УДК 621.039 doi.org/10.31717/2311–8253.21.3.6

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

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

Дослідження радіаційного стану промислового майданчика об'єкта «Укриття»

Ключові слова:
радіаційні дослідження,
джерела іонізуючого випромінювання,
величини потужності дози,
кутовий розподіл гамма-випромінювання,
новий безпечний конфайнмент,
об'єкт «Укриття»,
Чорнобильська АЕС

Досліджено територію промислового майданчика об'єкта «Укриття» після встановлення конструкцій нового безпечного конфайнмента (НБК) у проєктне положення над зруйнованим 4-м енергоблоком Чорнобильської АЕС. Радіаційні дослідження промислового майданчика були проведені у 2020–2021 рр. Предмет досліджень: розподіл величин потужності дози (ПД) і характеристики кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання на промисловому майданчику об'єкта «Укриття». Проведено порівняльний аналіз результатів досліджень розподілу ПД до будівництва (2004 р.), під час будівництва (2010 р.) і після введення НБК у дослідно-промислову експлуатацію. Результати досліджень можуть бути корисними для вибору місць будівництва нових об'єктів для поводження з радіоактивними відходами у процесі перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему, а також у процесі експлуатації НБК.

Вступ

Станом на 2021 р. завершено перший і другий етапи перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему (ЕБС), що відповідає вимогам [1]. Ці етапи включали реалізацію низки проєктів. До основних належать: стабілізація будівельних конструкцій об'єкта «Укриття», створення промислового майданчика для монтажу аркової конструкції нового безпечного конфайнмента (НБК), демонтаж вентиляційної труби ВТ-2, монтаж нової вентиляційної труби, будівництво НБК, а також інших будівель та інженерних споруд, будівництво західної і східної стін огороджувального контуру НБК, встановлення НБК у проєктне положення та введення НБК у дослідно-промислову експлуатацію.

Під час виконання цих робіт необхідною умовою безпечного виконання їх була наявність даних з радіаційних умов на промисловому майданчику. За допомогою цих даних вирішувалися завдання з організації вибору маршрутів руху персоналу і зон розташування робочих місць, діяльність з екранування або видалення виявлених інтенсивних джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) та інші заходи щодо забезпечення радіаційної безпеки. Ці заходи, згідно з [2], було спрямовано насамперед на зниження дозовитрат будівельного персоналу.

Подальша діяльність з перетворення об'єкта «Укриття» на ЕБС включає комплекс робіт з демонтажу його нестабільних конструкцій. Вона супроводжуватиметься не тільки демонтажем конструкцій, а й поводженням із цими конструкціями та іншими відходами, що будуть утворюватися в процесі демонтажу. Об'єкти поводження з відходами в основному будуть розміщуватися на промисловому майданчику об'єкта «Укриття».

Наступним етапом перетворення об'єкта «Укриття» на ЕБС очікується діяльність із часткового вилучення ядерних матеріалів і високоактивних відходів з об'єкта «Укриття» та переведення паливовмісних

© В. В. Єгоров, Л. І. Павловський, Д. О. Хоменко, 2021

матеріалів, що залишаться в ньому, у контрольований стан. Для поводження з вилученими відходами необхідно створювати відповідну інфраструктуру.

Для реалізації майбутніх проєктів у частині вибору оптимальних маршрутів руху персоналу і зон будівництва об'єктів інфраструктури на промисловому майданчику об'єкта «Укриття» необхідні дані радіаційного стану.

Метою цієї роботи є дослідження величин потужності дози (ПД) і характеристик кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання на промисловому майданчику об'єкта «Укриття», а також аналіз зміни радіаційних умов за період від будівництва НБК до його введення в дослідно-промислову експлуатацію. Результати роботи можуть бути використані під час експлуатації НБК, а також під час реалізації проєктів демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» і часткового вилучення з нього ядерних матеріалів і високоактивних відходів та переведення паливовмісних матеріалів у контрольований стан.

Устаткування та зони досліджень

У рамках науково-дослідної роботи [3] було проведено радіаційні дослідження промислового майданчика — вимірювання величин ПД і дослідження кутового розподілу гамма-випромінювання. Вимірювання величин ПД проводили за допомогою радіометра-дозиметра МКС-07 «Пошук».

Дослідження кутового розподілу гамма-випромінювання виконували за допомогою пристрою ШД-1 із застосуванням детекторів ТЛД-500К (рис. 1). Цей пристрій успішно застосовувався в попередніх дослідженнях [4–6], особливості його конструкції, характеристики та методика вимірювань наведені в [7].

Також для досліджень кутового розподілу було використано радіометр-дозиметр МКС-07 «Пошук» із виносним колімованим детектором (рис. 2). Детектор приладу вміщений у спеціальний свинцевий коліматор товщиною 30 мм. Кут колімуючого отвору 30°, спеціальні вставки в колімуючий отвір дозволяють зменшити кут до 10°, що дає змогу більш чітко визначати межі ДІВ.

