

М. І. Павлюченко, Д. О. Муляр, А. О. Дорошенко

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

## Полімерне покриття в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття»

### Ключові слова:

заходи пилопригнічення,  
локалізуюче полімерне покриття,  
стандарт підприємства,  
оцінка стану покриття,  
радіоактивні аерозолі.

Розглянуто заходи пилопригнічення, зокрема в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття». Описано методи оцінки стану захисного полімерного покриття на поверхнях підпокрівельного простору. Представлено результати статистичного аналізу активності радіоактивних викидів з об'єкта «Укриття», радіоактивних аерозолів у приземному шарі повітря на проммайдачику об'єкта «Укриття», проаналізовано динаміку викидів радіоактивних аерозолів. Здійснено оцінку захисних властивостей по площі і глибині руйнування покриття та визначено товщину покриття на відібраних зразках (у лабораторних умовах). За результатами досліджень сформульовано висновки про те, що полімерне покриття міцно зафіксувало радіоактивний пил на покритих поверхнях. За поточної експлуатації об'єкта «Укриття» і без змін його стану заходи з пилопригнічення в коротко-строковій перспективі проводити не рекомендовано. Дослідження сприяють оптимізації графіка сеансів пилопригнічення, їхній економічній обґрунтованості. Надалі необхідно продовжувати моніторинг параметрів радіоактивних аерозолів та проводити оцінку стану захисного покриття в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття». Результати моніторингу рекомендовано використовувати при прийнятті рішень про терміни проведення зрошення захисним покриттям у разі виявлення процесів, унаслідок яких відбувається підвищення активності радіоактивних аерозолів.

### Вступ

Після спорудження об'єкта «Укриття» почався монтаж стаціонарної системи пилопригнічення (СПП) для регулярного нанесення локалізуючого полімерного покриття (ЛПП). Надалі СПП була модернізована шляхом збільшення кількості форсунок (з 14 до 49), що розширило площу зрошення до 70% від загальної площі підпокрівельного простору (ПП). Система одержала назву — модернізована система пилопригнічення (МСПП) [1]. Цикли пилопригнічення проводили регулярно 1 раз на рік згідно з [1] починаючи з кінця 1989 р., при цьому щорічно в ПП об'єкта «Укриття»

подавали від 45 до 90 т рідких сумішей (ЛПП та промивна рідина з гадолінієм). Зазначене, крім локалізації радіоактивних аерозолів (РА), створювало і проблему утилізації радіоактивних вод.

Починаючи з 2014 р. регламентного пилопригнічення не проводили, оскільки після 2009 р. вже не відзначалося значного поліпшення радіоаерозольного стану після зрошення, а також зростання товщини плівкового покриття. Як результат, було ухвалено технічне рішення [2] про оптимізацію графіка нанесення ЛПП. Було вирішено досліджувати характеристики його захисних властивостей і після цього за наявності ознак їхнього погіршення ухвалювати рішення

© М. І. Павлюченко, Д. О. Муляр, А. О. Дорошенко, 2019

про необхідність проведення пілопригнічення. Тому у 2015 р. Інститутом проблем безпеки атомних електростанцій (ІПБ АЕС) НАН України для ДСП «Чорнобильська АЕС» був розроблений стандарт підприємства (СТП) [3], яким установлені правила проведення досліджень та прогнозування (на 1 рік) стану захисного полімерного покриття. З 2015 р. щорічно відповідно до СТП виконуються дослідження з оцінки стану захисного полімерного покриття в ПП, за результатами яких складається звіт із відповідними рекомендаціями щодо проведення сеансів пілопригнічення [4].

Ефективність ЛПП, які використовувалися на об'єкті «Укриття» з метою запобігання поширенню радіоактивних забруднень у навколишнє середовище, висвітлено в роботах [5-14], і вказана передумова не потребує підтвердження.

Згідно з нормативно-експлуатаційними документами ЛПП повинні виконувати свої захисні (локалізуючі) функції зі збереженням вимог призначення і безпеки у встановлених межах при дії на них води, нафтопродуктів, хімічно агресивних середовищ, радіолізу не менше 180 діб [15].

Час, протягом якого ЛПП запобігає розповсюдженню радіоактивної твердої дисперсної фази аерозолів у навколишній простір, чітко не визначений і значно залежить від інтенсивності, різноманітності та часу дії фізико-хімічних факторів.

