

Л. І. Павловський, Д. В. Городецький, В. В. Деренговський, Є. А. Меньшенін

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

Актуальність прогнозування забруднення повітря робочої зони під час виконання демонтажних робіт об'єкта «Укриття»

Ключові слова:

ЧАЕС,
НБК-ОУ,
південна покрівля,
ДКРМ,
радіоактивні аерозолі,
прогнозна оцінка

Надано характеристику сучасних радіаційних умов у зонах виконання робіт за проектом «Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС у частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі». Показано, що за період дослідно-промислової експлуатації комплексу «Новий безпечний конфайнмент — об'єкт «Укриття» (НБК-ОУ) внаслідок герметизації його огорожувального контуру відбулося погіршення радіаційних умов за рахунок збільшення величин загального і нефіксованого поверхневого забруднення. Надано прогнозу оцінку радіоактивного забруднення повітря робочих зон у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ під час виконання робіт за проектом, що дозволило оптимізувати заходи щодо радіаційної безпеки робочого персоналу, зокрема, у виборі відповідних видів засобів індивідуального захисту органів дихання. Запропонований підхід може бути використаним під час планування подальших радіаційно небезпечних робіт у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ, а саме під час виконання демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» і діяльності з часткового вилучення ядерних матеріалів і високоактивних відходів з об'єкта «Укриття».

Вступ

Демонтаж конструкцій об'єкта «Укриття» (ОУ), який буде виконуватися в умовах експлуатації Нового безпечного конфайнмента (НБК), є черговим етапом здійснення проекту перетворення ОУ на екологічно безпечну систему. За останні десятиріччя накопичено достатній досвід виконання аналогічних радіаційно небезпечних робіт на ОУ. Проте вплив герметичної конструкції НБК на мікроклімат його внутрішнього простору у поєднанні з необхідністю поводження з найбільш радіоактивно забрудненими конструкціями ОУ та аварійного енергоблоку додає своєї специфіки в організацію виконання робіт та

забезпечення протирадіаційного захисту робочого персоналу.

Специфіка зазначених вище робіт, зокрема, полягає у високому забрудненні повітря робочої зони радіоактивними аерозолями (РА) внаслідок їхнього незначного розсіювання за умов відсутності у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ інтенсивних повітряних потоків, середня швидкість яких на легкій покрівлі ОУ становить від 0,03 до 0,06 м/с [1]. Такі вкрай несприятливі радіаційні умови спонукають до якомога ширшого використання безлюдних технологій із застосуванням дистанційно керованих роботів-маніпуляторів (ДКРМ). У випадку неможливості застосування ДКРМ для радіаційно небезпечних тех-

© Л. І. Павловський, Д. В. Городецький,
В. В. Деренговський, Є. А. Меньшенін, 2022

нологічних операцій і їхньої заміни на операції, що виконуються вручну, кінце необхідне прогнозування динаміки забруднення повітря робочої зони під час виконання таких робіт з метою гарантованого ефективного застосування відповідних заходів з радіаційної безпеки персоналу.

Ця робота спрямована на вирішення актуальної проблеми зменшення впливу РА на опромінення персоналу під час виконання радіаційно небезпечних робіт у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ за рахунок оптимізації використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та часу виконання робіт у цих умовах на прикладі пілотного проекту «Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС у частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі». Основні положення роботи викладено в документі «Звіт з аналізу безпеки» вказаного Проекту [2]. Після перевірки отриманих прогнозних результатів на практиці такий підхід у вирішенні проблем радіаційної безпеки персоналу може бути використаний під час проектування подальших радіаційно небезпечних робіт у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ.

Стисла характеристика проекту «Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС у частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі»

Демонтаж металеві ферми підсилення на південній покрівлі ОУ є першочерговим завданням комплексу робіт із «раннього» демонтажу та підсилення нестабільних конструкцій ОУ. Роботи за проектом повинні завершитися наприкінці 2023 р., що пов'язано із закінченням проектного 15-річного терміну експлуатації комплексу стабілізуючих конструкцій ОУ, які було встановлено протягом 2004–2009 рр.

