

О. В. Балан, Л. І. Павловський, В. М. Рудько, С. С. Підберезний

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

Пропозиції щодо підготовки та захоронення радіоактивно забруднених бетонних конструкцій об'єкта «Укриття» у приповерхневих сховищах

Ключові слова:

Чорнобильська АЕС,
новий безпечний конфайнмент,
об'єкт «Укриття»,
радіоактивно забруднені бетонні
конструкції,
приповерхнєве забруднення,
питома активність,
захоронення

Наведено пропозиції щодо поводження з радіоактивно забрудненими бетонними конструкціями (РЗБК), що будуть утворюватися у процесі вилучення паливовмісних матеріалів з об'єкта «Укриття». РЗБК будуть характеризуватися різною інтенсивністю радіоактивного забруднення, яке знаходиться лише у приповерхневому прошарку бетону. Розроблено підхід до знаходження питомої активності всієї бетонної конструкції. Наведено технічні пропозиції щодо поводження та захоронення РЗБК у приповерхневому сховищі з багатобар'єрним захистом, який забезпечує надійну ізоляцію РЗБК від довкілля. Відзначається необхідність використання безпечних технологій, основаних на застосуванні технічних засобів і пристосувань, що дає змогу виключити повністю або звести до мінімуму залучення персоналу.

Вступ

У процесі вилучення паливовмісних матеріалів також буде утворюватися велика кількість супутніх радіоактивних відходів (РАВ). У таблиці 4.1 [1] наведено кількість та основні характеристики РАВ, що знаходяться в об'єкті «Укриття». Ці РАВ мають широкий спектр як за активністю, так і за агрегатним складом. Згідно з [1] кількість радіоактивно забруднених будівельних конструкцій та матеріалів в об'єкті «Укриття» перевищує 240 000 м³. З усього обсягу відходів лєвова частка належить бетонним конструкціям та їхнім уламкам (фрагментам) (рис. 1). Не всі зазначені бетонні відходи можуть видалятися у процесі вилучення ПВМ, проте їхня кількість буде величезною.

Поводження з відходами у вигляді РЗБК є досить складним завданням. Основною проблемою вилучення та поводження з РЗБК є наявність їхнього значного обсягу. За умов контейнерного зберігання таких РАВ будуть потрібні суттєві витрати як на пе-



Рис. 1. Завали будівельних конструкцій у зруйнованому 4-му блоці Чорнобильської АЕС

реведення РЗБК у сипку форму, так і на проведення дозиметричних та радіометричних вимірювань із завантаженням відходів у контейнер.

© О. В. Балан, Л. І. Павловський, В. М. Рудько, С. С. Підберезний, 2024

Зменшення загальних витрат цього процесу можна досягти захороненням великогабаритних РЗБК у приповерхневі сховища методом «навалу», без додаткової фрагментації з наступною іммобілізацією рідким бетонним розчином.

У зоні відчуження на території комплексу виробництв (КВ) «Вектор» функціонують будівлі приповерхневого сховища (рис. 2).



Рис. 2. Приклад будівлі приповерхневого сховища

Далі розглянуто можливість такого захоронення та окреслено можливий план дій щодо поводження з РЗБК включно з пропозиціями щодо технології поводження з цими відходами.

Порівняльний аналіз варіантів переведення твердих радіоактивних відходів (ТРВ) у сипку форму з подальшою контейнеризацією відходів і варіанта без дроблення бетонної конструкції показує, що витрати на переведення РЗБК у сипку форму значно вищі від витрат варіанта без дроблення. Впровадження діяльності з переведенням РЗБК у сипкий стан вимагатиме додаткових витрат, а саме:

- на закупівлю та експлуатацію обладнання для подрібнення;

- на закупівлю та експлуатацію спеціального радіометричного обладнання;

- на закупівлю та експлуатацію обладнання для збору та переробки радіоактивного пилу, що обов'язково буде утворюватися під час проведення цієї діяльності;

- на підготовку контейнерного парку;

- на радіаційний моніторинг виконання всього технологічного циклу;

- на додаткові дозовитрати персоналу;

- на додаткові заходи з радіаційної безпеки.

Відповідно до вимог документа [2] для захоронення РАВ у приповерхневе сховище обов'язковим параметром характеристики є величина питомої активності відходів. Ці дані є основою для оформлення

паспорта на групу відходів, що підлягають захороненню. Відомо, що в ДСП «Чорнобильська АЕС» для характеристики групи ТРВ за критерієм питомої та сумарної активності твердих і сипких РАВ, що знаходяться в кузові спеціального автотранспорту, застосовують спектрометричний комплекс Inspector-2000. Враховуючи цей метод, для деяких ТРВ у вигляді великогабаритних бетонних конструкцій і монолітних РАВ існують рекомендації щодо переведення їх у сипку форму за допомогою дроблення. Такий процес дає змогу провести характеристику цих відходів за допомогою спектрометричного комплексу Inspector-2000. Проте, як було зазначено вище, в умовах утворення великої кількості великогабаритних РЗБК застосувати такий метод надзвичайно важко.