У результаті процесів фізичного і хімічного руйнування (деградації) покриття та дефляції продуктів його руйнування концентрація РА в повітрі ПП підвищується. Ці процеси руйнації в часі відбуваються повільно і безупинно, а зміни концентрації РА в ПП за рахунок дефляції зростають, але незначною мірою. Однак на динаміку концентрації РА в ПП об'єкта «Укриття» і навколо нього впливає виконання різного виду робіт, які проводять у ПП, суміжних з ПП приміщеннях та на проммайданчику, що супроводжуються підйомом радіоактивного пилу, але не пов'язаного з руйнуванням захисної плівки, а також напрямок та швидкість повітряних потоків, сезонність, погода тощо. Таким чином, виникають певні труднощі при визначенні джерела (причини) підвищення концентрації РА.

Лабораторні дослідження зразків-свідків з «розвалу» та візуальний їхній огляд дозволяють оцінити захисні властивості плівки методами, що передбачені [16].

У статті наведено підхід авторів до вивчення стану та ефективності захисного (локалізуючого) полімерного покриття в ПП, методів досліджень і щорічної оцінки стану покриття, прогнозу стану захисних властивостей покриття на короткостроковий період (1 рік).

## Методи дослідження

Оцінка стану захисного полімерного покриття в ПП об'єкта «Укриття» відповідно до СТП [3] виконувалася двома методами.

1. Опосередкований метод — пошук та встановлення в часі зв'язку між активністю аерозолів за результатами моніторингу: «організованих» викидів; викидів через технологічні люки легкої покрівлі; об'ємної активності; поверхневого забруднення та випадіння у ПП.

Реалізація полягає у складанні репрезентативних статистичних вибірок моніторингових досліджень РА, статистичному аналізі часових рядів, кореляційному та регресійному аналізах, визначенні тренду активності РА в часі.

Головна мета статистичних методів — представити кількісні дані в наочній, стислій формі для полегшення їхнього розуміння. Судження і розрахунки спираються на параметричну статистику, пов'язану з нормальним законом розподілу (випадкові вибірки від нормального розподілу). Головна особливість, що виділяє нормальний закон розподілу, полягає в тому, що він є граничним законом, до якого наближаються всі інші закони розподілу за умов, що дуже часто трапляються. Чим більша кількість випадкових величин (чинників) впливає на вимірювану величину, тим точніше виконується нормальний розподіл незалежно від їхнього власного розподілу, при цьому передбачається, що немає домінуючого чинника [17, 18].

2. Прямий метод — відбір та лабораторні випробування зразків-свідків, вимірювання товщини та оцінка руйнувань покриття.

Реалізація методу — відбір зразків-свідків, випробування їх у лабораторії згідно з [16], оцінка зміни захисних властивостей покриття за розмірами площі руйнувань (розтріскування, вивітрювання, відшарування, розчинення, утворення пухирів, зморщування) та визначення товщини покриття на зразках-свідках згідно з ІСО 2808-97 «Фарби та лаки. Визначення товщини покриття».

Обидва методи мають певні недоліки та переваги. Наприклад, опосередкований метод характеризує загальний стан руйнування покриття в ПП (перевага), але недоліком є вплив на результати методу виконання робіт на об'єкті «Укриття» і проммайданчику, що пов'язані з підняттям пилу. Прямий метод дає змогу оцінити візуально (за допомогою оптичних приладів) стан покриття (перевага), але це характеризує локальну площу, а загальна площа покриття  $\sim 5200 \text{ м}^2$  [7] (осі

40–53, ряди  $B_{+1,00\text{ м}}(-T)$  і фізико-хімічні та радіаційні умови, які впливають на руйнування плівки, можуть відрізнитися за площею (недолік). Таким чином, методи доповнюють один одного, незважаючи на певні недоліки кожного з них.

### Результати досліджень

**Контроль викидів радіоактивних аерозолів із ПП через технологічні люки легкої покрівлі об'єкта «Укриття».** Оцінку викиду суміші (МБк/добу) РА з ПП об'єкта «Укриття» («неорганізовані» викиди) виконують у режимі моніторингу за допомогою акумуляції аерозолів на спеціальному матеріалі, який витримують над технологічними люками на легкій покрівлі об'єкта «Укриття» [19, 20, 22]. Передбачається, що деградація покриття (плівки) призводить до генерації аерозолів у ПП об'єкта «Укриття» в результаті циркуляції повітря через накопичувальний матеріал, який розташований горизонтально над люками. Тверді частинки осідають на ньому, а швидкість їхнього накопичення характеризує концентрацію РА в повітрі ПП об'єкта «Укриття». Зазвичай внесок у концентрацію РА в повітрі ПП дає не тільки деградація покриття, а й інші процеси, вплив яких визначається під час верифікації моніторингових спостережень та комплексному їхньому аналізі.