Основні радіаційно небезпечні роботи з демонтажу ферми підсилення передбачають як ручні, так і окремі автоматизовані технологічні операції, а саме: фрагментацію (за допомогою ДКРМ) металеві ферми підсилення на покрівлі ОУ на три великі частини;

відокремлення (за допомогою ручного інструменту) фрагментів ферми підсилення від щитів-ключок покрівлі ОУ;

транспортування та подальшу фрагментацію (за допомогою ДКРМ) частин ферми підсилення на майданчику тимчасового складування (МТС) комплексу НБК-ОУ.

При цьому найбільш небезпечною технологічною операцією з погляду протирадіаційного захисту персоналу є відрізання зв'язівок між фрагментами металеві ферми підсилення та щитами південної покрівлі ОУ, що виконується вручну за допомогою апарата повітряно-плазмового різання.

Таким чином, основними зонами виконання робіт (ЗВР) за проектом є південна частина покрівлі ОУ в осях 50–51, Б–В і ділянка МТС між осями 60–61, Т–У, які за своїми умовами класифікуються як робочі місця групи 1 зони суворого режиму (ЗСР) комплексу НБК-ОУ [3]. При цьому ЗВР на ділянці МТС характеризується як робочі місця групи 1 тільки під час знаходження на ньому демонтованих радіоактивно забруднених металокопункцій (РЗМК), призначених для подальшої фрагментації.

Радіаційні умови в зонах виконання робіт

Забруднення повітря. На етапі дослідно-промислової експлуатації комплексу НБК-ОУ забруднення повітря в його внутрішньому об'ємі обумовлено в основному неорганізованими викидами РА з отворів легкої покрівлі та стін ОУ. З плином часу, у міру реалізації запланованих обсягів робіт із демонтажу конструкцій ОУ, у процесі забруднення повітря буде зростати роль вторинної міграції РА, що осіли на поверхні конструкцій у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ.

Аналіз даних моніторингу об'ємної активності і радіонуклідного складу РА в повітрі за період 2018–2020 рр. показує, що їхня максимальна активність спостерігається в періоди інтенсивної технічної діяльності у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ [4]. Так, максимальні поточні значення цього показника було зареєстровано в жовтні 2019 р. При цьому активність радіонуклідів ^{137}Cs і ^{241}Am становила відповідно 5,0 і 0,1 Бк/м³. Використовуючи співвідношення ^{137}Cs у складі $\Sigma\beta$ РА та ^{241}Am у складі $\Sigma\alpha$ РА [5], ми отримуємо такі значення: сумарна бета-активність буде становити 15 Бк/м³ та сумарна альфа-активність — 0,19 Бк/м³. Ці значення не перевищують величини проектних контрольних рівнів (КР) для поточних вимірювань бета-і альфа-активних довгоіснуючих нуклідів у повітрі для приміщень 2-ї підзони (обмеженого обслуговування) ЗСР, які становлять відповідно 80 і 0,4 Бк/м³ для етапу дослідно-промислової експлуатації ПК-1 НБК [6].

Аналіз результатів поточних досліджень об'ємної активності РА в повітрі, на ділянках основних ЗВР за проектом, що були виконані співробітниками Цеху

Таблиця 1. Поточна об'ємна активність РА в повітрі ділянок основних ЗВР за проектом (період спостережень 03–31.03.2021 р.)

Зона виконання робіт	Об'ємна активність РА в повітрі, Бк/м ³			
	сума бета-активних нуклідів		сума альфа-активних нуклідів	
	діапазон значень	середнє	діапазон значень	середнє
Майданчик тимчасового складування	від $8,3 \cdot 10^{-3}$ до $1,7 \cdot 10^{-1}$	$6,7 \cdot 10^{-2}$	від $7,9 \cdot 10^{-4}$ до $9,7 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Покрівля машинного залу	від $2,7 \cdot 10^{-2}$ до $8,5 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$	від $3,0 \cdot 10^{-3}$ до $6,8 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$

радіаційної безпеки ДСП ЧАЕС у 2021 р. [7], показує, що середні величини цього показника практично однакові (табл. 1).

