

Л. І. Павловський¹, Д. В. Городецький¹, Є. А. Меньшенін¹, О. О. Одінцов¹,
Л. А. Паламар¹, О. П. Солоненко²

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

² Державне спеціалізоване підприємство «Чорнобильська АЕС», а/с 11, Славутич, 07100, Україна

Вплив герметизації контуру нового безпечного конфайнмента на поверхневе забруднення зовнішніх поверхонь покрівель об'єкта «Укриття» та оцінка можливості їхньої дезактивації

Ключові слова:

ЧАЕС,
комплекс НБК-ОУ,
нефіксоване радіоактивне
поверхневе забруднення,
суха дезактивація

Після виконання герметизації огорожувального контуру комплексу НБК-ОУ спостерігається значне накопичення пилу на зовнішніх поверхнях конструкцій у його внутрішньому об'ємі. Зокрема, ці процеси проявляються на покрівлях об'єкта «Укриття», де маса пилу наразі вже сягає величини 15 г/м². За питомою активністю, що становить до 580 кБк/кг альфа-активних, а також до 19300 кБк/кг бета- і гамма-активних нуклідів, цей пил належить до середньоактивних радіоактивних відходів. Показано високу ефективність (від 80 до 99%) застосування сухої дезактивації робочих поверхонь за допомогою промислового пилососа, що може суттєво зменшити дози опромінення робочого персоналу під час виконання робіт з демонтажу конструкцій об'єкта «Укриття» в умовах перетворення його на екологічно безпечну систему.

Вступ

До насування арки нового безпечного конфайнмента (НБК) у робоче положення та герметизації його огорожувального контуру (наприкінці 2017 р.) неорганізовані викиди з об'єкта «Укриття» у вигляді радіоактивних аерозолів (РА) більшою частиною розсіювались у навколишньому середовищі під впливом зовнішніх факторів — вітру та атмосферних опадів. Так, у роботі [1] було оцінено запаси та визначено властивості пилового забруднення в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття».

Наразі в замкненому об'ємі під аркою НБК на поверхнях конструкцій спостерігається осідання й накопичення значної кількості пилу, який характеризується високим вмістом радіонуклідів.

Так, порівняння сучасних даних щодо визначення поверхневого забруднення (ПЗ) радіоактивно забруд-

нених металевих конструкцій на покрівлях об'єкта «Укриття» з епізодичними даними попередніх досліджень цих ділянок (до початку дослідно-промислової експлуатації комплексу НБК-ОУ), що виконувались фахівцями Державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська АЕС» (ДСП «ЧАЕС»), показує збільшення щільності загального ПЗ сумою альфа- і бета-активних нуклідів у 9,3 раза, а їхньої нефіксованої форми ПЗ у 5,7 раза [2].

Таким чином, з часу герметизації внутрішнього об'єму комплексу НБУ-ОУ і по теперішній час на його внутрішніх поверхнях відбулось настільки значне накопичення суміші інертного (нерадіоактивного) і радіоактивного пилу, яке вже спостерігається візуально. Так, на рис. 1 добре помітно різницю в кольорі вертикальних і горизонтальних поверхонь пофарбованих металевих конструкцій, що є наслідком осідання значного шару пилу, переважно сірого кольору.

© Л. І. Павловський, Д. В. Городецький, Є. А. Меньшенін,
О. О. Одінцов, Л. А. Паламар, О. П. Солоненко, 2022



Рис. 1. Значне запилення горизонтальних поверхонь металоконструкцій на покрівлі об'єкта «Укриття», листопад 2021 р.

При цьому якщо на рівні нульової відмітки (підлоги) внутрішнього об'єму комплексу НБК-ОУ здійснюється регулярна дезактивація або пілозакріплення відкритих поверхонь, то на ділянках покрівель споруди об'єкта «Укриття» відбувається поступове накопичення пилу. Відповідно внаслідок будь-якого гіпотетичного механічного впливу на ці поверхні існує реальна загроза інтенсивного вторинного підйому радіоактивного пилу, що є негативним фактором з точки зору забезпечення радіаційної безпеки робочого персоналу.