За результатами моніторингу викидів РА складена вибірка обсягом 93 вимірювання (середні за місяць значення викиду [4]). Вибірка розділена на три часові групи: 2011–2014 рр. — опорна, тобто вибірка, що характеризує спостереження до початку робіт з оцінки стану полімерного покриття; 2015–2018 рр. — поточна, показники якої порівнюються з показниками опорної; 2011–2018 рр. — зведена вибірка, для характеристики динаміки та загального тренду.

Медіана, мода та ексцес вихідної вибірки показують наявність аномальних значень (виходячи з нормального закону розподілу членів сукупності) у 2011–2018 рр. У разі виключення з вибірки аномальних значень і перевірки сукупності на несуперечність гіпотезі про нормальність (логнормальність) визначають правомірність застосування розрахунку статистичних показників відповідно до нормального розподілу.

Результати досліджень викиду в часі представлено на рис. 1, де лінія тренду продовжена до 31.12.2019 р. з метою прогнозу умовного середнього значення швидкості викидів на наступний рік.

**Контроль активності газоаерозольного викиду.** Контроль активності газоаерозольного викиду («організованих» викидів РА,  $\Sigma\alpha + \Sigma\beta$ , МБк/міс) через



Рис. 1. Динаміка викидів РА з ПП через технологічні люки легкої покрівлі об'єкта «Укриття» (2011–2018 рр.)

систему «Байпас» системи витяжної вентиляції і газоочищення (СВГ) у нову вентиляційну трубу (НВТ) П черги Чорнобильської АЕС виконується в режимі моніторингу параметрів стаціонарною системою радіаційного контролю (безперервно) [1]. Повітря з ПП об'єкта «Укриття» повітропроводом через систему «Байпас» у приміщенні 4004/1 (там же розміщені трубки для відбору аерозолів) змішується з викидами 3-го блока і потрапляє в НВТ [21].

За результатами контролю складена вихідна статистична вибірка за даними ( $\Sigma\alpha + \Sigma\beta$ , МБк/міс), що викладені в щорічних звітах про стан безпеки об'єкта «Укриття» за 1998–2018 рр., об'єм вибірки становить 93 значення [22]. За алгоритмом, прийнятим у [3], були опрацьовані опорна, поточна та зведена вибірки [4].

Проаналізувавши спостережені значення «організованих» викидів (рис. 1), маємо, що в період 07–08.2015 р. значення «організованих» викидів зросли більше, ніж у 30 разів, у період 07–08.2017 р. значення ще зросли більше, ніж у 10 разів, та до 01.2018 р. зросли більше, ніж у 4 рази. Якщо ж дані аналізувати починаючи від опорних середніх (період 2011–2014 рр.), то з 2015 р. по 31.10.2018 р. значення зросли майже в 1 500 разів. Певно, що такий різкий

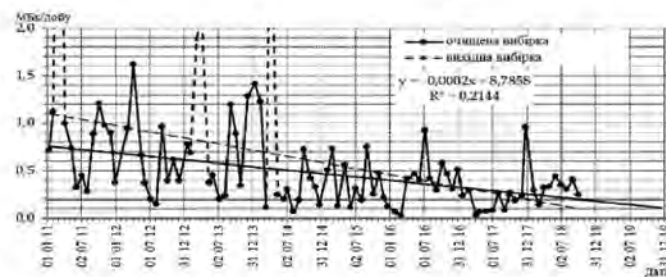


Рис. 2. Вихідні дані динаміки місячної («організовані» викиди) активності довгоїснуючих нуклідів газоаерозольних викидів через систему «Байпас» СВГ у НВТ (ВТ) та об'ємної активності аерозолів у системі «Байпас»

підйом значень викидів не можна пов'язати з деградацією полімерної плівки, аналізуючи спостереження за об'ємною активністю в системі «Байпас» (роботи виконували незалежно в рамках наукових досліджень дисперсності РА). Можливо, це пов'язано зі збільшенням витрат повітря через вентиляційну трубу або систематичною похибкою при вимірюваннях, наприклад при переході до вимірювань стаціонарною системою радіаційного контролю. У зв'язку з цим дані 2015–2018 рр. було приведено до рівня 2011–2014 рр. (див. рис. 2, лінія з квадратами), для цього використано дані незалежних наукових вимірювань [19, 20]. Це дало змогу провести повноцінний математичний статистичний аналіз числового ряду з 2011 по 2018 рр.

**Контроль концентрації радіоактивних аерозолів у приземному шарі повітря локальної зони об'єкта «Укриття».** Контроль концентрації РА в локальній зоні проммайданчика об'єкта «Укриття» виконується шляхом фільтрації (відбору проб аерозолів) повітря трьома аспіраційними установками через фільтрувальний матеріал типу ФПП 15–1,5 з подальшими вимірюваннями складу та активності радіоактивних частинок, затриманих на матеріалі. Через те, що об'єкт «Укриття» не є герметичною спорудою, можливе проникнення забрудненого повітря на проммайданчик, наприклад через щілини в контрфорсній стіні та ін., що впливає на динаміку концентрації РА в приземному шарі проммайданчика.