Вентиляційна система НБК (введена в експлуатацію з серпня 2018 р.) працює в режимі дослідно-промислової експлуатації, що характеризується витратою повітря від 80 000 до 90 000 м³/год. Відпрацьоване повітря викидається в навколишнє середовище через вентиляційну трубу НБК. При цьому режим фільтрації відпрацьованого повітря з НБК вмикається автоматично за умов перевищення величини активності РА у викиді понад 40 Бк/м³.

Поверхнєве забруднення. Зведення захисної споруди НБК над ОУ та герметизація його огорожувального контуру (січень 2018 р.) сприяло процесам накопичення як інертного (нерадіоактивного), так і радіоактивного пилу на поверхнях його внутрішнього об'єму, зокрема, на покрівлях ОУ, що є наслідком осідання аерозолів з повітря. За час, що минув із моменту герметизації конструкції НБК, накопичення пилу на окремих ділянках внутрішніх поверхонь НБК досягло таких масштабів, що наразі вже спостерігається візуально.

Накопичення пилу відбувається внаслідок його генерування (з різних джерел) та за відсутності умов для його ефективної вторинної міграції у просторі, а саме — змиву рідкими атмосферними опадами та розсіюванням аерозолів у навколишньому середовищі, як це зазвичай відбувалося до зведення НБК.

Основним джерелом надходження РА у внутрішній об'єм повітря під аркою НБК виступають неорганізовані викиди крізь отвори огорожувальних конструкцій ОУ. Так, за даними моніторингових спостережень Інституту проблем безпеки АЕС Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України), за допомогою змінних накопичувальних планшетів [4] за період з 2019 по 2021 р. щільність випадання РА в просторі ОУ на горизонтальних поверхнях (будівельна відмітка 43,00 м) становила 39 Бк/(м² · добу).

Аналіз даних досліджень щільності поверхневого радіоактивного забруднення (ПЗ) до зведення НБК та після герметизації його огорожувального контуру показує, що середня величина загальної щільності ПЗ бета-активними нуклідами поверхні металевих конструкцій у ЗВР збільшились у 9,3 рази, а величина нефіксованого ПЗ — у 5,7 разів (табл. 2).

Слід зауважити, що внесок альфа-активних нуклідів у загальне поверхнєве забруднення РЗМК не визначався з технічних причин (високий гамма-фон у ЗВР), а їхньою активністю у складі нефіксованого ПЗ у цьому випадку можна знехтувати з причини занадто низьких величин (у межах похибки вимірювання) (див. табл. 2).

На етапі передпроектних досліджень необхідним є більш детальне вивчення властивостей накопиченого пилу на зовнішніх поверхнях ОУ з метою визначення радіонуклідного складу пилу, його дисперс-

Таблиця 2. Величини поверхневого забруднення в зоні виконання робіт з демонтажу ферми підсилення до встановлення аркової конструкції в проектне положення і періоду дослідно-промислової експлуатації НБК

Дата	Загальне ПЗ, бета-част./ (см ² · хв)		Нефіксоване ПЗ, част./ (см ² · хв)			
			бета-частки		альфа-частки	
	діапазон значень	середнє	діапазон значень	середнє	діапазон значень	середнє
05.2013*	від 4 000 до 16 000	9 500	від 15 до 310	190	від 0 до 3	2
04.2021**	від 25 000 до 160 000	88 000	від 330 до 2 700	1 080	від 0 до 5	2

Примітки: * — за даними досліджень ІПБ АЕС НАН України [8]; ** — за даними досліджень ДСП «Чорнобильська АЕС» [7].