Враховуючи вже існуючий досвід поводження з великогабаритними бетонними конструкціями, можна проаналізувати можливість захоронення РЗБК у приповерхневому сховищі в такій послідовності:

- вивчення дослідницьких робіт щодо глибини проникнення радіоактивних речовин чорнобильського походження в товщу бетону;

- розроблення методологічного підходу після оцінки питомої активності РЗБК за результатами прямих вимірювань і лабораторного дослідження;

- розроблення технічних рішень щодо поводження та захоронення РЗБК.

Аналіз висновків дослідницьких робіт щодо глибини дифузії радіоактивних речовин чорнобильського походження в товщі бетону

Аналіз даних щодо дифузії радіоактивних речовин чорнобильського походження в товщі бетону показує, що матеріали дослідження за цією тематикою в загальному доступі відсутні. Винятком є науково-дослідницька робота з дослідження радіоактивно забруднених будівельних конструкцій з бетону, яка була проведена Інститутом проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України) у 2016 р. Результати цих досліджень наведено в роботі [3]. Основною метою цієї роботи було внесення змін до наявної методики проведення вимірювань у частині визначення сумарної та питомої активності гамма-випромінюючих нуклідів в об'ємних металевих та будівельних відходах з поверхневим забрудненням під час підготовки до транспортування та захоронення.

Результатом цієї роботи було вивчення характеристик 29 кернів бетону різної щільності й визна-

чення глибини проникнення радіоактивних речовин у товщу бетонних конструкцій. Крім того, було наведено методику визначення поверхневої активності ^{137}Cs методом гамма-випробування бетонних, керамзитобетонних і залізобетонних будівельних конструкцій під час вимірювання потужності дози (ПД) або радіоактивного поверхневого забруднення (РПЗ).

За даними [3] вибрано максимальні вхідні значення поверхневої активності конструкцій кернів бетону. Ці значення систематизовано, проаналізовано і зведено в табл. 1 і 2. У таблицях наведено розподіл активності ^{137}Cs і трансуранових елементів (ТУЕ) по глибині бетону з визначенням відсотків поширеного розподілення.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що основна кількість активності ^{137}Cs (>90 %) розподілена в товщі бетону від 0 до 9 мм. Розподіл проникнення активності у бетоні по глибині (див. табл. 1) від загальної активності керна становить:

- 0–3 мм — $72 \div 85$ %;
- 3–6 мм — $13 \div 23$ %;
- 6–9 мм — $0,36 \div 1,1$ %.

Аналіз даних, наведених у табл. 2, показує, що практично вся активність ТУЕ (>99 %) розподілена в товщі бетону від 0 до 6 мм.

Отримані результати показують, що для перерахунку поверхневої щільності забруднення бетонних конструкцій гамма- і бета-випромінюючими нуклідами в об'ємну (питому) активність консервативно можна приймати товщину радіоактивного забруднення 10 мм. Для перерахунку поверхневої щільності забруднення бетонних конструкцій альфа-випромінюючими нуклідами в питому активність товщину радіоактивно забрудненої поверхні рекомендується приймати 4 мм. У цій товщі знаходиться понад 99 % всієї активності.

Методологічний підхід щодо оцінки питомої активності РЗБК за результатами прямих вимірювань і лабораторного дослідження

Як зазначалося вище, основною проблемою паспортизації РЗБК є знаходження питомої активності (кБк/кг) бетонної конструкції в цілому. З одного боку, для вирішення цієї проблеми необхідно мати в наявності складне та кошторисне радіометричне обладнання, а з іншого — необхідність дроблення конструкції й переведення її в сипку форму для радіометричних вимірювань. Такі вимірювання, насамперед, обов'язкові для визначення кількості ядерних матеріалів у ТРВ.

Таблиця 1. Розподіл активності ^{137}Cs по глибині бетону

Місце відбору керна	Глибина проникнення, мм	Питома активність ^{137}Cs , Бк/г	Сумарна питома активність, Бк/г	% від загальної активності
Плити перекриття машинного залу в осях А-Б, 65–68 (кern 1)	0–3	$2,9 \cdot 10^3$	$3,9 \cdot 10^3$	75
	3–6	$9,0 \cdot 10^2$		23
	6–9	60		2
	9–12	<МДА*		
Плити перекриття машинного залу в осях А-Б, 65–68 (кern 2)	0–3	$9,0 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^3$	85
	3–6	$1,4 \cdot 10^2$		13
	6–9	16		1,5
	9–12	3,8		0,4
Приміщення 604/7	0–3	$2,3 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	83
	3–6	$3,5 \cdot 10^3$		13
	6–9	$1,1 \cdot 10^3$		3,2
	9–12	$2,3 \cdot 10^2$		0,8
Приміщення 406/2	0–3	$1,8 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	72
	3–6	$4,7 \cdot 10^2$		19
	6–9	$2,1 \cdot 10^2$		8
	9–12	26		1