Цей пристрій спеціально виготовлений для проведення оперативної оцінки кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання, детальних вимірювань у зонах з відносно невисоким рівнем гамма-фону і визначення внеску від джерел у ПД у відносних одиницях. Відносні одиниці інтенсивності гамма-випромінювання означають кількість фотонів, що потрапляють на детектор через колімований отвір.

Вибір зон досліджень проводили виходячи з припущення, що в подальшій діяльності з перетворення об'єкта «Укриття» на ЕБС у районі промислового майданчика можуть бути збудовані об'єкти інфраструктури для поводження з радіоактивними відходами об'єкта «Укриття».

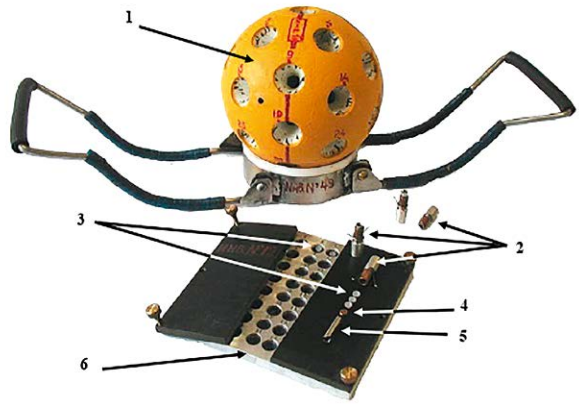


Рис. 1. Пристрій ШД-1 у зборі: 1 — свинцевий корпус із колімуючими отворами; 2 — капсули з детекторами; 3 — термолюмінісцентні детектори; 4 — мідні фільтри; 5 — фіксатори; 6 — пенал для транспортування детекторів

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

Рис. 3. Зона досліджень ПД на майданчику НБК об'єкта «Укриття» і координати точок дослідження кутових розподілів гамма-випромінювання

Зона досліджень ПД на промисловому майданчику НБК і місця вимірювання кутових розподілів інтенсивності гамма-випромінювання наведено на рис. 3.

Для порівняльного аналізу результатів досліджень кутового розподілу було вибрано точки з однаковими координатами досліджень 2004 р. [4] і 2021 р. [3]. Точки вимірювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Координати точок дослідження кутових розподілів інтенсивності гамма-випромінювання на промисловому майданчику НБК об'єкта «Укриття»

Координати точок (між осями)	Номер точки згідно з [4]	Номер точки згідно з [3]
Ю+40, 68+30	Т7	К1, Ш1
Ж, 68+30	Т5	К2, Ш2
А+25, 68+30	Т11	К3
Ж, 68+145	Т43	К4
А+25, 68+145	Т44	К5
М, 68+145	Т45	К6

Під час планування досліджень за допомогою радіометра-дозиметра МКС-07 «Пошук» із виносним колімованим детектором було обрано ряд точок на відстані 120 та 265 м від об'єкта «Укриття». Ці зони добре обстежені в попередніх роботах. Результати досліджень дали змогу провести порівняльний аналіз змін радіаційних умов на промисловому майданчику.

Отримані результати та обговорення

Розподіл ПД гамма-випромінювання. У зоні досліджень (див. рис. 3) проводились комплексні дослідження у 2004, 2010 і 2020 рр. Станом на 2004 р. по всій території промислового майданчика знаходилася значна кількість локальних ДІВ. Через це виконувати порівняльний аналіз змін ПД на промисловому майданчику з результатами досліджень за 2020 р. є не зовсім коректним, тому що під час підготовки до будівництва НБК територія була очищена від виявлених ДІВ. Тому для порівняльного аналізу було обрано дані результату радіаційних досліджень, що виконувались під час будівництва НБК (2010 р.), та значення радіаційного стану після встановлення аркової конструкції в проєктне положення та пуску комплексу НБК — об'єкт «Укриття» в дослідно-промислову експлуатацію (2020 р.).

Результати проведених радіаційних обстежень за 2010 та 2020 рр. представлено у вигляді картограми та наведено на рис. 4 та 5 [8] відповідно.

Величини ПД гамма-випромінювання станом на 2010 р., відповідно до технологічних зон [8], знаходилися в діапазоні:

~5 мкЗв/год — територія зони збирання арки (монтажна зона);

5–20 мкЗв/год — територія зони відстою частини арки (зона відстою);

20–65 мкЗв/год — територія транспортної зони (транспортна зона);

