

Д. О. Хоменко^{1,2,3}, В. В. Єгоров¹, Л. І. Павловський¹

¹ Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

² Інститут проблем математичних машин та систем НАН України, пр-т Академіка Глушкова, 42, Київ, 03187, Україна

³ Інститут Вольфганга Паулі, Оскар-Моргенштерн-Плац, 1, Відень, 1090, Австрія

Застосування методу досліджень кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання

Ключові слова:
кутовий розподіл,
гамма-випромінювання,
біологічний захист,
об'єкт «Укриття»,
ЧАЕС

Представлено результати практичного застосування та перевірки ефективності методу дослідження кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання за допомогою пристрою «Радіометр-дозиметр МКС-07 «Пошук» із виносним детектором у коліматорі» (ДК-В). Метою роботи є перевірка ефективності цього методу за допомогою пристрою ДК-В на заздалегідь відомих джерелах і отримання масиву даних в одній зоні з різних точок. Перед початком проведення дослідження був виконаний аналіз наявних даних щодо радіаційного стану. Це дозволило визначити кількість проведення вимірювань кутових розподілів гамма-випромінювання для перевірки ефективності методу та місця розташування точок вимірювань. У результаті аналізу вихідних даних з радіаційного стану було прийнято рішення дослідити зону об'єкта «Укриття» (ОУ) у напрямку Захід → Схід. У цій зоні знаходяться відомі джерела в завалах центрального залу 4-го енергоблока Чорнобильської атомної електростанції. Отримані результати вимірювань кількісної характеристики кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання представлені у графічному вигляді. За результатами проведених досліджень сформульовано низку висновків, які доводять високу ефективність цього методу як у низьких, так і у високих полях іонізуючого випромінювання.

Вступ

З метою визначення кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання в завалах центрального залу 4-го енергоблока Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) об'єкта «Укриття» (ОУ), фахівцями Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України) був застосований метод дослідження за допомогою пристрою «Радіометр-дозиметр МКС-07 «Пошук» з виносним детектором у коліма-

торі» (ДК-В). Цей метод дозволяє визначити місця розташування джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) та напрямки гамма-випромінювання [1], що в майбутньому дасть змогу зменшити дозовитрати на персонал під час поводження з ними.

Метою роботи є перевірка ефективності зазначеного методу за допомогою пристрою ДК-В на заздалегідь відомих джерелах і отримання даних у межах однієї зони з різних точок.

Дослідження було заплановано виконувати в місцях із відносно невисоким рівнем гамма-фону

© Д. О. Хоменко, В. В. Єгоров, Л. І. Павловський, 2022

(до 1 мЗв/год) для мінімізації дозовитрат на персонал. Під час виконання вимірювань у одній із точок було знайдено невідоме раніше джерело з високою інтенсивністю гамма-випромінювання. Тому під час робіт було прийнято рішення дослідити його, незважаючи на значний (10,69 мЗв/год) рівень потужності дози (ПД).

Обладнання та зона дослідження

Методика проведення досліджень за допомогою пристрою ДК-В. У пристрої ДК-В для вимірювань застосовано стандартний дозиметр-радіометр МКС-07 «Пошук» та спеціально сконструйований виносний детектор, який був поміщений у свинцевий коліматор товщиною 30 мм та має юстирувальний пристрій для проведення кутових вимірювань кроком 15° [2].

Кут розгортання конусоподібного отвору основного коліматора становить $22,5^\circ$. Для проведення більш точних вимірювань виготовлено спеціальні вставки зі свинцю товщиною 30 мм із кутом розгортання конусоподібного отвору, що колімує, 10° . На рис. 1 наведено загальний вигляд пристрою ДК-В.



Рис. 1. Радіометр-дозиметр МКС-07 «Пошук» із виносним колімованим детектором: 1 — свинцевий корпус коліматора з детектором гамма-випромінювання БДБГ-10; 2 — лімба для встановлення коліматора з детектором у вертикальній площині; 3 — лімба для встановлення коліматора з детектором у горизонтальній площині; 4 — радіометр-дозиметр МКС-07 «Пошук»; 5 — тринога

Перед початком робіт були виконані калібрувальні вимірювання з гамма-джерелами.