За результатами контролю складена вихідна статистична вибірка за даними ( $\Sigma\beta$ , Бк/м<sup>3</sup>), що викладені в щомісячних «Актах про відбір проб та вимірювання концентрації РА в повітрі ПМ ОУ» за 2011–2018 рр., об'єм вибірки більше 200 значень по кожній аспіраційній установці [4].

На рис. 3 продовжена лінія тренду (на 458 діб) з метою прогнозу умовного середнього значення концентрації РА до 31.12.2019 р.

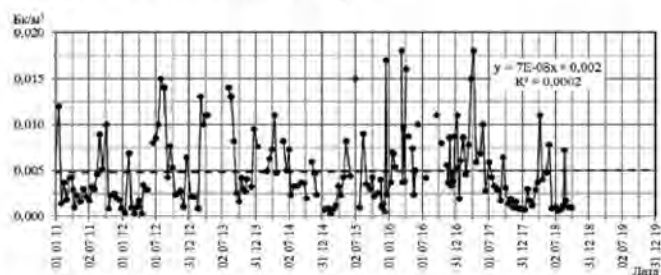


Рис. 3. Динаміка концентрації РА в приземному шарі проммайданчика об'єкта «Укриття» у 2011–2018 рр. (аспіраційна установка № 2)

**Контроль поверхневого радіоактивного забруднення, що знімається, зовнішніх поверхонь захисного полімерного покриття в ПП об'єкта «Укриття».** Роботи з контролю поверхневого радіоактивного забруднення, що знімається, зовнішніх поверхонь захисного полімерного покриття в точках контролю ПП виконує цех радіаційної безпеки Чорнобильської АЕС. У період 03.06.2008–23.10.2018 рр. виконано 70 вимірювань  $\beta_{\text{зн}}$  на поверхнях опори балки «Мамонт» і 54 вимірювання  $\beta_{\text{зн}}$  у міжконтрфорсному просторі, тобто здійснено вибірки великого об'єму ( $n > 25$ ) (таблиця).

Аналіз статистичних показників свідчить, що рівень поверхневого забруднення поступово збільшувався в період 2014–2016 рр., коли не проводилися заходи пилопригнічення й активно тривали будівельні роботи на об'єкті «Укриття». Після сеансу пилопригнічення в жовтні 2016 р. відбулася фіксація РА, і зростання активності поверхневого забруднення припинилося.

**Бета-активність поверхневого забруднення в контрольних точках ПП (част · см<sup>-2</sup> · хв<sup>-1</sup>)**

Координати місць відбору мазків		Рік промислової експлуатації МСПП										
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Пд-Сх кут 3х опори балки «Мамонт» на відм. +43.00 (вісь 50, ряд В, прим. 2007/3)	мін.	105	1500	2500	8500	180	120	60	2400	680	3800	2450
	макс.	11000	7700	11000	10000	3100	1800	4800	12000	18000	9000	5000
	сер.	6702	3225	5500	9167	1640	960	2610	8143	10922	4905	4431
Міжконтрфорсний простір на відм. +10.00 (вісь 53, ряд С)	мін.						100	60	180	300	640	230
	макс.						600	200	125	1700	800	750
	сер.						350	118	930	1238	699	591

**Контроль щільності випадінь радіоактивних аерозолів у ПП об'єкта «Укриття».** Контроль випадінь РА в ПП об'єкта «Укриття» почали виконувати після скорочення об'ємів робіт з нанесення ЛПП. Для збору РА, що випадають на поверхні ПП, використовують два ідентичні горизонтальні планшети з медичною марлею. Планшети встановлені: у південно-східному куті західної опори балки «Мамонт» — відм. +43.00, вісь 50, ряд В, прим. 2007/3; у міжконтрфорсному просторі — відм. +9.00, ряди П-Р, осі 51–53.

Величини співвідношення  $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}/^{154}\text{Eu}$  і  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  у випадіннях у межах похибки вимірювань збігаються з розрахунковими в базовому складі палива 4-го блока Чорнобильської АЕС. Вміст  $\alpha$ - і  $\beta$ -випромінюючих нуклідів у випадіннях визначали за їхнім співвідношенням з  $\gamma$ -випромінювачами в паливі. У суму  $\alpha$ -випромінювачів включені ізомери  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  і  $^{241}\text{Am}$ , а в суму  $\beta$ -випромінювачів — ізомери  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  +  $^{90}\text{Y}$  і  $^{241}\text{Pu}$ .