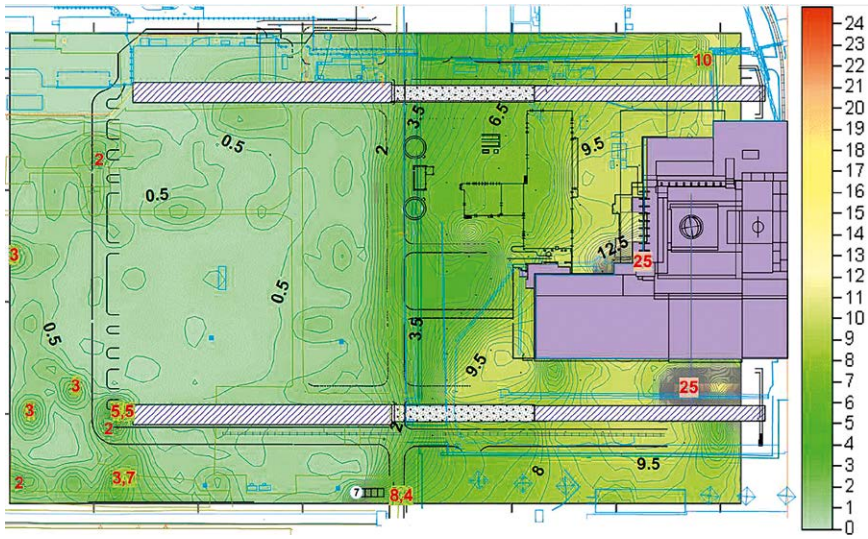


Рис. 4. Картограма ПД на промисловому майданчику НБК об'єкта «Укриття» у 2010 р., мкЗв/год

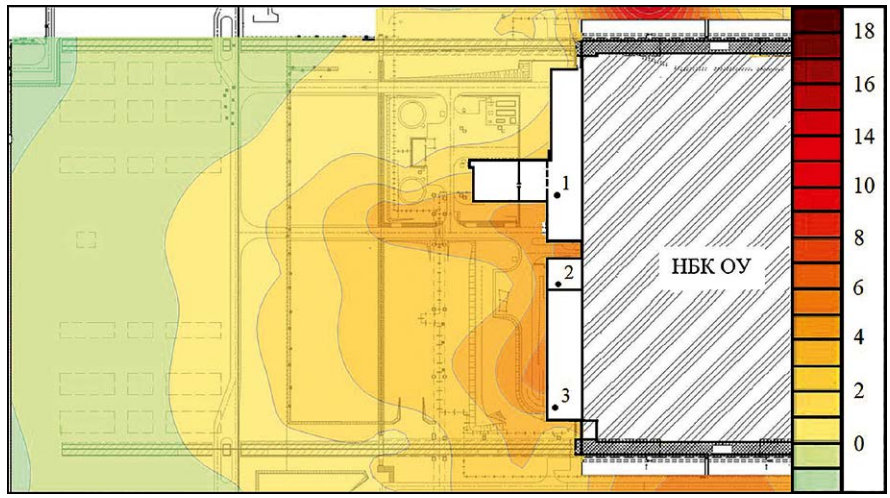


Рис. 5. Картограма ПД на промисловому майданчику НБК об'єкта «Укриття» (ОУ), вересень 2020 р., мкЗв/год: 1 — технологічна будівля; 2 — деаераторна етажерка; 3 — машинний зал

65–125 мкЗв/год — територія зони встановлення НБК у проєктне положення (сервісна зона).

За даними рис. 5 видно зниження величин ПД на промисловому майданчику НБК об'єкта «Укриття» в умовах віддалення від нього основних ДІВ. Так, інтенсивність гамма-випромінювання на промисловому майданчику має тенденцію до рівномірного зниження. Значення ПД знаходяться в діапазоні від 0,7 до 10 мкЗв/год. Винятком є ділянка території з північної сторони НБК біля сховища рідких та твердих відходів (СРТВ), де ПД становить приблизно 18 мкЗв/год.

Результати досліджень величин ПД на промисловому майданчику показують, що західну частину його території можна віднести до зони вільного режиму відповідно до вимог документа [9]. Решта території за межею зони суворого режиму належить до зони вільного доступу з посиленим радіаційним контролем [10].

Результати порівняльного аналізу величин ПД гамма-випромінювання до і після встановлення НБК у проєктне положення наведено в табл. 2.

З аналізу даних табл. 2 можна зробити такі висновки:

значне зниження величин ПД по всьому промисловому майданчику;

для різних умовних зон промислового майданчика коефіцієнт зниження величин ПД ($КЗ_{ПД}$) відрізняється й коливається від 5 до 15 разів;

з наближенням до комплексу НБК — об'єкт «Укриття» $КЗ_{ПД}$ збільшується й досягає максимального значення — $КЗ_{ПД} = 15$.

Таблиця 2. Результати порівняльного аналізу величин ПД на промисловому майданчику НБК об'єкта «Укриття» до і після насування арочної конструкції

Технологічна зона майданчика	ПД, мкЗв/год	
	до насування арки	після насування арки
Монтажна зона	~5	0,7–2
Зона відстою	5–20	1–4
Транспортна зона	20–65	4–7
Сервісна зона	65–125 (є локальні місця з величиною 250)	7–10

Результати порівняльного аналізу дозволяють стверджувати, що після встановлення НБК у проєктне положення величини ПД на промисловому майданчику НБК об'єкта «Укриття» знизились від 5 до 15 разів. Зниження значень відбулося за рахунок видалення в період будівництва основних локальних ДІВ з території промислового майданчика, а також зведення нових споруд (технологічної будівлі, будівлі електротехнічних пристроїв, західної стіни огороджувального контуру НБК та ін.), що відіграють роль захисних бар'єрів від ДІВ, які знаходяться в об'єкті «Укриття». Крім цього, нові споруди є захисними бар'єрами для зон виконання робіт персоналу на промисловому майданчику НБК.