Якщо всебічне дослідження параметрів РА неорганізованих викидів з об'єкта «Укриття» фахівцями Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України) відбувається постійно (наприклад, у роботі [3] наведено стан РА в умовах НБК у 2017–2020 рр.), то проблема сучасного запилення його покрівель до цього часу практично не вивчалась. Крім того, особливості цього явища, а саме незвичайно потужний шар пилу, спонукають до застосування нестандартних способів відбирання зразків ПЗ з огляду на те, що використання стандартного методу «мазків» у таких умовах не завжди є коректним.

Метою цієї роботи було визначення характеристик нефіксованого радіоактивного ПЗ зовнішньої поверхні покрівель об'єкта «Укриття» та обґрунтування способів їхньої дезактивації для запобігання додатковому внутрішньому опроміненню робітників під час виконання робіт з демонтажу будівельних конструкцій об'єкта «Укриття» для перетворення його на екологічно безпечну систему, а також прийняття адекватних рішень з радіаційного захисту.

Відбирання та аналіз зразків відбувалось у рамках виконання передпроектних досліджень радіаційної

обстановки в зонах виконання робіт (ЗВР) за договором «Демонтаж нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» ДСП «ЧАЕС» у частині «раннього» демонтажу».

Об'єкти та методи

Дослідження параметрів нефіксованого ПЗ виконувались на типових ділянках у межах ЗВР з демонтажу нестабільних будівельних конструкцій об'єкта «Укриття», що знаходяться на його покрівлях, а саме:

похилі щити-нащільники (між осями 40–52, Б — 2,5 у бік осі А, на позначках 41,000 і 43,000);

південні щити-«ключки» (між осями 40–50, Б–В, між позначками 42,400–55,848);

легка покрівля над накатом із труб (між осями 43–50, Ж–П, на позначці 63,700);

південні щити (між осями 41–50, В–Ж, між позначками 55,848–62,300);

північні щити-«ключки» (між осями 41–50, П–С, між позначками 53,450–63,920).

Дослідження виконувались в умовах особливо небезпечної радіаційної обстановки, тому з метою зменшення дози опромінення персоналу відбиралась мінімальна кількість репрезентативних зразків ПЗ у типових місцях ЗВР, що вказані вище. Таким чином, на кожній ділянці ЗВР відбирався один зразок ПЗ, який, на наш погляд, найбільш повно характеризував поточні радіаційні умови.

Вибір ЗВР для досліджень обумовлено актуальністю визначення параметрів радіоактивного ПЗ їхніх поверхонь. Адже саме на цих ділянках повинні розпочатись стартові будівельно-демонтажні роботи в рамках виконання комплексу робіт з «раннього демонтажу» — першого етапу демонтажу найбільш «проблемних» нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», який повинен розпочатись після введення в експлуатацію НБК.

Вимірювання показників, що характеризують параметри нефіксованого ПЗ, здійснювалось відповідно до вимог діючих у ДСП «ЧАЕС» інструкцій та регламентів [4, 5].

Під час виконання досліджень було відібрано зразки нефіксованого (що знімається) радіоактивного ПЗ, в яких вимірювались такі показники:

густина потоку бета-частинок ($\beta_{\text{зн}}$), част. / (см² · хв);
густина потоку альфа-частинок ($\alpha_{\text{зн}}$), част. / (см² · хв);
щільність поверхневого забруднення (Бк/м²) окремими радіонуклідами ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu і ²⁴¹Am;

хімічний (макроелементний) склад пилу (масові %) на поверхнях конструкцій зон досліджень.

При цьому загальне радіоактивне ПЗ не вимірювалось, зважаючи на особливі радіаційні умови, якими характеризуються зони досліджень, а саме високими величинами полів гамма-випромінювання (понад 10 мЗв/год). Крім того, радіаційна обстановка була ускладнена просторовою неоднорідністю поля гамма-випромінювання внаслідок його формування чисельними потужними джерелами різної геометричної конфігурації. За таких умов коректне визначення величини загального ПЗ можливе лише шляхом лабораторного радіометричного аналізу зразка поверхні, що досліджується. Зважаючи на те, що основними матеріалами поверхонь у межах ЗВР є метал або бетон, то такий метод досліджень (за даних умов) було визначено як неприйнятний, з огляду на відносно незначну інформативність величини загального ПЗ.

Спосіб відбирання зразків нефіксованого ПЗ.