Розрахункова щільність випадіння аерозолів ( $\Sigma\beta_{\text{розрах}}$ ) у ПП у 2018 р. зменшилась приблизно в 4–6 разів порівняно з 2017 р. Поверхня ПП до покриття ЛПП була найбільш потужним джерелом радіоактивного пилу і зараз покрита тільки на 70%, водночас інтенсивність випадінь у ПП порівняно невелика, і це свідчить про ефективність захисних властивостей покриття.

**Лабораторні дослідження зразків-свідків.** Оцінка захисних властивостей покриття вивчалась методами, установленими ГОСТ 9.407–84, п. 2.3. Стан покриття визначався візуально за зразками-свідками за допомогою лупи (6× і 10× збільшення). Визначали види руйнувань, які характеризують захисні властивості покриття: розтріскування, вивітрювання, відшарування, розчинення, зморщування. Указані види руйнувань оцінювали за площею зруйнованого покриття [16].

*Оцінка захисних властивостей покриття відповідно до ГОСТ 9.407–84, п. 2.3.* Покриття на досліджених зразках-свідках перебуває в хорошому стані, виявлені дрібні дефекти не знижують його захисних властивостей, на досліджених зразках полімерна плівка покриває 100% площі. Візуальні спостереження (за допомогою лупи) полімерного покриття на зразках-свідках, що були відібрані у 2018 р. (рис. 4), показали, що за мінімальної оцінки міри руйнувань у 6 балів на зразках, витриманих в умовах в ПП об'єкта «Укриття», захисні властивості можна оцінити досить позитивною оцінкою — 1 бал.

*Оцінка товщини полімерного покриття відповідно до ISO 2808–97.* Дослідження з оцінки товщини захисного полімерного покриття в ПП після введення МССП у промислову експлуатацію, виконувались

у 2009, 2012 і 2014 рр. [9–11], а також у 2015–2018 рр. [4]. Товщина плівки за даними вказаних досліджень варіюється в межах від 15–20 до 600–700 мкм залежно від матеріалу (метал, гума, пластикат, скло, бетон), при цьому встановлено [12–14], що навіть за товщини плівки 10–20 мкм забезпечується достатньо міцне закріплення радіоактивного пилу в зоні її дії.



Рис. 4. Фото зразків-свідків, відібраних у південно-східному куті західної опори балки «Мамонт» (а) та збільшений фрагмент зразка (б)

## Висновки

Захисне полімерне покриття міцно зафіксувало радіоактивний пил у ПП об'єкта «Укриття».

Тенденція незначного зростання з часом деяких контрольованих параметрів має тимчасовий характер і не може бути пов'язана з руйнацією плівки. Найвні незначні в часі процеси вторинного забруднення покриття через проведення будівельних та інших робіт, що призводять до підняття пилу в повітря з наступним розвіюванням аерозолів, а також процеси дефляції із сусідніх поверхонь, що не покриті полімерною плівкою.

Стан захисного полімерного покриття в ПП об'єкта «Укриття» задовільний, покриття виконує свої функції.

Погіршення експлуатаційних властивостей полімерного покриття під час періодичних обстежень у 2015–2018 рр. не виявлено.

Немає потреби у проведенні заходів пилопригнічення у 2019 р. (за поточної експлуатації об'єкта «Укриття» і без змін його стану), оскільки процеси руйнувань покриття повільні (візуально не помітні), а значення контрольованих параметрів не перевищують експлуатаційних меж [1].

Оптимізація графіка сеансів пілопригнічення (зменшення їхньої кількості) зменшила кількість витрат дорогого локалізуючого складу та надходження й утворення радіоактивно забруднених вод в об'єкті «Укриття», що дало значний економічний ефект, без екологічного збитку.

Отже, необхідно продовжувати моніторинг контролю параметрів РА всередині і зовні об'єкта «Укриття» за допомогою наявних видів досліджень та в разі виявлення погіршення стану покриття, що суттєво знизить його захисні властивості, або при вторинному забрудненні поверхні ЛПП, унаслідок чого відбудеться перевищення критеріїв та встановлених рівнів [1, 3], проводити сеанси пілопригнічення.

Висловлюємо щиро вдячність за активну участь і допомогу в написанні роботи заступнику директора ПІБ АЕС НАН України В. М. Щербіну.