Кутовий розподіл гамма-випромінювання на промисловому майданчику НБК. Комплексне дослідження кутового розподілу гамма-випромінювання на промисловому майданчику, який межує з НБК, проводилося двічі: у 2004 [4] та 2021 р. [3].

Обробка матеріалів досліджень 2021 р. відрізняється від обробки матеріалів досліджень 2004 р. Причиною є застосування більш сучасного радіометричного обладнання та застосування нових підходів у комп'ютерному моделюванні. Винятком є результати з використанням пристрою ШД-1, для якого методологічний підхід до обробки матеріалів залишився без змін [7].

Порівняльний аналіз виконано за результатами вимірювань пристроєм ШД-1, оскільки результати можна порівняти з аналогічним точками виконання дослідження (див. табл. 1). У цих точках зменшилися величини ПД. Так, у точках Ш1 і Ш2 ПД становить 3,6 і 5,5 мкЗв/год, а для точок Т7 і Т5–59 і 87 мкЗв/год відповідно (див. рис. 3). Також проведено аналіз відносної інтенсивності гамма-випромінювання за окремими напрямками у точках К1–К6 відповідно до точок Т7, Т5, Т11, Т43, Т44, Т45 (див. табл. 1).

Картограми кутового розподілу гамма-випромінювання пристроєм ШД1 у точках Ш1 і Ш2 наведено на рис. 6 і 7.

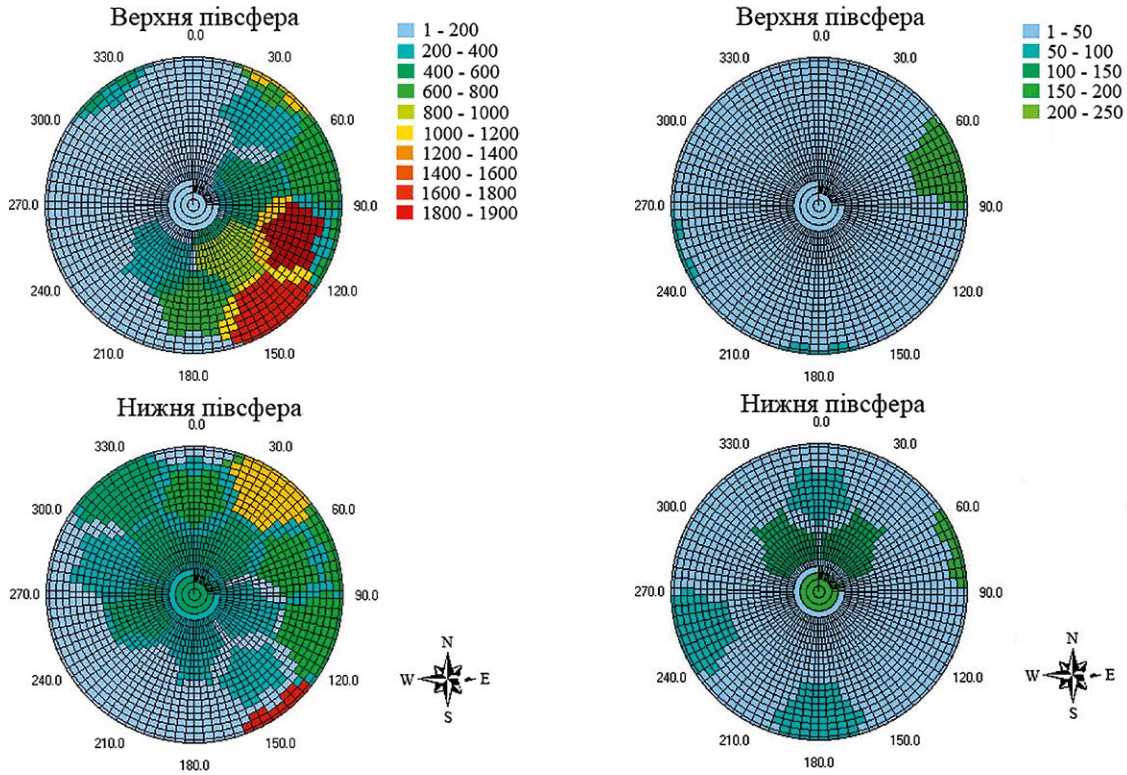
Порівняльний аналіз кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання у точках Ш1 (Т7) і Ш2 (Т5) показує, що інтенсивність випромінювання у 2020 р. значно знизилась відносно 2004 р. — у точці К1 у 5 разів, у точці К2 у 40–50 разів. Зниження інтенсивності пояснюється очищенням промислового майданчика від ДІВ та розпадом гамма-випромінюючих радіонуклідів.