Вимірювання виконували дві особи. Експозиція одного вимірювання у процесі сканування становить від 1,5 до 2 хв. Дослідження проводилося в такій послідовності:

вимірювання фонові величини ПД;

здійснення сканування, тобто почергове орієнтування установки на ймовірні напрямки розташування найбільш інтенсивних джерел випромінювання відповідно до даних картограм розподілу ПД;

проведення 5–6 вимірювань за кожним напрямком; побудова картограм кутових розподілів інтенсивності гамма-випромінювання.

Зона досліджень кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання. Перед початком проведення дослідження, після проведення аналізу наявних даних щодо радіаційного стану, визначалася кількість та місця розташування точок вимірювань кутових розподілів [3].

За результатами аналізу вихідних даних було прийнято рішення дослідити зону ОУ по осі Л у напрямку Захід → Схід. Рішення ґрунтувалося на можливості проведення порівняльного аналізу отриманих даних із даними досліджень, які виконувалися раніше. У цій зоні в завалах центрального залу 4-го енергоблока ЧАЕС знаходяться відомі ДІВ.

Для досліджень кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання були обрані три точки (рис. 2):

К1 — розташована на контрфорсній стіні з координатами 53, Л на відмітці 51,440;

К2 — розташована на головці стіни з координатами 50, Л на відмітці 68,000;

К3 — розташована на металоконструкції посилення з координатами в осях 54, Л на відмітці 62,700.



Рис. 2. Розміщення точок дослідження по осі Л

Обробка отриманих результатів та їх візуалізація

Наявність великої кількості невизначених ДІВ в ОУ вимагає додаткових досліджень для визначення місця їхнього розташування та інтенсивності гамма-випромінювання під час поводження з ними в майбутньому. Результати досліджень будуть використані для розробки проектних технологічних рішень, зокрема для вибору місць та характеристик біологічного захисту під час демонтажу нестабільних конструкцій ОУ, а також оцінки дозових навантажень персоналу, вибору заходів з радіаційної безпеки тощо.

Отримані результати кутового розподілення представлені у вигляді картограм на рис. 3–5.

Під час проведення вимірювань у точці K1 величина ПД становила 1,35 мЗв/год. У результаті дослідження кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання спостерігається найвагомий вплив від завалів центрального залу. Також було виконано вимірювання в усіх інших напрямках. Інтенсивність гамма-випромінювання в них перебуває у фонових значеннях, тому вони не відображені на картограмі.

У результаті проведення дослідження кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання в точці K2 (величина ПД у точці становила 10,69 мЗв/год), спостерігається найбільший вплив від вертикального напрямку донизу (під кутом 90°). Це свідчить про наявність ДІВ на верхній частині зруйнованої стіни по осі 50. Також зафіксована значна інтенсивність гамма-випромінювання на завалах центрального залу. В інших напрямках інтенсивність гамма-випромінювання становить фонові значення, тому вона не відображена на картограмі. ДІВ, які знаходяться на верхній частині зруйнованої стіни по осі 50, не були визначені до проведення цього дослідження. Тому, незважаючи на велике значення ПД у цій точці, було прийнято рішення виконати дослідження. Отримані результати підтвердили можливість використання цього методу в полях гамма-випромінювання з незначною та великою інтенсивністю.

Під час проведення вимірювань у точці K1 величина ПД становила 0,77 мЗв/год. За результатами аналізу дослідження кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання спостерігається найвагомий вплив від завалів центрального залу. Також були виконані вимірювання в усіх інших напрямках, інтенсивності гамма-випромінювання в них становлять фонові значення.