ності, характеристик пилу, що здійснюється, а також можливості підйому пилу з поверхні.

Радіаційний фон. За даними [2], потужність дози (ПД) гамма-опромінення (на висоті 1 м від поверхні) на ділянці ЗВР на південній покрівлі ОУ коливається в межах 1,4–12,2 мЗв/год (середнє — 5,9 мЗв/год).

Поле гамма-випромінювання в межах ЗВР характеризується неоднорідністю, з максимальними значеннями величини ПД (від 10,0 до 12,2 мЗв/год) у центральній частині (уздовж осі В), що обумовлено значними скупченнями радіоактивних матеріалів у завалах між опорами балки «Мамонт», які знаходяться в проекції південної покрівлі ОУ. Ближче до осі 42 значення величини ПД мінімальні та перебувають у діапазоні від 1,4 до 2,8 мЗв/год.

Зважаючи на тяжкі радіаційні умови на шляхах доступу, транспортування персоналу до ЗВР здійснюється в захисному екранованому боксі, який переміщується у внутрішньому об'ємі НБК за допомогою системи основних кранів.

Ділянка МТС характеризується відносно низькими значеннями величин ПД. Висхідна потужність дози гамма-опромінення (на висоті 1 м від поверхні) коливається в межах від 0,0014 до 0,0090 (середнє — 0,0055) мЗв/год. Проте після складування і поводження з фрагментами РЗМК ферми підсилення радіаційні умови на ділянці МТС зазнають суттєвих змін.

Методика виконання прогнозних розрахунків

Унаслідок механічного впливу на поверхні РЗМК під час виконання робіт за проектом прогнозується утворення високих концентрацій РА в повітрі ЗВР, що призведе до значного радіаційного впливу на персонал і повітряне середовище у внутрішньому об'ємі НБК, а також до забруднення задіяного в роботі технологічного обладнання та інструментів. Зважаючи на особливу небезпеку робіт із різання РЗМК, є нагальна потреба у прогнозуванні концентрацій РА в повітрі робочої зони під час виконання робіт для планування відповідних протирадіаційних заходів.

Для випадку виконання різання забруднених металоконструкцій способом холодної плазмової різки, концентрація РА (C) у повітрі ЗВР обчислювалася за формулою

$$C = \frac{S \cdot K \cdot d \cdot L}{V + q \cdot t}, \quad (1)$$

де S — щільність поверхневого забруднення в місці виконання робіт із різання, Бк/м²; K — коефіцієнт дезактивації 0,1; d — ширина зони інтенсивного нагріву під час виконання різання, м; L — довжина зони різання, м; V — об'єм повітря зони, у якій виконуються роботи, м³; q — швидкість видалення повітря за допомогою вентиляційної системи НБК, м³/год; t — час виконання роботи, год.

Передбачається, що в аерозольну форму перейде все поверхневе забруднення з площі інтенсивного впливу під час виконання різання, а аерозоль рівномірно розподілиться між об'ємом робочої зони і об'ємом повітря, яке видаляється за допомогою системи вентиляції НБК.

Виконання операцій із різання РЗМК ручним інструментом потребує такої організації робіт, яка б забезпечила мінімальне, наскільки це дозволяють наявні ресурси, опромінення робочого персоналу (принцип ALARA). Так, прогнозні розрахунки за представленою формулою показують, що основним фактором, який визначає рівень концентрації РА в повітрі ЗВР, є швидкість виконання операції (різання). Чим вона менша, тим меншою є інтенсивність надходження РА в повітря, що дозволяє уникнути перевищення величини КР та застосовувати більш комфортні для персоналу типи засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД). З іншого боку, зменшення швидкості різання призводить до збільшення дози опромінення персоналу за рахунок більш тривалого перебування у ЗВР. І навпаки, чим швидше виконується операція, тим більша концентрація РА в повітрі, що призведе до перевищення КР і необхідності застосування ізолюючих ЗІЗОД при одночасному зменшенні дози зовнішнього опромінення.