* Мінімальна активність, що детектується

Таблиця 2. Розподіл активності ТУЕ по глибині бетону

Місце відбору керна	Питома активність ТУЕ, кБк/кг				% від загальної активності
	Глибина проникнення, мм	^{241}Am	$^{238+239+240}\text{Pu}$	Сумарна питома α -активність, кБк/кг	
Бетонні конструкції у приміщенні 604/7 (кern 1)	0–2	21	16	38	97
	2–4	0,8	0,17		2,5
	4–6	$8 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$		0,31
	6–8	$<1 \cdot 10^{-2}$	$<10^{-2}$		<0,05
Бетонні конструкції у приміщенні 604/7 (кern 2)	0–3	$4,2 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^2$	$7,6 \cdot 10^2$	96
	3–6	12	12		3,1
	6–9	0,3	$1 \cdot 10^{-2}$		0,041
	9–12	$<1 \cdot 10^{-2}$	$<1 \cdot 10^{-2}$		<0,003
Бетонні конструкції у приміщенні 406/2	0–4	3,2	2,9	7,3	83
	4–7	1,1	$3 \cdot 10^{-2}$		15
	7–10	$5 \cdot 10^{-2}$	$<1 \cdot 10^{-2}$		<0,8
	10–13	$<1 \cdot 10^{-2}$	$<1 \cdot 10^{-2}$		<0,3

Прогнозується, що всі РЗБК, які будуть видалятися з об'єкта «Укриття», є відходами будівельних конструкцій з радіоактивним поверхневим забрудненням і деяким проникненням радіоактивності у приповерхневий шар бетону. Для переведення радіаційного поверхневого забруднення конструкції в питому активність необхідно об'єм радіоактивно забрудненої частини розподілити на весь об'єм конструкції.

Для будь-якої бетонної конструкції, видаленої з завалів об'єкта «Укриття» та переміщеної на майданчик тимчасового складування нового безпечного конфайнмента (НБК), пропонується такий порядок радіометричного обстеження:

прямі вимірювання ПД на відстані 10 см від поверхні за допомогою гамма-сканера;

систематизація, обробка та аналіз результатів гамма-сканування;

визначення місць та кількість відбору зразків із радіоактивно забрудненої поверхні ($S \sim 100 \text{ см}^2$) конструкції. Як правило, місця відбору зразків мають збігатися з місцями з максимальними величинами ПД;

лабораторне радіометричне дослідження взятих зразків на бета- та альфа-активність;

занесення отриманих результатів радіометричного обстеження конструкції в базу даних за окремими зонами розбирання завалів з метою знаходження перерахункових коефіцієнтів для визначення питомої активності (наведено далі);

визначення питомої активності РЗБК та прийняття оперативного рішення щодо класифікації ТРВ;

складання паспорта на РЗБК та надання дозволу на її проміжне зберігання або захоронення.

У роботі [3] наведено методику переведення та експериментально визначено перерахункові коефіцієнти. Отримані величини експериментальних коефіцієнтів $K_{\text{пл-2}}$, які можна застосовувати для переходу бета-част./($\text{хв} \cdot \text{см}^2$) у кБк/ м^2 та мкЗв/год у кБк/ м^2 , за результатами досліджень РЗБК на майданчику тимчасового зберігання технологічних матеріалів зведено в табл. 3.

Виходячи з вищезазначеного, для отримання питомої активності бетонної конструкції необхідно провести прямі радіометричні вимірювання на майданчику складування НБК, тобто визначити величини ПД і РПЗ. Крім того, необхідно здійснити забір зразків поверхневого забруднення (як правило, у місцях найбільших величин ПД) для лабораторних та спектрометричних досліджень. За відомими значеннями величин ПД, РПЗ та щільності поверхневого забруднення за допомогою перерахункових коефіцієнтів визначається питома активність усієї конструкції. Слід зазначити, що величини перерахункових коефіцієнтів можуть бути різними, залежно від зони розбирання завалів, тому обов'язковим завданням є оновлення результатів інформаційної бази даних дозиметричних та радіометричних вимірювань окремо за кожної зони розбирання завалів. Відповідно до отриманих даних за кожною зоною величини перерахункових коефіцієнтів будуть коригуватися. У результаті проведених розрахунків і знаходження величини питомої активності буде проводитись характеристика фрагмента

Таблиця 3. Визначення перерахункових коефіцієнтів за результатами дозиметричних вимірювань бетонних конструкцій