У зв'язку з високим запиленням відкритих поверхонь у зонах досліджень, вимірювання нефіксованого ПЗ шляхом застосування стандартного методу «сухих» мазків, на наш погляд, було неприйнятним і неодмінно призвело б до суттєвої похибки у вимірюваннях величини нефіксованого ПЗ.

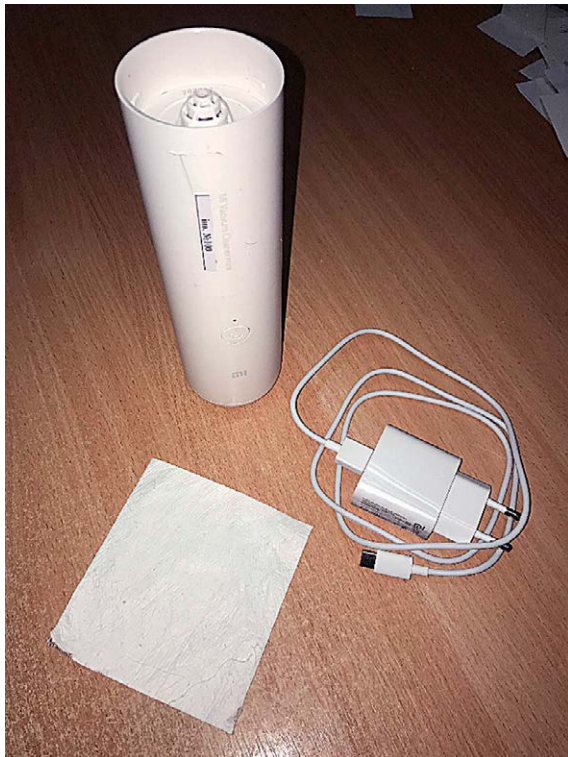
Відповідно до зазначеного вище було прийнято рішення про модифікацію процесу відбирання зразків для визначення нефіксованого ПЗ, яке за таких умов дозволило б максимально достовірно визначити його параметри. Із цією метою з досліджуваної поверхні (площа 100 см²) повністю (у декілька проміжних етапів) видалялось різні категорії ПЗ для його подальшого лабораторного аналізу. Такий спосіб фактично є аналогом процесу експериментальної дезактивації ділянки поверхні, що досліджувалась.

Таким чином, зразки для визначення характеристик нефіксованого ПЗ відбиралися за схемою, яка включала в себе таку послідовність технологічних операцій:

установлення трафарету (платівка з картону) із стандартним отвором площею 100 см² на поверхні, що досліджувалась;

відбирання першого зразка пилу автономним міні-пилососом (режим малої потужності) на фільтруючий матеріал ФПП-15-1,5 (рис. 2 і 3);

відбирання другого зразка пилу автономним міні-пилососом (турборежим, потужність всмок-



а



б

Рис. 2. Автономний міні-пилосос (тип Mi Vacuum Cleaner mini), що використовувався для відбирання зразків нефіксованого ПЗ: а — пилосос, фільтр із тканини ФПП-15-1,5; б — пилосос у спорядженому стані, готовий до відбирання зразка пилу



Рис. 3. Відбір проби нефіксованого ПЗ із поверхні з високим запиленням за допомогою автономного міні-пилососа

тування пилу 13 кПа) на фільтруючий матеріал ФПП-15-1,5;

перший «сухий» мазок тампоном із тканини (бязь) в одному напрямку;

другий «сухий» мазок тампоном із тканини (бязь) у напрямку, перпендикулярним до попереднього;

перший «мокрый» мазок тампоном із тканини (бязь), який був змочений у 1 М розчині HNO_3 , в одному напрямку;

другий «мокрый» мазок тампоном із тканини (бязь), який був змочений у 1 М розчині HNO_3 , у напрямку, перпендикулярному до попереднього.

При цьому відбирання зразків шляхом «сухого» і «мокрого» мазків принципово не відрізнялись від стандартних методів, що прийняті в ДСП «ЧАЕС» [4, 5].