Для точки Т7 значний внесок дає південно-східний напрямок, тобто ДІВ, що знаходяться у приміщеннях об'єкта «Укриття», на покрівлях ліфтового блока і машинного залу (МЗ). У точці Ш1, після будівництва технологічної будівлі та інших споруд, цей напрямок заекранований, проте в північно-східному напрямку помітне підвищення інтенсивності гамма-випромінювання. Підвищення обумовлено прямою видимістю ДІВ, що знаходяться в каскадній стіні і дають основний внесок у величину ПД у цьому місці.

Для точки Т5 яскраво виражені напрямки на ДІВ, що знаходяться в МЗ, і на ДІВ з верхніх позначок об'єкта «Укриття». Для точки Ш2 помітний східно-північний напрямок на ДІВ, що знаходяться на верхніх позначках об'єкта «Укриття» між технологічною спорудою і входом в НБК. Крім цього, помітний південно-східний напрямок на верхні позначки покриття деаераторної етажерки (ДЕ) та МЗ.

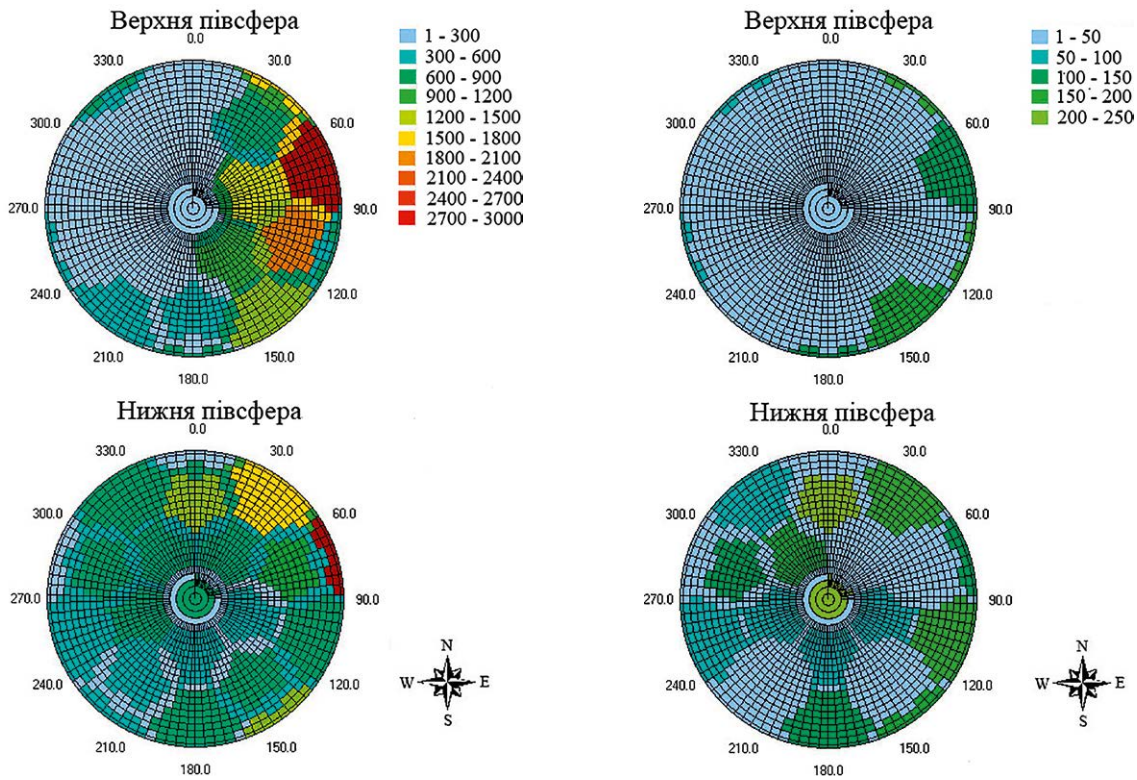
Результати досліджень за допомогою колімованого детектора наведено на рис. 8–13, де показано основні напрямки на ДІВ, що формують ПД у точках дослідження К1–К6. Внесок від ДІВ у формування ПД наведено у відносних одиницях.

Точка К1 (Т7) розташована між осями Ю+40, 68 + 30, візуалізація напрямків на основні ДІВ наведена на рис. 8. У 2004 р. величина ПД у точці становила 59 мкЗв/год. Основними напрямками формування ПД були південно-східний (контрфорсна північна стіна), східний (блок допоміжних систем реакторного відділення) і південний (покриття ДЕ). Станом на 2021 р. ПД становить 3,6 мкЗв/год, що в 16,4 раза менше. Порівняльний аналіз показує, що кутовий розподіл гамма-випромінювання дещо змінився. Основний внесок на формування ПД від СРТВ був у північно-східному напрямку, бо інтенсивність ДІВ, що знаходяться у сховищі, практично не змінилася, а інтенсивні ДІВ, що знаходяться в об'єкті «Укриття», заекрановані новими будівлями комплексу НБК — об'єкт «Укриття».



Станом на 2004 р. Станом на 2020 р.