### Список використаної літератури

1. Технологічний регламент об'єкту «Укриття» реактора блоку № 4 «Чернобыльської АЕС»: 1Р-ОУ. — [Зі змінами від 06.07.2016 р.]. — Інв. № ПТС 74. — Славутич : ДСП «Чернобыльська АЕС», 2011. — 71 с.
2. Протокол робочої наради з питання виконання пілопригнічення на об'єкті «Укриття» Чернобыльської АЕС від 23.12.2014. — Київ.
3. Оцінка стану захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття»: СТП 3.031-2015. — [Чинний від 2015-05-29]. — Славутич: ДСП «Чернобыльська АЕС», 2015. — 11 с. — (Стандарт підприємства).
4. Оцінка захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття» станом на 2018 р. (договір № 381/18): (Звіт з НДР) / ПІБ АЕС НАН України. — УДК 621.039. — Чернобыль, 2018. — 77 с.
5. Самойленко Ю. Н. Применение полимерных покрытий для улучшения радиационной обстановки при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС / Ю. Н. Самойленко, В. М. Черноученко // Чернобыль'88. Докл. I Всесоюз. науч. — техн. совещ. по итогам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Локализация последствий аварии на блоке № 4, промплощадке Чернобыльской АЭС и прилегающих территориях; под ред. Е. И. Игнатенко. — Чернобыль, 1989. — Т. 7, ч. II. — С. 152-184.
6. Локализация радионуклидов на территории ЧАЭС / Л. А. Мамаев и др. // Там же. — Т. 7, ч. I. — С. 226-235.
7. Материали по оцінці безпеки МСПП: Отчет по контракту № SIP05-4-011. Документ SIP AOS2 104 SMT 00 01 от 11.03.2006 г. — Чернобыль, 2006.
8. Богатов С. А. Повышение безопасности объекта «Укрытие» путем расширения системы пылеподавления / С. А. Богатов, А. С. Евстратенко, И. Я. Симановская // Проблемы Чернобыля. — 2001. — № 8. — С. 35-38.
9. Оценка эффективности работы модернизированной системы пылеподавления и ее воздействия на радиационную обстановку внутри объекта «Укрытие» и окружающую среду на этапе пуско-наладочных работ: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. — Арх. № 3903. — Чернобыль, 2003. — 34 с.
10. Определение характеристик образцов защитного пленочного покрытия подкровельного пространства объекта «Укрытие»: Отчет по контракту № SIP09-2-001-HOSR-005. Документ SIP 09-2-001 NI 03 RPT 00502. — Чернобыль, 2010. — 136 с.
11. Проведение исследований локализирующего полимерного покрытия в подкровельном пространстве объекта «Укрытие» для оценки его физико-механических и защитных свойств: (Отчет) / ИПБ АЭС НАН Украины. — № ГР 0112U005383. — Чернобыль, 2012. — 173 с.
12. Результаты первого цикла испытаний МСПП: Отчет по контракту № SIP05-4-011. Документ SIP AOS1 080 MR00 01 от 17.11.2004 г. — Славутич, 2004.
13. Результаты испытаний МСПП в весенний период: Отчет по контракту № SIP05-4-011. Документ SIP AOS2 02 4 SMT 00 01 от 26.06.2005 г. — Чернобыль, 2005.
14. Результаты испытаний МСПП в летний период: Отчет по контракту № SIP05-4-011. Документ SIP AOS2 03 4 SMT 00 01 от 03.11.2005 г. — Чернобыль, 2005.
15. Составы пылеподавляющие полимерные: ТУ У 24.6-25661375-001-2004. ТУ 95-2850-2004. (Технические условия).
16. ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида: ГОСТ 9.407-84. — [Введен 1985-07-01]. — М.: Стандартиформ, 2006. — 9 с. — (Межгосударственный стандарт).
17. Овчинников А. К. Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений / А. К. Овчинников и др.; отв. ред. Ю. В. Хромов. — М.: Министерство геологии СССР, 1974. — 108 с.
18. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. — М.: Наука, 1983. — 416 с.
19. Контроль неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие» и аэрозольной обстановки во время строительства НБК: (Заключит. отчет по договору № 372/17) / ИПБ АЭС НАН Украины. — № ГР 0117U002965. — Чернобыль, 2017. — 186 с.
20. Научно-техническое сопровождение на этапах введения в эксплуатацию и эксплуатации НБК-ОУ (аспекты ядерной и радиационной безопасности): (Заключит.

- отчет по договору № 377/18) / ИПБ ЛЭС НАН Украины. — № ГР 0118U001405. — Чернобыль, 2018. — 175 с.
21. Огородников Б. И. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986–2006 гг.: монография / Б. И. Огородников, Э. М. Пазухин, А. А. Ключников. — Чернобыль: НАН Украины, Ии-т проблем безопасности ЛЭС, 2008. — 456 с.
22. Про стан безпеки об'єкта «Укриття»: (Звіт) / ДСП «Чернобыльська АЕС». — Славутич, 1998–2018.