З цього випливає необхідність певної оптимізації швидкості виконання операції, яка визначається, зокрема, властивостями матеріалу конструкції, технічною характеристикою інструменту для виконання різання та кваліфікацією персоналу.

Прогнозування забруднення повітря під час виконання робіт

Прогнозні розрахунки викиду РА будуть виконуватись для таких технологічних операцій:

різання металоконструкцій ферми підсилення на південній покрівлі ОУ (рисунок);

різання зв'язків (опорних кронштейнів) по нижньому та верхньому поясах конструкції ферми підсилення на південній покрівлі ОУ (рисунок);

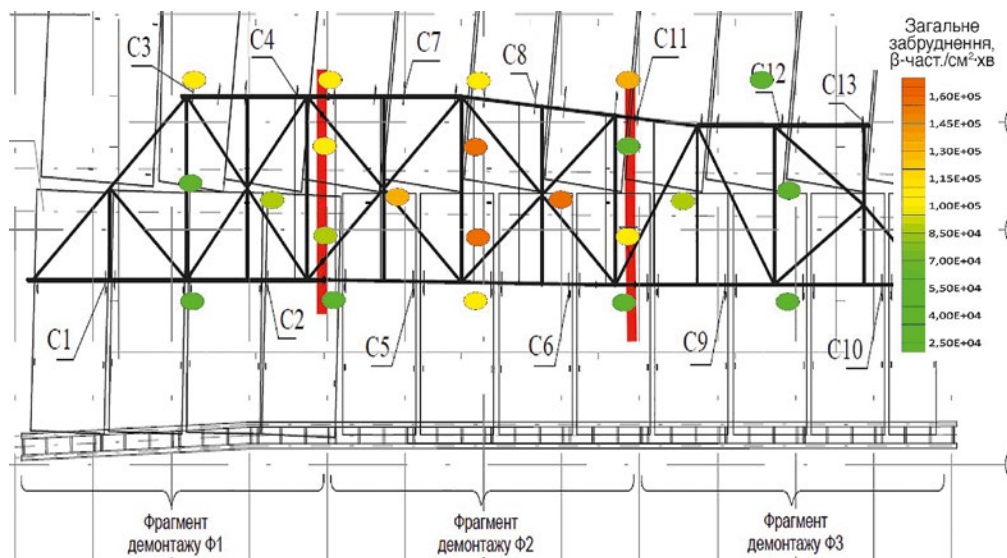


Схема розміщення точок різання металоконструкцій ферми й дані щодо їхньої величини загального поверхневого забруднення [6]

різання демонтованих фрагментів ферми підсилення на ділянці МТС.

Для прогнозних розрахунків, які виконуються за представленою формулою, використовуючи консервативний підхід, припускається:

поверхнєве забруднення (з огляду на його вторинне походження внаслідок осідання РА з повітря), наявне тільки на горизонтальних поверхнях РЗМК;

вплив вентиляційної системи НБК на видалення повітря з об'єму ЗВР відсутній;

РА, що утворилися внаслідок фрагментації РЗМК, рівномірно розподіляються в об'ємі повітря ЗВР, який має геометричну форму напівсфери з радіусом 5 м і об'ємом 262 м³;

місце розрізу РЗМК буде дезактивовано з ефективністю 90 % (цей показник прийнятий на основі досвіду виконання дезактивації аналогічних конструкцій ОУ [2]).

Різання РЗМК ферми підсилення на південній покрівлі ОУ. Роботи будуть виконуватись за допомогою ДКРМ з дисковою пилкою, який встановлено на мобільній інструментальній платформі (МІП) підйомного крану НБК. Швидкість різання дискової пилки становить 3,5 м/хв.