Рис. 6. Картограма кутового розподілу гамма-випромінювання в точці Ш1, мкР · год$^{-1}$ · срад$^{-1}$



Станом на 2004 р. Станом на 2020 р.

Рис. 7. Картограма кутового розподілу гамма-випромінювання в точці Ш2, мкР · год$^{-1}$ · срад$^{-1}$

Рис. 8. Основні напрямки на ДІВ, що формують ПД у точці К1

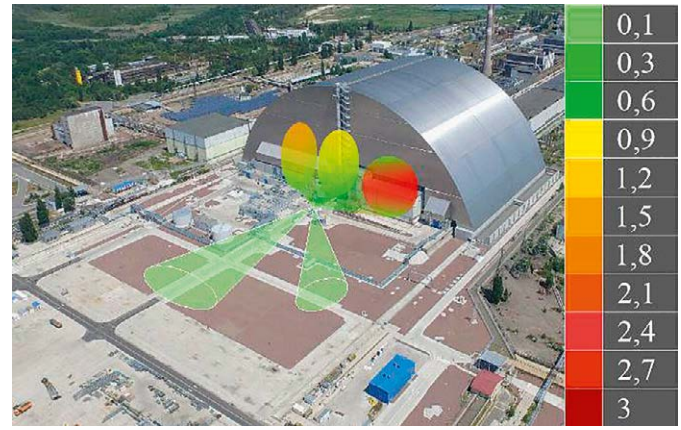


Рис. 9. Основні напрямки на ДІВ, що формують ПД у точці К2

Точка К2 (Т5) розташована між осями Ж, 68 + 30, візуалізація напрямків на основні ДІВ наведена на рис. 9. У 2004 р. величина ПД у точці була 83 мкЗв/год. Основними напрямками формування величини ПД були східний і південно-східний (ДІВ, що знаходяться на верхніх позначках об'єкта «Укриття» і сходового блока), а також південно-східний (верхні позначки покриття ДЕ і МЗ). Станом на 2021 р. ПД становить 7,4 мкЗв/год, що в 11,2 раза менше. Порівняльний аналіз показує, що основні напрямки формування ПД не змінилися.

Точка К3 (Т11) розташована між осями А+25, 68 + 30, візуалізація напрямків на основні ДІВ наведена на рис. 10. У 2004 р. величина ПД у точці становила 150 мкЗв/год. Основними напрямками формування величини ПД були південно-східний (ДІВ, що знаходяться на верхніх позначках покриття МЗ і ДЕ), а також північно-східний (верхні позначки об'єкта «Укриття»). Станом на 2021 р. ПД становить 14 мкЗв/год, що в 10,7 раза менше. Порівняльний аналіз показує, що основні напрямки формування ПД практично не змінилися, за винятком північно-східного напрямку у зв'язку з екрануванням новими будівлями комплексу НБК — об'єкт «Укриття» від інтенсивних ДІВ, що знаходяться в об'єкті «Укриття».

Точка К4 (Т43) розташована між осями Ж, 68 + 145, візуалізація напрямків на основні ДІВ наведена на рис. 11. У 2004 р. величина ПД у точці становила 23 мкЗв/год. Основний напрямок східний (ДІВ, що знаходяться на верхніх позначках сходового блока). Південно-східний та північно-східний напрямки є рівнозначними, вони обумовлені ДІВ, що знаходяться на верхніх позначках покриття МЗ, а також ДІВ на верхніх позначках об'єкта «Укриття». Станом на 2021 р. ПД становить 4 мкЗв/год, що в 5,8 раза менше. Порівняльний аналіз показує, що основні напрямки формування ПД змінилися. Напрямок інтенсивності випромінювання на СРТВ є помітним, тоді як інтенсивність цього напрямку у 2004 р. була невідчутною відносно основних напрямків.