**Н. І. Павлюченко, Д. А. Муляр, А. А. Дорошенко**

*Институт проблем безопасности ЛЭС НАН Украины,  
ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина*

### **Полимерное покрытие в подкровельном пространстве объекта «Укрытие»**

Рассмотрены меры пылеподавления, в частности в подкровельном пространстве объекта «Укрытие». Описаны методы оценки состояния защитного полимерного покрытия на поверхностях подкровельного пространства. Представлены результаты статистического анализа активности радиоактивных выбросов из объекта «Укрытие», радиоактивных аэрозолей в приземном слое воздуха на промышленной площадке объекта «Укрытие», проанализирована динамика выбросов радиоактивных аэрозолей. Осуществлена оценка защитных свойств по площади и глубине разрушения покрытия и определена толщина покрытия на отобранных образцах (в лабораторных условиях). По результатам исследований сформулированы выводы о том, что полимерное покрытие прочно зафиксировало радиоактивную пыль на покрытых поверхностях. При текущей эксплуатации объекта «Укрытие» и без изменений его состояния меры по пылеподавлению в краткосрочной перспективе проводить не рекомендуется. Исследования способствуют оптимизации графика сеансов пылеподавления, их экономической обоснованности. В дальнейшем необходимо продолжать мониторинг параметров радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие», и проводить оценку состояния защитного покрытия в подкровельном пространстве объекта «Укрытие». Результаты мониторинга использовать при принятии решений о сроках проведения орошения защитным покрытием при обнаружении процессов, в результате которых происходит повышение активности радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие».

*Ключевые слова:* меры пылеподавления, локализирующее полимерное покрытие, стандарт предприятия, оценка состояния покрытия, радиоактивные аэрозоли.

**N. I. Pavliuchenko, D. O. Muliar, A. O. Doroshenko**

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

### **The Polymer Coverage in the Under-Roof Space of the Shelter Object**

Measures of dust suppression are considered, in particular, in the under-roof space of the Shelter object (SO). Methods for assessing the state of the protective polymer coating on the surfaces of the «collapse» of the 4th ChNPP unit and the intercontrophoric surfaces of the under-roofing space are described. The results of a mathematical and statistical analysis of monitoring the activity of radioactive emissions from the SO, the concentration of radioactive aerosols in the surface air layer at the industrial site of the SO are presented, as well as the dynamics of emissions of radioactive aerosols are analyzed. The evaluation of the protective properties of the area and depth of destruction of the coating was carried out and the thickness of the coating on the selected samples (in laboratory conditions) was determined.

According to the results of the research, conclusions were formulated, namely, the polymer coating firmly fixed radioactive dust on the coated surfaces, the growth over time of some of the monitored parameters is not associated with film destruction, there are minor secondary pollution processes, and the existing processes of coating destruction are slow. With the current operation of the Shelter object and without changes in its state, dust suppression measures are not recommended in the short term, as the coverage condition is satisfactory and it performs its protective functions, and the values of the monitored parameters do not exceed the operational limits.

Research contributes to optimizing the schedule of dust suppression sessions, their economic feasibility, because the amount of expensive localizing materials is reduced, the inflow and formation of radioactively polluted water to the New Safe Confinement (NSC) of the SO is reduced, which has a significant economic effect without environmental damage. In the future, it is necessary to continue monitoring the parameters of SO radioactive aerosols, and to assess the state of the protective coating in the sub-roofing and inter-control spaces of the NSC-SO.

The monitoring results should be used when taking decisions on the timing of irrigation with a protective coating, when detecting destruction processes, which result in an increase in the activity of SO radioactive aerosols.

*Keywords:* dust suppression measures, localizing of the polymeric coverage, standard of enterprise, estimation of the coverage state, radioactive aerosol.