Відібрані зразки ПЗ (у вказаній вище послідовності) в окремих поліетиленових пакетах транспортувались для подальших радіометричного і радіохімічного аналізів, що виконувались у лабораторіях цеху радіаційної безпеки (ЦРБ) ДСП «ЧАЕС» та відділення ядерної радіаційної безпеки ІПБ АЕС НАН України (м. Чорнобиль). Далі обчислювалась загальна сума результатів аналізу кожної окремої проби (6 проб), відібраних з однієї точки, що становило від 95 до 100 % величини нефіксованого ПЗ цієї точки.

Визначення щільності потоку альфа- і бета-частинок. В усіх зразках ПЗ, що відбиралися як за

допомогою міні-пилососа (на фільтрі з матеріалу ФПП-15-1,5 діаметром 5,0 см), так і за методом мазків (на серветці з бязі), визначалась щільність потоку альфа- і бета-частинок, що віднесена до площі досліджуваних поверхонь на приладі КРК-01 у лабораторії ЦРБ ДСП «ЧАЕС» за стандартною методикою, яка прийнята в ДСП «ЧАЕС».

Гамма-спектрометричний аналіз. Активність гамма-випромінюючих нуклідів ^{137}Cs і ^{241}Am у зразках нефіксованого ПЗ визначалися за допомогою гамма-спектрометричного комплексу фірми CANBERRA, який у своєму складі має напівпровідниковий детектор GL2020R з надчистого германію, а також 16 000-каналний амплітудний аналізатор імпульсів. Детектор має вікно з берилію товщиною 500 мкм. Мінімальна активність, що визначається для гамма-лінії 59 кеВ (^{241}Am), становить 0,1 Бк/зразок, а для гамма-лінії 661,6 кеВ ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) — 0,4 Бк/зразок.

Обробка отриманих гамма-спектрів виконувалася у програмному середовищі GENIE-2000. Активність ^{241}Am у зразках, що характеризуються низьким вмістом цього нукліда, визначали альфа-спектрометричним вимірюванням після його радіохімічного виділення.

Радіохімічний аналіз. Активність ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ і ^{241}Am визначали після озолення зразків (разом із фільтром або тканиною) при температурі 600 °С та розчинення зольного залишку у 8 М HNO_3 при температурі 95 °С.

Виділення ^{90}Sr (без носія) виконувалось методом осадження. Виділення ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ і ^{241}Am (без носіїв) та очищення від макрокомпонентів виконувались за методикою з використанням іонообмінних смол [6].

Активність ^{90}Sr визначали після радіохімічного виділення за допомогою низькофонового бета-радіометра. Активність ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ і ^{241}Am визначалася після радіохімічного виділення й електрохімічного осадження на диски з нержавіючої сталі за допомогою альфа-спектрометра Alpha Duo (фірма-виробник ORTEC). При цьому похибка визначення активності радіонуклідів не перевищувала 10–15 %.

Визначення елементного складу зразків пилу, відібраних у межах ділянок, що досліджувались, мало на меті визначення його походження для розробки адекватних заходів для подальшого поводження з ним.

Визначення елементного складу проб пилу виконували за допомогою енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного спектрометра X-Supreme 8000 виробництва Oxford Instruments (Велика Британія),

що включає в себе детектор високої чутливості SDD (Silicon Drift Detector). Елементний склад частинок пилу в діапазоні елементів від натрію до урану здійснювали реєстрацією та аналізом вторинного рентгенівського випромінювання, що виникає при опроміненні матеріалу первинним рентгенівським випромінюванням. Вимірювання проводили без попередньої пробопідготовки (неруйнівний метод контролю).

Результати досліджень та їхній аналіз

Визначення величини щільності залягання маси пилу на поверхні конструкцій покрівель об'єкта «Укриття», виконане зважуванням (до 0,0001 г) відпрацьованих фільтрів пирососа, показало, що вона становить від 13 до 15 г/м².

При цьому аналіз елементного хімічного складу пилу свідчить, що його походження, імовірно, є наслідком виконання будівельних робіт, на що вказує характерний для будівельних матеріалів значний вміст у ньому кальцію (від 70,1 до 72,0 %), а також інших металів — заліза (від 15,4 до 21,4 %), цинку (від 0,7 до 7,5 %) тощо.