Бета _{РПЗ} , бета-част./((хв · см ²))	¹³⁷ Cs, кБк/м ² (по РПЗ)	K _{п1} *	ПД від поверхні, мкЗв/год	¹³⁷ Cs, кБк/м ² (по ПД)	K _{п2} **
1,5 · 10 ³	5,0 · 10 ²	3,00	10	1,9 · 10 ³	1,90 · 10 ²
6,9 · 10 ²	2,3 · 10 ²	3,00	6,3	1,2 · 10 ³	1,90 · 10 ²
1,9 · 10 ³	6,3 · 10 ²	3,02	4,3	8,2 · 10 ²	1,91 · 10 ²
2,4 · 10 ³	8,1 · 10 ²	2,96	5,0	9,6 · 10 ²	1,92 · 10 ²
1,2 · 10 ³	3,8 · 10 ²	3,16	3,3	6,4 · 10 ²	1,94 · 10 ²
5,1 · 10 ²	1,7 · 10 ²	3,00	5,1	9,8 · 10 ²	1,92 · 10 ²
6,1 · 10 ²	2,0 · 10 ²	3,05	3,6	6,9 · 10 ²	1,92 · 10 ²
7,5 · 10 ²	2,5 · 10 ²	3,00	1,4	2,7 · 10 ²	1,93 · 10 ²
4,8 · 10 ²	1,6 · 10 ²	3,00	2,3	4,5 · 10 ²	1,96 · 10 ²
1,6 · 10 ³	5,5 · 10 ²	2,91	5,2	1,0 · 10 ³	1,92 · 10 ²
5,5 · 10 ³	1,8 · 10 ²	3,06	0,38	73	1,92 · 10 ²
6,0 · 10 ²	2,0 · 10 ²	3,00	0,43	83	1,93 · 10 ²
4,6 · 10 ²	1,5 · 10 ²	3,07	0,77	1,5 · 10 ²	1,95 · 10 ²
8,1 · 10 ³	2,7 · 10 ²	3,00	0,4	75	1,88 · 10 ²
4,8 · 10 ³	1,6 · 10 ²	3,00	0,4	77	1,93 · 10 ²
Середнє значення K _{п1-2}		3,01			192

* Експериментальний коефіцієнт переходу РПЗ із бета-част./((хв · см²)) у Бк/м²** Експериментальний коефіцієнт переходу з величини ПД (мкЗв/год) на РПЗ (Бк/м²)

РЗБК з оформленням паспорта на його захоронення або проміжне зберігання.

Для захоронення або проміжного зберігання РЗБК відповідно до наявної законодавчої бази існують критерії приймання РАВ на захоронення.

1. На ПЗРВ «Буряківка» діють критерії приймання РАВ на захоронення, що дозволяють захоронення РАВ з питомою активністю гамма- і бета-випромінюючих радіонуклідів до 5000 кБк/кг та альфа-випромінюючих радіонуклідів до 6,0 кБк/кг. Крім цього, у [4] розглянуто можливості застосування додаткових критеріїв прийнятності РАВ для ПЗРВ «Буряківка», що дозволять на існуючому рівні обмежити радіологічні ризики, пов'язані із захороненням РАВ як джерелами потенційного опромінення третьої групи:

питома активність трансуранових альфа-випромінюючих радіонуклідів менше 56 Кбк/кг;

сумарна активність трансуранових альфа-випромінюючих радіонуклідів в одній траншеї менше 1,5 ТБк;

сумарна активність бета-, гамма-випромінюючих нуклідів в одній траншеї менше 120 ТБк.

Наведені критерії повної активності є усередненою величиною. Система контролю й обліку РАВ повинна забезпечувати виконання цих критеріїв на момент закінчення заповнення сховища. У випадку, якщо сховище не заповнено, а активність РАВ досягла встановленої межі, подальше заповнення необхідно проводити «чистим» ґрунтом.

2. Згідно з [5] для довгоіснуючих альфа-випромінюючих нуклідів застосовується додаткове обмеження, а саме: питома активність в окремій упаковці не має перевищувати 4000 кБк/кг за умови, що в середньому в усіх упаковках у сховищі питома активність РАВ не перевищує 400 кБк/кг. При цьому береться до уваги необхідність дотримання критеріїв щодо критичності та тепловиділення.

Технічні рішення щодо поводження та захоронення РЗБК

Відповідно до проектних рішень наявність персоналу в зонах поводження з РЗБК, особливо ручна праця, повністю виключаються, тобто під час вико-

нання всіх технологічних процесів застосовується метод безлюдних технологій. Роботи з РЗБК мають здійснюватися на майданчиках НБК (рис. 3) із застосуванням наявної інфраструктури НБК і за допомогою дистанційно керованого робота-маніпулятора (ДКРМ), приєднаного до мобільної інструментальної платформи системи основних кранів НБК та окремих мобільних дистанційно керованих механізмів (ДКМ) на власному ходу залежно від їхньої потреби.