Рис. 10. Основні напрямки на ДІВ, що формують ПД у точці К3

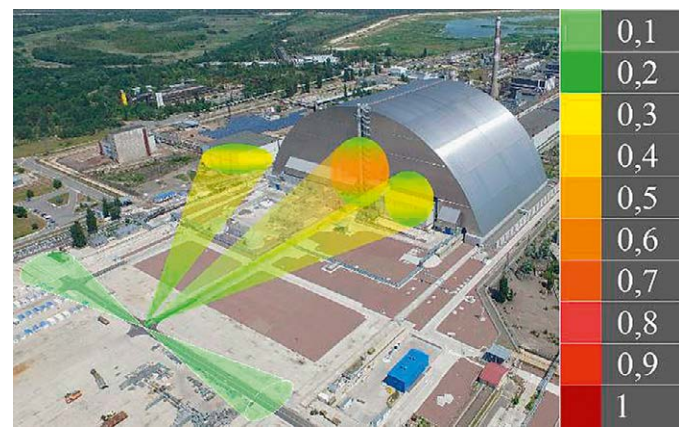


Рис. 11. Основні напрямки на ДІВ, що формують ПД у точці К4

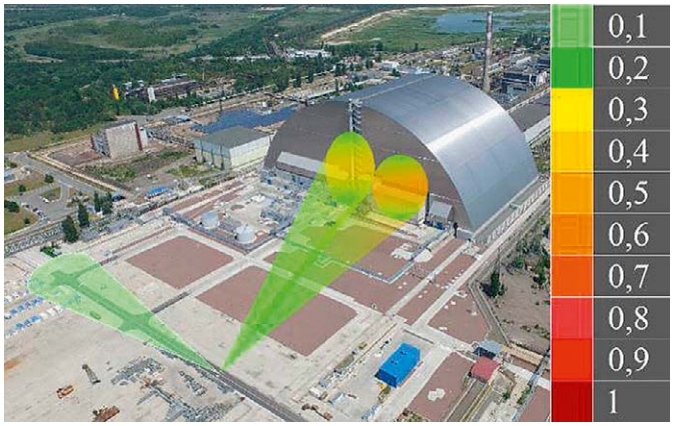


Рис. 12. Основні напрямки на ДІВ, що формують ПД у точці К5

Рис. 13. Основні напрямки на ДІВ, що формують ПД у точці К6

Точка К5 (Т44) розташована в осях А + 25, 68 + 145, візуалізація напрямків на основні ДІВ наведена на рис. 12. У 2004 р. величина ПД у точці становила 22 мкЗв/год. Основними напрямками були східний (ДІВ, що знаходяться на верхніх позначках МЗ і ДЕ) і північно-східний (ДІВ на верхніх позначках об'єкта «Укриття»). Станом на 2021 р. ПД становить 1,7 мкЗв/год, що в 12,9 раза менше. Порівняльний аналіз показує, що основний внесок формування ПД не змінився.

Точка К6 (Т45) розташована між осями М, 68 + 145, візуалізація напрямків на основні ДІВ наведена на рис. 13. У 2004 р. величина ПД у точці була 22 мкЗв/год. Станом на 2021 р. вона становить 1,6 мкЗв/год, що в 13,8 раза менше. Основний напрямок на формування ПД вносять ДІВ, що знаходяться на верхніх позначках сходового блока об'єкта «Укриття». Північно-східний та південно-східний напрямки є рівнозначними, їх формують ДІВ, що знаходяться в будівлі СРТВ та на верхніх позначках МЗ і ДЕ. Порівняльний аналіз не проведено через відсутність інформації кутового розподілу в точці Т45 за 2004 р.

Висновки

За результатами дослідження території промислового майданчика НБК після його встановлення у проектне положення з метою оцінки змін величин ПД і характеристик кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання зроблено такі висновки.

1. Аналіз даних розподілу ПД на промисловому майданчику показує визначальний вплив ДІВ, що розташовані в об'єкті «Укриття», включно з ДЕ і МЗ на всю територію промислового майданчика. У всіх точках вимірювання після встановлення НБК у проєктне положення було зафіксовано зниження величини ПД від 5 до 15 разів.

2. Зниження значень відбулося за рахунок видалення в період будівництва основних локальних ДІВ з території промислового майданчика, а також зведення нових споруд, які є захисними бар'єрами.

3. На території промислового майданчика, починаючи від осі 68 + 145 у західному напрямку, величини ПД не перевищують 4 мкЗв/год. Тому, відповідно до документа [9], ця територія належить до зони вільного режиму. Виходячи з цього, на ній можливе будівництво нових об'єктів для поводження з радіоактивними відходами у процесі перетворення об'єкта «Укриття» на ЕБС, а також у процесі експлуатації НБК. Після будівництва нових об'єктів інфраструктури згідно із санітарно-гігієнічним зонуванням ця територія буде віднесена до іншої категорії.

4. Виявлено незначні зміни кутового розподілу гамма-випромінювання. В основному вони пов'язані з будівництвом нових споруд на промисловому майданчику. До основних об'єктів, що змінили кутовий розподіл на промисловому майданчику, належать технологічна будівля і західна стіна огороджувального контуру НБК.

5. У точках досліджень зменшилась інтенсивність гамма-випромінювання. Ця обставина вплинула на відносний внесок гамма-випромінювання з різних напрямків у точках дослідження. Так, за результатами радіаційних досліджень у 2021 р. з'явився новий напрямок на СРТВ, який має відчутний вплив на радіаційний стан промислового майданчика.

6. Результати цієї роботи можуть бути використані для оцінки опромінення персоналу під час планування діяльності з переведення об'єкта «Укриття» на ЕБС.