Масова частка (%) стабільних хімічних елементів у складі зразків нефіксованого радіоактивного ПЗ на покрівлях об'єкта «Укриття» (листопад 2021 р.) така: кальцій — 70,1–72,0; залізо — 15,4–21,4; цинк — 0,7–7,5; кобальт — 3,1–3,5; цирконій — 0,5–1,1; строн-

цій — 0,4–1,0; молібден — 0,6–0,7; титан — 0,1–0,4; мідь — 0,1–0,4; уран — 0,2–0,4; марганець — 0,2–0,3.

Аналіз даних табл. 1 показує, що фракція нефіксованого ПЗ, відібрана пирососом, становить від 60 до 95 % (середнє 85 %) від його сумарної активності. При цьому слід зауважити, що дані щодо активності цієї фракції є певною мірою заниженими через імовірну похибку методу прямої радіометрії (на приладі КРК-1). Це відбулось унаслідок екранування частини потоку альфа- і бета-частинок відносно товстим шаром пилу на фільтрі, який закладався у прилад. Відповідно такий метод визначення потребує подальшого доопрацювання, наприклад, зменшенням стандартної площі (100 см²) відбирання зразка.

За даними табл. 2, від 79 до 98 % загальної активності ПЗ видалається за допомогою пирососа, що свідчить про її досить високий ступінь міграційної здатності (для вторинного пилопідйому). Це необхідно враховувати під час вибору засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) під час планування робіт з демонтажу конструкцій об'єкта «Укриття» на цих ділянках, а також діяльності з експлуатації комплексу НБК-ОУ. При цьому нефіксоване ПЗ на ділянках «Похилі щити-нащільники» та «Південні щити-«ключки»» характеризується відносно меншою здатністю до вторинної міграції.

Зважаючи на той факт, що середня питома активність нефракціонованого чорнобильського ядерного палива (на 2021 р.) становить по ⁹⁰Sr — 5,2 · 10⁸,

Таблиця 1. Результати досліджень густини потоку (част./(см² · хв)) бета- і альфа-частинок різних фракцій нефіксованого ПЗ у типових місцях запроєктованих зон виконання робіт на покрівлях об'єкта «Укриття» (листопад 2021 р.)

Ділянка дослідження	Тип активності	Зразок пилу, відібраний пирососом		«Сухий» мазок		«Мокрий» мазок (розчин 1 М HNO ₃)		Сумарна
		перший	другий	перший	другий	перший	другий	
Похилі щити-нащільники	бета-част.	510	290	11	11	54	48	920
	альфа-част.	0,8	0,8	0,1	0,1	0,2	0,4	2,0
Південні щити-«ключки»	бета-част.	115	100	43	45	31	23	355
	альфа-част.	0,5	0,5	0,2	0,2	0	0	1,4
Легка покрівля над накатом із труб	бета-част.	620	640	24	17	26	29	1360
	альфа-част.	3,0	2,0	0	0	0	0	5,0
Південні щити	бета-част.	820	1180	17	30	44	20	2110
	альфа-част.	2,0	2,5	0	0	0	0	4,5
Північні щити-«ключки»	бета-част.	423	380	15	8	60	33	920
	альфа-част.	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,8

Таблиця 2. Щільність нефіксованого ПЗ (кБк/м²) окремими радіонуклідами в типових місцях запроєктованих зон виконання робіт на покрівлях об'єкта «Укриття» (листопад 2021 р.)

Ділянка дослідження	Радіонуклід	Зразок пилу, відібраний пирососом	«Сухий» і «мокрый» мазки (об'єднані)	Сумарна
Похилі щити-націльники	¹³⁷ Cs	156,60	34,50	191,10
	⁹⁰ Sr	77,50	13,70	91,20
	²³⁸ Pu	0,72	0,13	0,85
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,83	0,32	2,15
	²⁴¹ Am	5,05	0,62	5,67
Південні щити-«ключки»	¹³⁷ Cs	126,10	26,60	152,70
	⁹⁰ Sr	68,80	15,70	84,50
	²³⁸ Pu	0,60	0,16	0,76
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,57	0,39	1,96
	²⁴¹ Am	3,12	0,69	3,81
Легка покрівля над накатом із труб	¹³⁷ Cs	393,30	15,90	409,20
	⁹⁰ Sr	229,00	8,90	237,90
	²³⁸ Pu	2,41	0,07	2,48
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	5,97	0,14	6,11
	²⁴¹ Am	12,61	0,37	12,98
Південні щити	¹³⁷ Cs	454,20	17,20	471,40
	⁹⁰ Sr	309,00	11,40	320,40
	²³⁸ Pu	2,80	0,08	2,88
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	6,89	0,22	7,11
	²⁴¹ Am	16,20	0,55	16,75
Північні щити-«ключки»	¹³⁷ Cs	263,00	24,60	287,60
	⁹⁰ Sr	172,00	20,50	192,50
	²³⁸ Pu	1,35	0,13	1,48
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	3,42	0,35	3,77
	²⁴¹ Am	6,97	0,69	7,66