Різання бетонних і залізобетонних конструкцій в об'єкті «Укриття» за можливості мають виконуватись великогабаритними фрагментами з розмірами, що дає змогу завантажувати їх в оборотні контейнери й переміщувати за допомогою кранів НБК. Основним пріоритетом мають залишатися масові й габаритні характеристики, що дозволяють транспортування вилучених фрагментів у спеціальному автотранспорті без додаткових дій з ними на майданчику тимчасового складування НБК. Такий підхід може надати можливість захоронення РЗБК великогабаритними фрагментами без необхідності їхнього дроблення до

стану сипких матеріалів для захоронення або довгострокового зберігання в контейнерах.

Таким чином, РЗБК із зони утворення переміщуються на майданчик тимчасового складування для подальшого поводження, пріоритетна кінцева мета якого — відповідне документальне оформлення партії цих радіоактивних матеріалів і вивезення їх на захоронення або проміжне зберігання за межі НБК.

Для цієї роботи на частині площі майданчика тимчасового складування НБК має бути організовано пункт прийому фрагментів РЗБК, який оснащується:

достатньою кількістю відеокамер для транслявання зображення на монітори щита керування процесом та обробки даних;

стендом з пристроєм 3D сканування фрагментів залізобетону для можливості визначення характеристик зразка включно з визначенням загальної площі поверхні фрагмента, його маси та інших необхідних показників;

приладами радіаційного контролю для визначення характеристик гамма-випромінювання.