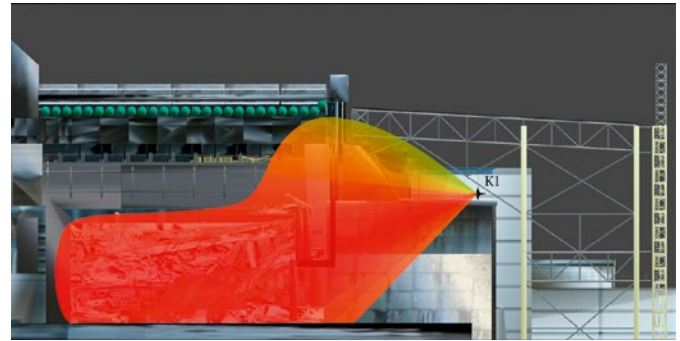


Рис. 3. Кутовий розподіл інтенсивності гамма-випромінювання в точці K1

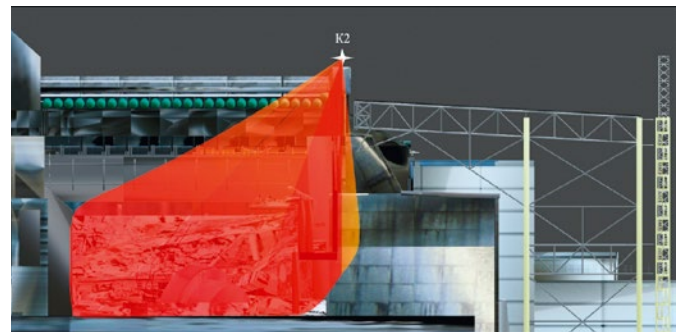


Рис. 4. Кутовий розподіл інтенсивності гамма-випромінювання в точці K2



Рис. 5. Кутовий розподіл інтенсивності гамма-випромінювання в точці K3

Отримані результати в зазначеній точці співвідносні з кутами вимірювань з урахуванням відстані, відповідають точці K1 та не перевищують похибку проведення радіаційних досліджень. Екранування від металеві конструкції підсилення було практично відсутнім, тому воно не враховувалося. В усіх інших напрямках відслідковуються фонові значення, тому вони не відображені на картограмах.

Результати зафіксованих відносних величин гамма-випромінювання виносним детектором у коліматорі в точках K1 та K3 наведено в табл. 1. У табл. 2 наведено результати в точці K2.

Таблиця 1. Результати реєстрації кутового розподілу гамма-випромінювання за допомогою ДК-В у точках К1 та К3

Кут вимірювання	Відносна зафіксована детектором величина гамма-випромінювання, мкЗв/год	
	К1	К3
90	12	11
60	25	13
30	47	21
0	65	34
-30	149	81
-60	258	154
-90	157	127

Таблиця 2. Результати реєстрації кутового розподілу гамма-випромінювання за допомогою ДК-В у точці К2

Кут вимірювання	Відносна зафіксована детектором величина гамма-випромінювання, мкЗв/год
90	23
60	31
30	46
0	65
-30	279
-60	493
-90	917

Висновки

У результаті досліджень кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання за допомогою пристрою ДК-В було доведено високу ефективність розпізнавання джерел навіть в умовах високих гамма-полів.

Після обробки отриманих результатів та їхнього аналізу було сформульовано такі висновки:

1. Підтверджено ефективність зазначеного методу для дослідження кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання. Це яскраво спостерігається під час порівняння точок К1 та К3.

2. Знайдено досі не зафіксовані ДІВ, які формують радіаційний стан у місці проведення дослідження, а саме в точці К2.

3. Підтверджено, що в умовах високих полів іонізуючого випромінювання цей метод є недоречним у зв'язку з отриманням персоналом великих дозових навантажень під час проведення досліджень.

4. У напрямках із відсутніми джерелами випромінювання були зафіксовані фонові значення,

тому вони не відображені на картограмах. Це обумовлено фіксацією детектором гамма-квантів, які проходять через свинцеві стінки коліматора. Це доводить ефективність екранування детектора від потужних ДІВ і дозволяє використання пристрою у високих гамма-полях.