¹³⁷Cs — $6,3 \cdot 10^8$ і ²⁴¹Am — $2,6 \cdot 10^7$ Бк/г, то порівняння співвідношень указаних радіонуклідів у паливі з їхніми співвідношеннями у зразках нефіксованого ПЗ (табл. 3), показує що паливна компонента присутня на всіх ділянках ЗВР, що досліджувались. При цьому вона домінує у складі забруднення на ділянках ЗВР «Південні щити-«ключки»», «Південні щити», а також «Північні щити-«ключки»», що необхідно враховувати під час вибору ЗІЗОД.

Застосування промислового вакуумного пирососа (практичні рекомендації)

Відповідно до проєкту НБК [7] передбачено застосування промислового вакуумного пирососа для

«сухої» дезактивації фрагментів нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» як перед їхнім транспортуванням на майданчик тимчасового складування, що знаходиться в межах НБК, так і до початку робіт з демонтажу. При цьому під «сухою» дезактивацією розуміють таку операцію, унаслідок якої не утворюються рідкі радіоактивні відходи (РАВ).

Зважаючи на те, що проєкт будівництва НБК виконувався протягом більше 10 років, вимоги до застосування промислових пирососів для «сухої» дезактивації потребують певної корекції з метою зменшення дози опромінення робочого персоналу, а саме:

усі пирососи повинні бути укомплектовані НЕРА-фільтрами та одноразовою ємністю (баком) для збирання пилу, що легко знімається;

Таблиця 3. Порівняння співвідношень активності радіонуклідів у нефракціонованому ядерному паливі ЧАЕС та активності радіонуклідів у зразках пилу на покрівлях об'єкта «Укриття»

Ділянка дослідження	Радіонуклід	^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am
Нефракціоноване ядерне паливо ЧАЕС (2021 р.)	^{137}Cs	1	1,21	24,23
	^{90}Sr	0,83	1	20,00
	^{241}Am	0,04	0,05	1
Похилі щити-нащільники	^{137}Cs	1	2,10	33,70
	^{90}Sr	0,48	1	16,08
	^{241}Am	0,03	0,06	1
Південні щити-«ключки»	^{137}Cs	1	1,81	40,08
	^{90}Sr	0,55	1	22,18
	^{241}Am	0,03	0,05	1
Легка покрівля над накатом із труб	^{137}Cs	1	1,72	31,53
	^{90}Sr	0,58	1	18,33
	^{241}Am	0,03	0,06	1
Південні щити	^{137}Cs	1	1,47	28,14
	^{90}Sr	0,68	1	19,13
	^{241}Am	0,04	0,05	1
Північні щити-«ключки»	^{137}Cs	1	1,49	37,55
	^{90}Sr	0,67	1	25,13
	^{241}Am	0,03	0,04	1

пилососи, що будуть застосовуватись для дезактивації місць різання радіоактивно забруднених металевих конструкцій, повинні мати компактні розміри та автономне живлення від акумуляторної батареї;

пилососи, що будуть застосовуватись для дезактивації фрагментів нестабільних конструкцій перед їхнім транспортуванням на майданчик тимчасового складування, повинні мати достатню виробничу потужність для якомога більш швидкого виконання цієї операції на значних площах;

потрібно передбачити місце (контейнер для РАВ) для тимчасового зберігання використаних заповнених пилом одноразових баків пилососів.

Таким чином, застосування промислових пилососів для «сухої» дезактивації дає змогу оптимально (з найменшими дозовими навантаженнями на персонал і фінансовими витратами) видалити значну кількість середньоактивних РАВ (пилу) з поверхонь за умов мінімального об'єму твердих РАВ та відсутності рідких РАВ, що полегшує подальше поводження з ними.