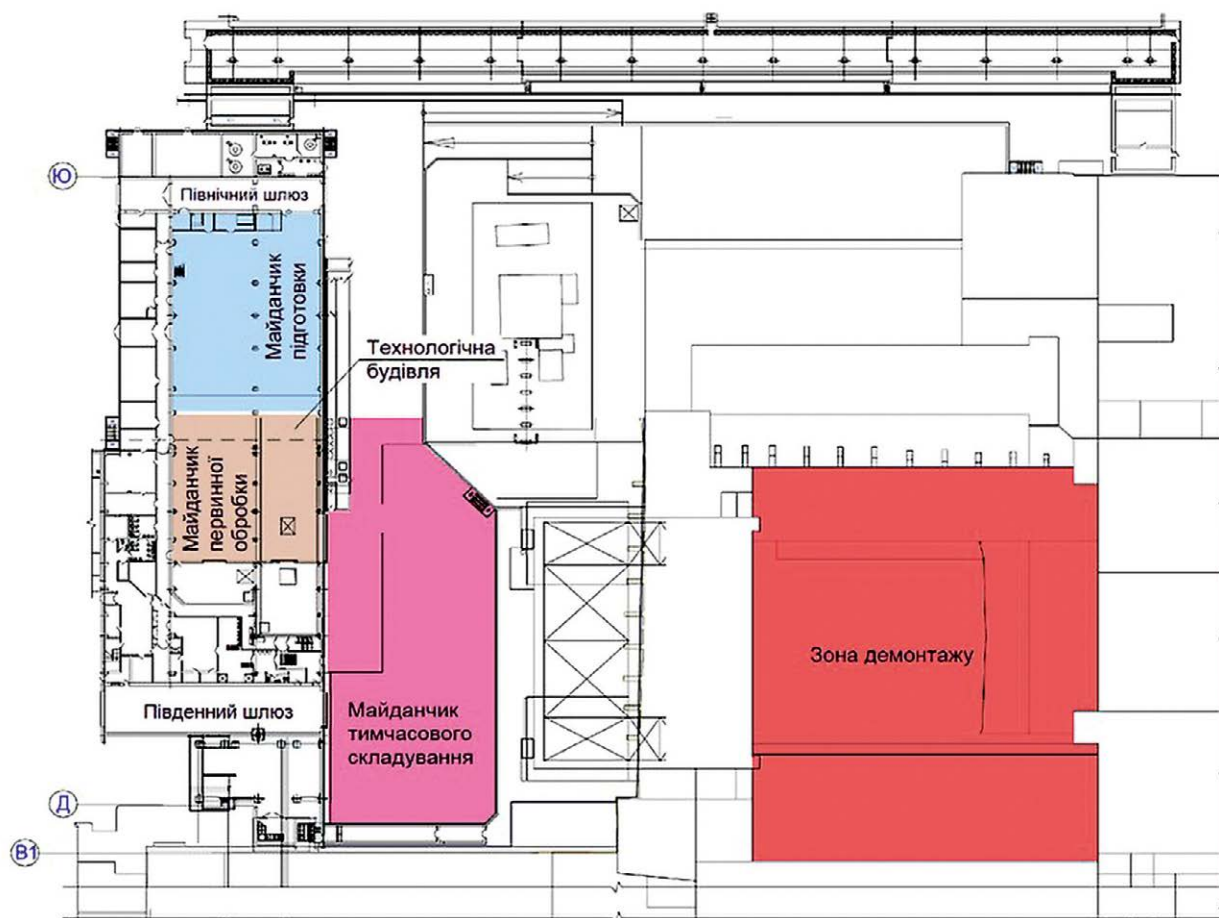


Рис. 3. Розташування майданчиків НБК з поводження з РЗБК

Крім того, пункт прийому фрагментів РЗБК має комплектуватися ДКМ на власному ході, який за допомогою навісного обладнання міг би виконувати різні допоміжні операції включно з вирізанням місць з аномальними значеннями радіоактивного забруднення (якщо такі будуть виявлені) та переміщенням їх у спеціальний контейнер. ДКМ на власному ході (рис. 4) має бути забезпечений навісним обладнанням для проведення відбору зразків забруднення з поверхні фрагмента. Зразки необхідні для характеристики конструкції РЗБК за бета- і альфа-забрудненням у лабораторії технологічної будівлі.



Рис. 4. Загальний вигляд ДКМ

ДКМ на власному ході має змогу здійснювати таке:

- переміщуватися майданчиком для виконання операції зі взяття зразка забруднення на носій;

- завантаження зразків у контейнер та встановлення контейнера на дистанційно керований візок, що транспортує його в технологічну будівлю НБК для передання на дослідження в лабораторію.

За пунктом прийому фрагментів РЗБК мають бути закріплені установки розпилення пилопригнічуючих розчинів, що доставляються для роботи безпосередньо перед завантаженням фрагмента в кузов спецавтотранспорту. Для навантажувально-розвантажувальних робіт, за необхідності, застосовується мобільний вантажопідіймний кран, який виконує перевантаження фрагментів РЗБК з контейнера на стенд для досліджень або завантаження фрагментів у кузов спецавтотранспорту. Перевезення РАВ у зоні відчуження має здійснюватися автомобілями підприємства, яке має дозвільні документи на діяльність із поводження з РАВ та відповідний парк спецавтотранспорту.

У процесі поводження із фрагментами РЗБК на майданчику тимчасового складування і за його межами виконуються такі дії і технологічні операції:

- визначення маси та площі поверхні фрагмента конструкції для проведення відповідних розрахунків;

- прямі вимірювання ПД гамма-сканером для систематизації фрагментів за показниками гамма-сканування;

- відбір зразків (мазків) із радіоактивно забрудненої поверхні фрагмента конструкції для лабораторних досліджень. Як правило, місця відбору зразків мають збігатися з місцями з максимальною величиною ПД;

- лабораторне радіометричне дослідження взятих зразків на бета- та альфа-активність;

- занесення отриманих результатів радіометричного обстеження конструкції в базу даних за окремими зонами розбирання завалів з метою визначення перерахункових коефіцієнтів переходу в питому активність для фрагмента, що досліджується, та прийняття рішення щодо класифікації ТРВ;

- визначення питомої активності для конкретного фрагмента РЗБК;

- складання паспорта на фрагмент РЗБК для можливості переміщення її на зберігання або захоронення за межами НБК.

Партія РЗБК після отримання паспорта завантажується в спецавтотранспорт на майданчику тимчасового складування НБК. Транспортування РАВ за межі НБК здійснюється через південний шлюз технологічної будівлі. У такому порядку будуть вивозитися всі РЗБК об'єкта «Укриття», що можуть розглядатися як окремі велико- і середньогабаритні фрагменти.

Найбільш оптимальним місцем захоронення великогабаритних фрагментів РЗБК об'єкта «Укриття» можуть бути приповерхневі сховища модульного типу, що вже існують або будуть побудовані в зоні відчуження Чорнобильської АЕС.

Таким чином, той чи інший фрагмент РЗБК, що був вилучений із приміщень об'єкта «Укриття» та підпадає під захоронення в приповерхневому сховищі (за питомою активністю) і переміщений у сховище модульного типу, повинен мати багатобар'єрний захист, який забезпечується:

- фіксацією радіоактивного забруднення у верхньому шарі залізобетонного фрагмента;

- конструкцією споруди, де дно й бокові поверхні виконані із залізобетону, що є додатковим бар'єром на шляху розповсюдження радіоактивності за межі сховища;

імобілізацією ТРВ, де фрагменти РЗБК пошарово складаються у сховище (у межах кожного з відсіків) та запаковуються заливанням рідким бетоном; гідроізоляцією споруди, в якій запаковані у відсіках бетонного сховища фрагменти РЗБК закриваються шляхом улаштування залізобетонного накриття та здійснення всіх необхідних захисних заходів.