Список використаної літератури

1. Закон України "Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему" // Відомості Верховної Ради України. — 1999. — № 4. — С. 33.
2. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. — Київ, 1997.
3. Комплексна оцінка сукупних впливів на навколишнє середовище радіаційно-небезпечних об'єктів чорнобильської зони відчуження : (Заключний звіт про НДР) / ІПБ АЕС НАН України. — № ДР 0116U002123. — Чорнобиль, 2020.
4. План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие», задача 1: Измерения надземных полей гамма-излучения. Фаза 2. Отчет по измерениям, SIP K 01 21 310 MR2 003 01, 03.06.2004 г.
5. Рабочий проект по стабилизационным мероприятиям «Итоговый отчет по радиационной безопасности», SIP K 03 01 000 RSR 003 03, 2003 г.
6. Реконструкция главного корпуса II очереди ЧАЭС (энергоблоки 3, 4) с усилением и герметизацией строительных конструкций, выполняющих функции ограждающего контура НБК. Рабочий проект. Отчет по оценке безопасности, SIP-K-00-22-L05__RSR-001-03, 2014 р.
7. A device for search of gamma-radiation intensive sources at the radiation accident conditions / V. G. Batiy, V. V. Yegorov, N. A. Kochnev [et al.] // Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination, & Reutilization (Denver, USA, August 7–11, 2005). — P. 228—232.
8. Пусковой комплекс-1 (ПК-1). Лицензионный пакет-6 (ЛП-6). Проект Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфракструктурой. Т. 13. Проект организации строительства. Часть. 1. 2012.
9. Контрольні рівні радіаційної безпеки на Чорнобильській АЕС. 41П-С, 2017.
10. Перелік зонованих приміщень, будівель, споруд і території проммайданчика, 24ПН-С (НБК), 2020.

V. V. Yehorov, L. I. Pavlovsky, D. O. Khomenko

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

Investigation of the Radiation Condition at the Industrial Site of the Shelter Object

The territory of the industrial site of the New Safe Confinement of the Shelter object (NSC SO) was investigated after the installation of the arch structure in the design position over the destroyed Unit 4 of the Chornobyl NPP. Radiation studies of the industrial site were carried out by the specialists of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2020–2021. The subject of research was the distribution of the dose rate values and the characteristic of the angular distribution of the intensity of gamma radiation at the NSC SO industrial site.

Comprehensive studies of radiation conditions include both dose rate measurements and the angular distribution of gamma radiation intensity. The study of the angular distribution of the intensity of gamma radiation and the determination of the sources forming the dose rate in the research sites was carried out using own developments — the ShD-1 device [7] and the MKS-07 "Poshuk" radiometer-dosimeter with an external collimated detector. This equipment was previously successfully tested and was repeatedly used at the stage of pre-design studies and during the implementation of projects at the site of the Chornobyl NPP.

Based on the results of modern research, a comparative analysis was carried out with the results of research before the construction of the arch structure (2004) and during the construction of the NSC (2010). At all points of the study, a decrease in the dose rate from 5 to 15 times was recorded. The decrease is due to the removal during the construction period of all local sources of ionizing radiation from the territory of the industrial site, as well as to the construction of new structures, which are protective barriers for work performed at the NSC SO site.

Insignificant changes in the angular distribution of gamma radiation were found, which are associated with the construction of new structures in the middle of the SO and on the industrial site.

The research results can be useful for the selection of sites for the construction of new facilities for radioactive waste management in the process of transformation of the SO into an ecologically safe system.

Keywords: radiation research, source of ionizing radiation, dose rate, angular distribution of gamma radiation, New Safe Confinement, Shelter object.

References

1. Law of Ukraine "On General Principles of Further Operation and Decommissioning of the Chornobyl NPP and Transformation of the Destroyed Fourth Power Unit of this NPP into an Environmentally Safe System". *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy* [Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine], 1999, no. 4, pp. 33. (in Ukr.)
2. *Radiation safety standards of Ukraine* (NRBU-97). State hygienic standards. Kyiv, 1997. (in Ukr.)
3. *Comprehensive assessment of cumulative environmental impacts of radiation-hazardous objects of the Chornobyl exclusion zone*. Final research report DR0116U002123. Chornobyl: ISP NPP, NAS of Ukraine, 2020. (in Ukr.)
4. *Plan of activities at the Shelter object*. Task 1: Measurements of aboveground gamma radiation fields, Phase 2. Measurement report, SIP K 01 21 310 MR2 003 01, 03.06.2004.
5. Working project of stabilization measures "*Final report of radiation safety*" SIP K 03 01 000 RSR003 03, 2003.
6. *Reconstruction of the main building of the second stage of the Chornobyl NPP (power units 3, 4) with reinforcement and sealing of building structures performing the functions of the NSC enclosing perimeter*. Working project. Safety assessment report SIP-K-00–22-L05__RSR-001–03, 2014.
7. Batiy V., Klyuchnykov A., Kochnev N., et al. (2005). A Device for search of gamma-radiation intensive sources at the radiation accident conditions. Proceedings of the *American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination, and Reutilization (Denver, USA, August 7–11, 2005)*, pp. 228–232.
8. Launching complex-1 (LC-1). License package-6 (LP-6). Project "*Protective structure with technological life support systems and the main infrastructure*". Vol. 13. Construction organization project. Part 1. 2012.
9. *Control levels of radiation safety at the Chornobyl NPP*. 41P-S, 2017.
10. *List of zoned rooms, buildings, structures and territory of the industrial site of ChNPP*, 24PN-S (NSC), 2020.

Надійшла 20.07.2021
Received 20.07.2021