Висновки

1. Після герметизації огорожувального контуру комплексу НБК-ОУ на покрівлях об'єкта «Укриття»,

що знаходяться в його внутрішньому об'ємі, відбувається інтенсивне накопичення пилу (нефіксованого радіоактивного ПЗ), яке станом на листопад 2021 р. сягало щільності покриття поверхні до 15 г/м^2 .

2. За своїм походженням нефіксоване ПЗ покрівель об'єкта «Укриття» є наслідком осадження суміші будівельного пилу, про що свідчить значний вміст у ньому кальцію — до 72 % і важких металів — до 28 % маси, а також РА внаслідок неорганізованих викидів з об'єкта «Укриття».

3. Питома активність нефіксованого ПЗ становить до 580 кБк/кг альфа-активних, а також до 19 300 кБк/кг бета- і гамма-активних нуклідів, що дозволяє віднести пил на покрівлях об'єкта «Укриття» до середньоактивних РАВ.

4. Установлено, що застосування пилососа (потужність всмоктування пилу $\geq 13 \text{ кПа}$) для виконання «сухої» дезактивації поверхонь металевих конструкцій покрівель об'єкта «Укриття» дає змогу видалити від 79 до 98 % активності нефіксованого ПЗ, що може забезпечити значне покращення радіаційного стану під час виконання робіт з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття».

Список використаної літератури

1. Богатов С. А. Оценка запасов и определение свойств пылевого загрязнения в подкровельном пространстве объекта «Укрытие» / С. А. Богатов, А. А. Боровой. — Чернобыль, 2000. — 16 с. — (Препринт / НАН Украины, МНТЦ «Укрытие»; 00–2).
2. Актуальність прогнозування забруднення повітря робочої зони під час виконання демонтажних робіт в умовах експлуатації комплексу НБК-ОУ / Л. І. Павловський, Д. В. Городецький, В. В. Деренговський, Є. А. Меньшенін // Ядерна енергетика та довілля. — 2022. — № 2 (24). — С. 54–61.
3. Radioactive aerosols within conditions of the New Safe Confinement in 2017–2020 / O. S. Lagunenka, V. Ye. Khan, O. K. Kalynovskyi [et al.] // Ядерна енергетика та довілля. — 2021. — № 2 (21). — С. 88–94.
4. Инструкция по контролю за уровнем загрязнения радионуклидами рабочих поверхностей, оборудования, помещений, средств индивидуальной защиты и кожных покровов персонала 2Э-ЦРБ. — ГСП «ЧАЭС», 2016. — 14 с.
5. Регламент радиационного контроля на этапе снятия с эксплуатации ГСП ЧАЭС и поддержания в безопасном состоянии объекта «Укрытие» 45Э-РБ. — ГСП «ЧАЭС», 2017. — 135 с.
6. Ageyev V. A. Routine radiochemical method for the determination of ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{244}Cm in environmental samples / V. A. Ageyev, O. O. Odintsov, A. D. Sajeniouk // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — 2005. — Vol. 264, No. 2. — P. 337–342.
7. SIP-N-KP-22-E06__TEN-050_01/ 99-925.100.011.OT05 Новый безопасный конфайнмент (НБК). Пусковой комплекс-1 (ПК-1). Лицензионный пакет-6 (ЛП-6). Проект. Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфраструктурой. — Т. 5. Обращение с РАО и решения по дезактивации оборудования и конструкций. — Киев, КИЭП, 2012. — 150 с.

**L. I. Pavlovskyi¹, D. V. Gorodetskyi¹,
Ye. A. Menshenin¹, O. O. Odintsov¹, L. A. Palamar¹,
O. P. Solonenko²**

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

²*State Specialized Enterprise “Chornobyl Nuclear Power
Plant”, P.O. B. 11, Slavutych, 07100, Ukraine*

The Effect of Sealing of the NSC Enclosing Perimeter on the Surface Contamination of the External Surfaces of the Shelter Object Roof and Assessment of the Possibility of Their Deactivation

After the sealing of the enclosing perimeter of the New Safe Confinement — Shelter object (NSC-SO) complex (at the end of 2017), unorganized emissions of radioactive aerosols from the Shelter object were dispersed in the environment. Currently, in the closed volume under the NSC arch, a significant amount of dust is settling and accumulating, which is characterized by a high content of radionuclides. In particular, these processes are manifested on the roofs of the Shelter object, where the mass of dust has already reached 15 g/m². At the same time, since the sealing of the containment circuit of the NSC-SO complex, the density of total surface contamination by the sum of alpha- and beta-active nuclides has increased by 9.3 times, and the non-fixed form of surface contamination has increased by 5.7 times.