Список використаної літератури

1. Хоменко Д. О. Аналіз впливу нових споруд на радіаційні умови майданчика, який межує з комплексом НБК ОУ / Д. О. Хоменко, Л. І. Павловський, В. В. Єгоров // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення» (22–23 квітня 2021 року). — Житомир : Поліський університет, 2021. — С. 163–166 с.
2. Батий В. Г. Разработка методов исследования радиационной обстановки в зонах производства работ на объекте «Укрытие» / В. Г. Батий, В. В. Егоров, А. А. Правдивый [и др.] // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. — 2008. — Вип. 10. — С. 155–165.
3. Новий безпечний конфайнмент (НБК). Пусковий комплекс 2 (ПК-2). Демонтаж нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині «раннього» демонтажу. Етап 2. Радіаційне обстеження на шляхах доступу та у зонах виконання робіт. / В. М. Рудько, Л. І. Павловський, О. В. Балан та ін. — Чорнобиль 2021.

D. O. Khomenko^{1,2,3}, V. V. Yehorov¹, L. I. Pavlovskiy¹

¹ Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, 36a, Kirova st., Chornobyl, 07270, Ukraine

² Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the NAS of Ukraine, 42, Acad. Hlushkova ave., Kyiv, 03187, Ukraine

³ Wolfgang Pauli Institute, 1, Oskar-Morgenstern-Platz, Vienna, 1090, Austria

Application of the Research Method of the Angular Distribution of Gamma Radiation Intensity Using the DC-R Device

The paper presents the results of the application and verification results of the effectiveness of the method of studying the angular distribution of gamma radiation

intensity using a dosimeter MKS-07 “Poshuk” with a remote detector in the collimator (DC-R). The purpose of this work is to verify the effectiveness of the method using the DC-R device on pre-known sources and to obtain an array of data in one area from different points. Before the start of the study, an analysis of available data on the radiation situation was performed. This allowed determining a sufficient number of measurements of angular distributions to verify the effectiveness of the method and the location of measurement points. As a result of the analysis of the initial data from the radiation state, it was decided to investigate the area of the Shelter object from the west to the east. Known source in the blockages of the central hall of of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4 of the Shelter object are located in this zone. The obtained measurements results of the quantitative characteristics of the angular distribution of gamma radiation intensity are presented graphically. As a result of the study of the angular distribution of gamma radiation intensity using the DC-R device, the high efficiency of source recognition was proved even in conditions of high gamma fields.

After processing the obtained results and their analysis, the following conclusions were formulated:

1. The effectiveness of this method in the study of the angular distribution of gamma radiation intensity has been confirmed. This is seen when comparing points K1 and K3.

2. A hitherto unrecorded source of ionizing radiation was found, which forms a radiation state at the study site, which corresponds to point K2.

3. It is confirmed that in high fields of ionizing radiation this method is inappropriate in connection with the receipt of personnel of high dose loads during research.

4. Background values were recorded in the directions with no radiation sources, so they are not reflected on the cartograms. This is due to the fixation of gamma rays by the detector passing through the lead walls of the collimator. This proves the effectiveness of shielding the detector from powerful sources and allows it to be used in high fields.

Keywords: angular distribution, gamma radiation, biological protection, Shelter object, ChNPP.

References

1. Khomenko D. O., Yehorov V. V., Pavlovskiy L. I. (2021). [Analysis of the impact of new structures on the radiation conditions of the site adjacent to the NSC SO complex]. Proceedings of the *International Scientific-Practical Conference “Chernobyl Disaster. Current Problems, Trends and Solutions” (Zhytomyr, April 22–23, 2021)*. Zhytomyr: Polissia University, pp. 163–166. (in Ukr.)
2. Batiy V. G., Yegorov V. V., Pravdiviy A. A., Kochnev N. A., Selukova V. V., Khazhmuradov M. A. (2008). [Development of methods of research of radiation situation at working zones of the Shelter object]. *Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chernobyl*, vol. 10, pp. 155–165. (in Rus.)
3. Rudko V. M., Pavlovskiy L. I., Balan O. V., Khomenko D. O., et al. (2021). [New Safe Confinement (NSC). Start-up complex 2 (PC-2). Dismantling of unstable structures of the Shelter object of the Chernobyl nuclear power plant as part of the “early” dismantling. Stage 2. Radiation survey on access roads and work areas]. Chernobyl, 2021. (in Ukr.)

Надійшла 10.06.2022

Received 10.06.2022