На рисунку показано найближчі до місць виконання різання точки РЗМК ферми з відомим поверхневим забрудненням. З огляду на те, що в конструкції поясів ферми використовуються двотаврові балки різних розмірів, застосовуючи консервативний підхід, для розрахунків обрано двотаврову балку, яка має найширшу полицю — 251×180 мм, тип 26Ш1.

Таким чином, приймається, що для двотаврової балки типу 26Ш1 зі щільністю поверхневого забруднення 130 000 бета-част./см²·хв довжина різку становить 0,36 м, а час різання 0,18 хв. При цьому ширина різку становить 10 мм, а зона температурного впливу — 5 мм (з кожного боку).

Припускається, що об'ємна активність повітря робочої зони за відсутності впливу системи вентиляції НБК (консервативний підхід) не перевищить значення у 630 і $4,9 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ бета- і альфа-активних нуклідів відповідно (табл. 3).

Різання зв'язок (опорних кронштейнів) по нижньому та верхньому поясах конструкції ферми підсилення на південній покрівлі ОУ. Роботи виконуються вручну за допомогою переносного обладнання для повітряно-плазмового різання, яке характеризується такими параметрами: швидкість різання — 2,6 м/хв, ширина різку — 3 мм, ширина зони температурного впливу — 2 мм (з кожного боку).

У місцях різання ручним інструментом (верхній і нижній пояси кріплення металевої ферми) діапазон величини загального ПЗ суми альфа- і бета-активних нуклідів становить від 25 000 до 120 000 част./см²·хв.

Тоді для швелера 250×125×8 мм довжина радіоактивно забрудненого шва дорівнює 0,25 м, щільність ПЗ альфа- і бета-активними нуклідами становить 113 000 част./см²·хв, а час різання — 0,19 хв.

Припускається, що активність повітря робочої зони за відсутності впливу системи вентиляції НБК (консервативний підхід) не перевищить значення

Таблиця 3. Максимальні прогнозовані концентрації РА в повітрі ЗВР під час виконання робіт із фрагментації РЗМК

ЗВР і спосіб виконання різання РЗМК	Місце виконання різання РЗМК*	Викид активності повітря ЗВР, Бк		Максимальна об'ємна активність РА в повітрі ЗВР, Бк/м ³	
		β-активних	α-активних	β-активних	α-активних
Фрагментація ферми підсилення на південній покрівлі ОУ за допомогою ДКРМ на МПП	Верхня частина ферми підсилення, фрагменти Ф2-Ф3	165 000	1,3	630	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Відрізання опорних кронштейнів ферми підсилення на південній покрівлі ОУ вручну (повітряно-плазмове різання)	СЗ	34 100	0,6	130	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Фрагментація елементів ферми підсилення на ділянці МТС за допомогою ДКРМ на власному ходу або на МПП	Центральна частина ферми, фрагмент Ф2	15 700	0,3	60	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Примітка: * — відповідно до позначень на рисунку.

у 130 і $2,3 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ бета- і альфа-активних нуклідів (див. табл. 3).

Різання демонтованих фрагментів РЗМК ферми підсилення на ділянці МТС. Роботи виконуються ДКРМ на власному ходу за допомогою дискової пилки.

Розрахунок прогнозу об'ємної активності повітря під час робіт із подальшої фрагментації фрагмента Ф2 металевої ферми підсилення виконувався за представленою формулою з урахуванням типу металоконструкцій і поверхневого забруднення в місцях різання.

Швидкість різання приймається $3,5$ м/хв, ширина шва — 10 мм, ширина зони температурного впливу — 5 мм. Швидкість роботи витяжної вентиляції НБК — $80\,000$ м³/год.

Металоконструкція, що буде розрізана, — парний кутник $140 \times 140 \times 9$ мм, довжина шва становить $0,280$ м. Максимальне загальне ПЗ альфа- і бета-активними нуклідами становить близько $160\,000$ част./см² · хв). Час виконання різання парного кутника — $0,0027$ год.