## References

1. *Technological regulation of the Shelter object of the reactor unit no. 4 of the Chornobyl NPP: 1R-OU* (with changes from 06.07.2016). Slavutych: SSE «Chornobyl NPP», 2011, 71 p. (in Ukr.)
2. *Minutes of the working meeting on the issue of dust suppression at the Shelter object of the Chornobyl NPP dated 12.23.2014*. Kyiv, 2014. (in Ukr.)
3. STP 3.031–2015. *Assessment of the state of protective polymer coating in the under-roof space of the Shelter object. Enterprise standard. Effective from 05.25.2015*. Slavutych: SSE «Chornobyl NPP», 11 p. (in Ukr.)
4. *Assessment of the protective polymer coating in the under-roof space of the Shelter object as of 2018*. Report on research and development work. ISP NPP, NAS Ukraine. Chornobyl, 2018, 77 p. (in Ukr.)
5. Samoylenko Yu. N., Chernouchenko V. M. (1989). [The use of polymer coatings to improve the radiation situation in the aftermath of the Chernobyl accident]. *Proceedings of the Reports of the 1st All-Union Scientific and Technical Meeting on the Results of the Chornobyl Nuclear Power Plant Accident Consequences Elimination (Chornobyl, 1989)*, vol. 7, part 2, pp. 152–184. (in Russ.)
6. Mamaev L. A., Galkin G. A., Khrabrov S. L. (1989). [Localization of radionuclides in ChNPP]. *Proceedings of the Reports of the 1st All-Union Scientific and Technical Meeting on the Results of the the Chornobyl Nuclear Power Plant Accident Consequences Elimination. (Chornobyl, 1989)*, ed. E. I. Ignatenko. Vol. 7, part 1, pp. 226–235. (in Russ.)
7. SIP AOS2 10 4 SMT 00 01 *Material for assessing the safety of MSDS*. Contract report SIP05-4-011. Chornobyl, 2006. (in Russ.)
8. Bogatov S. A., Evstratenko A. S., Simanovskaya I. Ya. (2001). [Enhance the safety of the Shelter by expanding the dust suppression system]. *Problemy Chornobyliia* [Problems of Chornobyl], vol. 8, pp. 35–38. (in Russ.)
9. *Assessment of the effectiveness of the upgraded dust suppression system and its impact on the radiation environment inside the Shelter and the environment at the commissioning stage*. Report of the ISTC «Shelter» of the NAS of Ukraine. Chornobyl, 2003, 34 p. (in Russ.)
10. SIP 09-2-001 NI 03 RPT 005 02. *Characterization of samples of the protective film coating of the Shelter object under-roofing space*. Contract report SIP09-2-001-HOSR-005. Chornobyl, 2010, 136 p. (in Russ.)
11. *Conducting research localizing polymer coating in the Shelter object roofing space to assess its physical, mechanical and protective properties*. Report of the ISP NPP NAS of Ukraine no. 0112U005383. Chornobyl, 2012, 173 p. (in Russ.)
12. SIP AOS1 080 MR0001 of 17.11.2004. *Results of the first test cycle MSDS*. Contract report SIP05-4-011. Chornobyl, 2004. (in Russ.)
13. SIP AOS2 02 4 SMT 00 01 of 26.06.2005. *Test results of the MSDS during the spring period*. Contract report SIP05-4-011. Chornobyl, 2005. (in Russ.)
14. SIP AOS2 03 4 SMT 00 01 of 03.11.2005. *Test results of the MSDS during the summer period*. Contract report SIP05-4-011. Chornobyl, 2005. (in Russ.)
15. TU U24.6-25661375-001-2004 (TU952850–2004). *Dust suppression polymer compositions*. Technical conditions. (in Russ.)
16. GOST 9.407–84. *Paint coatings. Appearance assessment methods*. Moscow: Standartinform, 2006, 9 p. (in Russ.)
17. Ovchinnikov A. K. (1974). *Instruktsiya po gamma-karotazhu pri poiskakh i razvedke uranovykh mestorozhdeniy* [Instructions for gamma logging when searching and prospecting for uranium deposits]. Moscow: Ministry of Geology of the USSR, 108 p. (in Russ.)
18. Bol'shev L. N., Smirnov N. V. (1983). *Tablitsy matematicheskoy statistiki* [Mathematical Statistics Tables]. Moscow, Nauka, 416 p. (in Russ.)
19. ISP NPP NAS of Ukraine (2017). *Control of fugitive emissions from the Shelter and aerosol conditions during the construction of the NSC*. Final report on contract no 372/17. Chornobyl, 186 p. (in Russ.)
20. ISP NPP NAS of Ukraine (2018). *Scientific and technical support at the stages of commissioning and operation of the NSC-SO (aspects of nuclear and radiation safety)*. Final report on contract no 372/18. Chornobyl, 175 p. (in Russ.)
21. Ogorodnikov B. I., Pazukhin E. M., Klyuchnikov A. A. (2008). *Radioaktivnye aerosoli objekta «Ukrytie»: 1986–2006 gg* [Radioactive aerosols of the Shelter object: 1986–2006.]. Chornobyl: ISP NPP NAS of Ukraine, 456 p. (in Russ.)
22. *About the state of safety of the Shelter object. Report of SSE «Chornobyl NPP»*. Slavutych, 1998–2018. (in Ukr.)

Надійшла 19.09.2019

Received 19.09.2019