Перевезення РАВ від промайданчика Чорнобильської АЕС до місця розташування приповерхневого сховища має відбуватись спецавтотранспортом за затвердженим маршрутом, що передбачає рух по автодорогах 10-кілометрової зони відчуження.

Для розвантаження фрагментів РЗБК у секції сховища на його промайданчику має знаходитись мобільний вантажопідйомний кран, що дозволяє виконувати необхідні операції. Кран має бути оснащений спеціальним захватом — це спрощує стропування фрагмента без залучення персоналу та є стаціонарним захистом для оператора, що забезпечує його безпечну роботу в наявних умовах радіоактивної складової. Процес розвантаження фрагментів РЗБК у сховище має контролюватись за рахунок системи відеоспостереження. Зображення відеокамер має транслюватись на монітори оператора крана і керівника робіт для взаємодії та коригування дій.

Заливання бетоном шару РАВ і секції відбувається в міру його заповнення. Після того, як заповнення секції сховища фрагментами РАВ буде закінчено, а верхній шар буде забетоновано, починається робота з улаштування стаціонарного покриття. Слід зазначити, що верхній шар у секції заливається бетонним розчином не тільки у проміжках між фрагментами і стінками, а й поверх шару РАВ для їхньої повної ізоляції. Покриття над секцією сховища виконується з монолітного армованого бетону відповідно до затвердженого проекту. Оскільки всі секції сховища є стандартними, тобто мають однакові габаритні показники, то всі покриття виконуються в одній опалубці, що використовується багаторазово. Заливання бетонної суміші в опалубку здійснюється за допомогою автобетононасоса з телескопічною стрілою-маніпулятором. Контроль укладання бетонної суміші проводиться за допомогою системи відеоспостереження, що транслює процес на монітор керівника робіт із бетонування. Після закінчення бетонування за конструктивом покриття виконується догляд з метою дотримання термовологісного режиму твердіння бетону. У заключній частині робіт виконуються влаштування гідроізоляційної покрівлі із синтетичних матеріалів з показниками довготривалої гарантії.

Заповнення інших секцій модульного приповерхневого сховища фрагментами РЗБК, а також усі процедури з бетонних робіт здійснюються аналогічно.

Висновки

Поводження з відходами у вигляді РЗБК є досить складним завданням. Основною проблемою вилучення та поведження з ними є наявність значного обсягу відходів. Контейнерне зберігання таких РАВ зумовлює додаткові витрати на фрагментацію РЗБК для переведення їх у сипку форму та проведення дозиметричних і радіометричних вимірювань. Значного зменшення загальних витрат щодо поведження з РЗБК можна досягти захованням габаритних конструкцій у модулях приповерхневого сховища методом «навалу», без додаткової фрагментації з подальшою імобілізацією рідким бетоном.

Прогнозується, що всі РЗБК, які будуть видалятися з об'єкта «Укриття», є відходами будівельних конструкцій із радіоактивним поверхневим забрудненням та деяким проникненням радіоактивності в товщу бетону. Для переведення РЗБК конструкції в питому активність необхідно об'єм радіоактивно забрудненої частини розподілити на весь об'єм конструкції. Тому основною проблемою під час заховання РЗБК є їхня коректна паспортизація. Необхідною умовою для проведення паспортизації є наявність величини питомої активності бетонної конструкції в цілому.

Проведений аналіз дослідницьких робіт щодо глибини дифузії радіоактивних речовин чорнобильського походження в товщі бетону показав:

основна кількість активності ^{137}Cs (>90 %) розподілена в товщі бетону від 0 до 9 мм;

практично вся активність ТУЕ (>99 %) розподілена в товщі бетону від 0 до 6 мм.

Знаходження питомої активності всієї конструкції рекомендується вирішувати таким чином:

визначення маси та площі поверхні фрагмента конструкції для проведення відповідних розрахунків здійснювати шляхом використання методу 3D сканування на стенді;

прямі вимірювання ПД здійснювати за допомогою гамма-сканера для систематизації фрагментів за показниками сканування;

відбір зразків (мазків) із радіоактивно забрудненої поверхні фрагмента конструкції для лабораторних досліджень виконувати за допомогою ДКРМ на власному ходу з відповідним оснащенням;

радіометричне дослідження взятих зразків на бета- та альфа-активність із занесенням отриманих результатів у базу даних за окремими зонами розбирання завалів;

питому активність для конкретного фрагмента РЗБК визначати за рахунок перехідних коефіцієнтів, знайдених на підставі результатів проведених досліджень.

Поводження з РЗБК на майданчику тимчасового складування НБК має здійснюватися на підготовленій ділянці пункту прийому, який оснащено відповідним вимірювальним обладнанням, дистанційно керованою робототехнікою, системою відеоспостереження та автоматизованого керування процесом із загального щита технологічної будівлі НБК. Технологічні операції з РЗБК мають здійснюватися за допомогою змінних інструментів ДКРМ, приєднаного до мобільної інструментальної платформи системи основних кранів НБК та окремих ДКМ на власному ходу.