З урахуванням ефективності дезактивації загальне ПЗ альфа- і бета-активними нуклідами становить близько $16\,000$ част./см² · хв).

Унаслідок виконання вказаних робіт об'ємна активність РА в повітрі робочої зони не перевищить значення у 60 і $1,2 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ бета- і альфа-активних нуклідів відповідно (табл. 3).

Висновки

1. Герметичність споруди НБК сприяє осіданню РА з повітря його внутрішнього об'єму, що з плином

часу призводить до поступового збільшення щільності поверхневого забруднення конструкцій, які підлягають демонтажу за проектом перетворення ОУ на екологічно безпечну систему.

2. З моменту герметизації конструкції НБК (2018 р.) і по теперішній час щільність загального поверхневого забруднення сумою альфа- і бета-активних нуклідів металевої ферми підсилення південної покрівлі ОУ збільшилася в $9,3$ рази і становить від $25\,000$ до $160\,000$ част./см² · хв) із середнім значенням $88\,000$ част./см² · хв). Відповідно нефіксоване поверхневе забруднення збільшилось у $5,7$ разів і становить від 330 до $2\,700$ част./см² · хв), із середнім значенням 1080 част./см² · хв).

3. У зв'язку з відсутністю суттєвих потоків повітря фрагментація РЗМК у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ за допомогою ручного інструменту може спричинити значне забруднення повітря робочої зони. Ці обставини потребують обов'язкового попереднього визначення поверхневого забруднення РЗМК і на основі запропонованого підходу прогнозування забруднення повітря у ЗВР під час виконання ручних робіт для застосування адекватних заходів із протирадіаційного захисту робочого персоналу.

4. Запропонований підхід дозволить зменшити вплив РА на опромінення персоналу внаслідок виконання робіт у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ за рахунок оптимізації використання ЗІЗ та визначення часу виконання робіт у конкретних умовах.

5. Після перевірки отриманих прогнозних результатів на практиці такий підхід у вирішенні про-

блем радіаційної безпеки персоналу може бути використано під час планування подальших радіаційно небезпечних робіт у внутрішньому об'ємі комплексу НБК-ОУ під час його експлуатації.

Список використаної літератури

1. Отчет о НИР: Оценка изменения динамики испарения-конденсации влаги в ОУ под НБК, поведения ТСМ в изменившихся условиях и оценка изменения пылеобразования. Договор № 374/17. — Чернобыль : ИПБ АЭС, 2017. — 108 с.
2. Реконструкція об'єкту «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі. Проект. Звіт з аналізу безпеки. Коригування. — Т. 6. — 301503.201.008-ЗАБ. — ДСП ЧАЕС, 2021. — 164 с.
3. Перелік зонуваних приміщень, будівель, споруд і території промайданчика НБК-ОУД. 24ПН-С (НБК). — ДСП ЧАЕС, 2020. — 24 с.
4. Звіт про НДР: Комплексна оцінка сукупних впливів на навколишнє середовище радіаційно-небезпечних об'єктів чорнобильської зони відчуження. — Чернобыль : ИПБ АЭС, 2020. — 888 с.
5. Kalynovskyi O. K. Radioactive aerosols monitoring of the surface air near the Shelter object within 1998–2019 / O. K. Kalynovskyi, V. O. Krasnov, O. V. Filippov // Nuclear Power and the Environment. — 2021. — Vol. 22 (3). — pp. 78–83.
6. Проектні контрольні рівні радіаційної безпеки НБК. — ДСП ЧАЕС, 2020. — 15 с.
7. Лист ДСП «Чернобильська АЕС» № 1780/23030300-2021 від 30.04.2021.
8. Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі. Проект. — Т. 6. — Звіт з аналізу безпеки. — 301503.201.006-ЗАБ/ІПБ АЕС НАНУ. — ДСП ЧАЕС, 2016. — 145 с.

