров В.И., Слученков Г.Ф.* Определение основных измерительных параметров широкодиапазонных дозиметров-радиометров нейтронов и фотонов (СНИИП). // *Ядер. измерит.-инф. технол.* – 2002, № 3, с. 48 – 55. 5. *Олейник С.Г., Маслов О.В., Максимов М.В.* Спектрометрические измерения в полях гамма-излучения высокой интенсивности при обращении с РАО высокой активности. // 8 Российская научная конференция “Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях”, Обнинск, 17-19 сент., 2002 : Тезисы докладов. – изд-во ГНЦ РФ ФЭИ. 2002, с. 322-324. 6. Company Amptek “Products”. Company Amptek, 1977. Web. 7 April 2014 <<http://www.amptek.com>>. 7. ОАО “Институт физико-технических проблем” “Продукция и услуги”. Открытое акционерное общество “Институт Физико-Технических Проблем Федерального Агентства по атомной энергии”, 1992. Web. 7 April 2014 <<http://iftp.ru/>>. 8. *Беденко Л.Б., Арсеньева О.М., Григор’єв О.М., Стервасдов М.Г.* Спектрометр гамма-випромінювання на базі телурид кадмієвих детекторів // *Збірник наукових праць “Системи обробки інформації”*. – Х. : ХУПС. – 2005. – Вип. 5 (45). – с. 214-219. 9. *Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матушевич Е.С.* Основы экспериментальных методов ядерной физики. – М. : Атомиздат, 1970, – 560 с. 10. *А.Н. Григорьев, А.Г. Кареев, Д.А. Каракурджи, Л.Б. Беденко; Т.А. Жадан,*

С.И. Сасько. Применение кремниевых фотодиодов для альфа-спектрометрии и измерения бета- и нейтронных потоков // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск “Колісні та гусеничні машини спеціального призначення.” – Харків : НТУ “ХПІ”. – 2003. – № 28. – с. 72-75.

Bibliography (transliterated): 1. *Chernyavs'kyj, I.Y., V.V. Marushhenko and I.M. Marty nyuk. Vijs' kova dozy metriya. Pidruchny'k. Kharkov: FVP NTU “XPI”, 2011. Print.* 2. *Safjannikov, N.M. and A.A. Kutuan. “Spektrometr-dozimetr”:* Pat. 2366977 RU, G01T1 / 24, G01T1 / 16, G01T1 / 02 – 2008109434 / 28 Zajavl. 11.03.2008 ; Opubl. 10.09.2009. 3. *Jurovskij, A.V. “Sposob registracii nejtronov”:* Pat. 2091814 RU, G01T3 / 08 – 95100444 / 25 Zajavl. 11.01.1995 ; Opubl. 27.09.1997. 4. *Bojko, A.V., et al. “Opredelenie osnovnyh izmeritel'nyh parametrov shirokodiapazonnyh dozimetrov-radiometrov nejtronov i fotonov (SNIP)”.* Jader. izmerit.-inf. tehnol. № 3. 2002. 48 – 55. Print. 5. *Olejnik, S.G., O.V. Maslov and M.V. Maksimov “Spektrometricheskie izmerenija v poljah gamma-izlucheniya vysokoj intensivnosti pri obrashhenii s RAO vysokoj aktivnosti”.* 8 Rossijskaja nauchnaja konferencija “Radiacionnaja zashhita i radiacionnaja bezopasnost' v jadernyh tehnologijah”, Obninsk: GNC RFFJel, 2002. 322-324. Print. 6. Company Amptek “Products”. Company Amptek, 1977. Web. 7 April 2014 <<http://www.amptek.com>>. 7. ОАО “Institut fiziko-tehnicheskikh problem” “Produkcija i uslugi”. Otkrytoe akcionernoe obshhestvo “Institut Fiziko-Tehnicheskikh Problem Federal'nogo Agentstva po atomnoj jenergii”, 1992. Web. 7 April 2014 <<http://iftp.ru/>>. 8. *Bedenko, L.B., et al. “Spektrometr gamma-vy'prominyuvannya na bazi telury' d kadmiyevy' x detektoriv”.* Zbim'y'k naukovy'x prac' “Sy'stemy' obrobky' informaciyi”. Kharkov: XUPS, 2005. 45 vols. 5th. 214-219. Print. 9. *Abramov, A.I., Ju.A. Kazanskij and E.S. Matusevich Osnovy jeksperimental'nyh metodov jadernoj fiziki. Moscow: Atomizdat, 1970. Print.* 10. *Grigor'ev, A.N., et al. “Primenenie kremnievyh fotodiodov dlja al'fa spektrometrii i izmerenija beta- i nejtronnyh potokov”.* Visny'k NTU “XPI”. Zbim'y'k naukovy'x prac' . Tematy'chny'j vy'pusk “Kolisni ta gusen'y'chni mashy'ny' special'nogo pry'znachennya.” Kharkov: NTU “XPI”, № 28. 2003. 72-75. Print.

Надійшла (received) 07.05.2014

УДК 620.179.14

А. Г. ПРОТАСОВ, докт. пед. наук, доц., НТУУ «КПІ»,Київ;

К. М. СЕРИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ»,Київ;

О. Л. ДУГІН, аспірант, НТУУ «КПІ»,Київ;

В. Ф. ПЕТРИК, канд. техн. наук, доц, НТУУ «КПІ»,Київ

ВИХРОСТРУМОВИЙ ДЕФЕКТОСКОП З ТЕЛЕМЕТРИЧНИМ КАНАЛОМ ЗВ'ЯЗКУ

В роботі запропоновано схему дефектоскоп для вихрострумового неруйнівного контролю, який має телеметричний канал зв'язку з пристроєм обробки і відображення інформації. Створений дефектоскоп має малу вагу і розміри, що дозволяє використовувати

© А. Г. Протасов, К. М. Серий, О. Л. Дугін, В. Ф. Петрик, 2014