Запропонована методологія дає змогу значно спростити процедуру поводження з РЗБК в НБК, а також скоротити вартість і термін здійснення цієї діяльності. Крім того, наведено технічні пропозиції щодо поводження та захоронення РЗБК у приповерхневому сховищі з багатобар'єрним захистом, який забезпечує надійну ізоляцію РАВ від довкілля.

Таким чином, мають бути забезпечені вимоги нормативних та експлуатаційно-технічних документів щодо безпечного поводження і захоронення РЗБК.

Список використаної літератури

1. Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие» (ОСБ ОУ-2008) / SIP-P-PM-22-460-SAR-124-05.
2. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: Державні санітарні правила 6.177-2005-09-02 (ОСПУ-2005). — Затверджено Наказом МОЗ України № 54 від 02.02.2005.
3. Визначення активності твердих радіоактивних відходів з використанням спектрометричної системи типу GENIE2000 в частині визначення сумарної та питомої активності гамма-випромінюючих радіонуклідів в об'ємних металевих та будівельних відходах з поверхневим забрудненням при підготовці до захоронення та транспортування: Звіт про НДР / ІПБ АЕС НАН України. Договір № 357/15 від 17.02.2015. — Чорнобиль, 2016.
4. Звіт по аналізу безпеки реконструкції пункту захоронення радіоактивних відходів «Буряківка» / МНТЦ

«Укриття» НАН України. Договір № 35/05 від 17 травня 2005 р. — Чорнобиль, 2005.

5. Про затвердження Рекомендацій щодо встановлення критеріїв приймання кондиційованих радіоактивних відходів на захоронення у приповерхневих сховищах. — Затверджено Наказом № 160 від 25.10.2004. — Державний комітет ядерного регулювання України, 2004.

O. V. Balan, L. I. Pavlovskyi, V. M. Rudko

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

Proposals Regarding the Preparation and Storage of Radioactively Contaminated Concrete Structures of the Shelter Object in Near-Surface Storage

The paper contains proposals for radioactively contaminated concrete structures (RCCS) management, which will be formed, removing fuel-containing materials (FCM) from the Shelter object. RCCS will be characterized by different intensity of radioactive contamination, which is only in the near-surface layer of concrete. In the case of containerized storage of such RW, significant costs will be required, first, for the fragmentation of RCCS in order to convert them into a loose form and for conducting dosimetric and radiometric measurements. A significant reduction in the total costs of handling RCCS can be achieved by burying the overall structures in the modules of the superficial storage by the bulk method, without additional fragmentation, followed by immobilization with a cement-sand or clay solution.

The given approach for determining the specific activity of the entire concrete structure is based on conducting direct dosimetric and radiometric measurements and finding conversion coefficients, namely from the dose rate (DR, $\mu\text{Sv/h}$) into radioactive surface pollution (RSP, Bq/m^2). In order to convert the structure's RSP into specific activity, it is necessary to distribute the volume of the radioactively contaminated part over the entire structure's volume.

The following are technical proposals for management and burying RCCS in a near-surface disposal facility with multi-barrier protection, which ensures reliable isolation of RCCS from the environment. It is noted the need to use safe technologies, which are based on the involvement of technical means and devices that make it

possible to completely eliminate or minimize the involvement of personnel. Thus, the requirements of regulatory and operational-technical documents regarding the safe handling and disposal of RCCS must be met.

Keywords: ChNPP, NSC-SO, RCCS, surface pollution, specific activity, disposal.

References

1. *Report on the safety status of the Shelter object in 2008.* SIP-P-PM-22-460-SAR-124-05. (in Rus.)
2. *Basic sanitary rules for ensuring radiation safety of Ukraine.* State sanitary rules 6.177-2005-09-02 (OSPU-2005). Approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 02.02.2005. (in Ukr.)
3. *Determination of the activity of solid radioactive waste using a spectrometric system of the GENIE2000 type in terms of determining the total and specific activity of gamma-emitting radionuclides in bulky metal and construction waste with surface contamination during preparation for disposal and transportation.* 2016 Research report of the ISP NPP of the NAS of Ukraine. Agreement No. 357/15 dated February 17, 2015. (in Ukr.)
4. ISTC "Shelter" (2005). *Report on the safety analysis of the reconstruction of the radioactive waste disposal site Buriakivka.* Agreement no. 35/05 dated May 17, 2005. (in Ukr.)
5. *On the approval of the Recommendations on the establishment of criteria for accepting conditioned radioactive waste for disposal in near-surface repositories.* Approved by the Order of the State Committee for Nuclear Regulation of Ukraine no. 160 dated 25.10.2004. (in Ukr.)

Надійшла 20.11.2023

Received 20.11.2023