According to our data, the formation of dust is the result of the deposition of a construction dust mixture, as evidenced by its significant content of calcium — up to 72 % and heavy metals — up to 28 % by mass, as well as radioactive aerosols of unorganized emissions from the SO. Currently, the activity of dust on the surface of the roof structures of the Shelter object is up to 580 kBq/kg of α -active, as well as up to 19,300 kBq/kg of beta- and gamma-active nuclides, which allows it to be classified as medium-active radioactive waste.

It was established that the use of a vacuum cleaner (dust suction power ≥ 13 kPa) for the dry decontamination of the surfaces of the metal structures of the SO roofs allows removing from 79 to 98 % of the activity of non-fixed surface pollution, which can provide a significant improvement in the radiation situation during the dismantling work of unstable constructions of the SO. At the same time, it is advisable to use autonomous models of vacuum cleaners for decontamination of places where metal structures are cut. For decontamination of large surface areas of structural fragments that will be transported to the storage site, models of vacuum cleaners with high production capacity are needed to perform this operation as quickly as possible, which will ensure a reduction in the dose of exposure to the working personnel.

Keywords: ChNPP, NSC-SO, unfixed radioactive surface contamination, dry decontamination.

References

1. Bogatov S. A., Borovoi A. A. (2000). *Otsenka zapasov i opredeleniye svoystv pylevogo zagryazneniya v podkrovel'nom prostranstve ob'yekta "Ukrytiye"* [Assessment of reserves and determination of properties of dust pollution in the under-roof space of the Shelter object]. Chornobyl, Preprint of the NAS of Ukraine, ISTC "Shelter" 00-2, 16 p. (in Rus.)
2. Pavlovskiy L. I., Gorodetskiy D. V., Derengovskiy V. V., Menshenin Ye. A. (2022). Relevance of forecasting air pollution of the working area during performance of works on fragmentation of structural elements of the NSC-SO. *Nuclear Power and Environment*, vol. 24, no. 2, pp. 54–61. (in Ukr.)
3. Lagunenکو O. S., Khan V. Ye., Kalynovskiy O. K., Lagunenکو O. S., Khan V. Ye., Bezmylov V. M., Kashpur V. O., Kovalchuk V. P., Sabenin P. V., Svirid O. A., Tkach A. V. (2021). Radioactive aerosols within conditions of the New Safe Confinement in 2017–2020. *Nuclear Power and Environment*, vol. 21, no. 2, pp. 88–94. doi.org/10.31717/2311-8253.21.2.9. (in Ukr.)
4. Instructions for monitoring the level of radionuclide contamination of working surfaces, equipment, premises, personal protective equipment and skin coverings of personnel 2E-TsRB. SSE "ChNPP", 2016, 14 p. (in Rus.)
5. Regulation of radiation control at the stage of decommissioning of the SSE "ChNPP" and maintenance of the Shelter object in a safe condition 45E-RB. SSE "ChNPP", 2017, 135 p. SSE "ChNPP". (in Rus.)
6. Ageyev V. A., Odintsov O. O., Sajeniouk A. D. (2005). Routine radiochemical method for the determination of ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{244}Cm in environmental samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 264, no. 2, pp. 337–342.
7. SIP-N-KP-22-E06__TEN-050_01/ 99–925.100.011.OT05 New Safe Confinement (NSC). Launch complex-1 (PK-1). License package-6 (LP-6). Draft. Protective equipment with technological life support systems and necessary infrastructure. Volume 5. Contact with RAW and solutions for deactivation of equipment and structures. Kyiv: KIEP, 2012, 150 p. (in Rus.)

Надійшла 17.11.2022

Received 17.11.2022