The characteristics of the modern radiation situation in the areas of work under the project “Reconstruction of the Shelter object of the SSE ChNPP in the part of the dismantling of the metal truss of the southern roof reinforcement” are provided. It is shown that during the period of research and industrial operation of the “New Safe Confinement — Shelter object” (NSC-SO) complex, as a result of the sealing of its containment circuit, there was a deterioration of the radiation situation due to an increase in the amount of general and non-fixed surface pollution. The reason for this is the deposition of radioactive aerosols, which are generated both in the Shelter object and during construction work in the internal volume of the NSC-SO complex. According to research data, the average value of the total density of surface pollution by beta-active nuclides of metal structures in the areas of work under the project, for the period from 2018 to 2021, increased by 9.3 times, and the value of unfixed surface pollution by 5.7 times.

Such extremely unfavorable radiation conditions encourage the widest possible use of unmanned technologies with the use of remotely controlled robot manipulators (RCRM). In the case of the impossibility of using RCRM for radiation-hazardous technological operations and their replacement by operations performed manually, it is absolutely necessary to forecast the dynamics of air pollution in the working area during the performance of such works in order to guarantee the effective application of appropriate measures for personnel radiation safety.

A predictive assessment of radioactive air pollution of work zones in the internal volume of the NSC-SO complex during the execution of project work was provided, which made it possible to optimize measures for the radiation safety of working personnel, in particular, in the selection of appropriate types of means of individual protection of respiratory organs. The proposed approach can be used during the planning of further radiation-hazardous works in the internal volume of the NSC-SO complex, namely, during the dismantling of unstable structures of the Shelter object and the partial removal of nuclear materials and high-level waste from the Shelter object.

Keywords: Chornobyl NPP, southern roof, RCRM, radioactive aerosols, predictive assessment.

**L. I. Pavlovskiy, D. V. Gorodetskiy,
V. V. Derenhovskiy, Ye. A. Menshenin**

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

Relevance of Forecasting Air Pollution of the Working Area during Performance of Works on Fragmentation of Structural Elements of the NSC-SO

References

1. Research report “Evaluation of changes in the dynamics of evaporation-condensation of moisture in the Shelter object under the NSC, the behavior of FCM under changed conditions and the assessment of changes in dust forma-

- tion". Agreement no. 374/17. Chornobyl: ISP NPP, 2017, 108 p. (in Rus.)
2. Reconstruction of the Shelter object of the SSE "ChNPP" in the part of the dismantling of the metal truss of the southern roof reinforcement. Project. Security analysis report. Adjustment. Vol. 6. Chornobyl: SSE "ChNPP", 2021, 164 p. (in Ukr.)
3. List of zoned premises, buildings, structures and territory of the NSC-SO industrial site. 24PN-S (NBK)]. Chornobyl: SSE "ChNPP", 2020. (in Ukr.)
4. Research report "Comprehensive assessment of cumulative environmental impacts of radiation-hazardous facilities in the Chornobyl Exclusion Zone". Chornobyl: SSE "ChNPP", 2020, 888 p. (in Ukr.)
5. Kalynovskyi O. K., Krasnov V. O., Filippov O. V. (2021). [Radioactive aerosols monitoring of the surface air near the Shelter object within 1998–2019]. *Nuclear Power and the Environment*, vol. 22, no. 3, pp. 78–83.
6. Project control levels of radiation safety of NSC. Chornobyl: SSE "ChNPP", 2020. (in Ukr.)
7. Letter from the SSE "ChNPP" no. 1780/23030300–2021 (dated 30.04.2021). (in Ukr.)
8. Reconstruction of the Shelter object of the SSE "ChNPP" in the part of the dismantling of the metal truss of the southern roof reinforcement. Project. Security analysis report 301503.201.006-3AB//ISP NPP NASU. Vol. 6. Chornobyl: SSE "ChNPP", 2016, 145 p. (in Ukr.)

Надійшла 20.07.2022

Received 20.07.2022