

В. М. Домніков<sup>1</sup>, Є. П. Кадкін<sup>1</sup>, О. О. Кіліна<sup>1</sup>,  
Т. П. Кілочницька<sup>2</sup>, С. М. Кондратьєв<sup>1</sup>,  
В. Д. Склярєнко<sup>1</sup>, Т. В. Сушко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державний науково-технічний центр з ядерної  
та радіаційної безпеки, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ

## Інтегральний аналіз підвищення безпеки об'єкта «Укриття» Чорнобильської АЕС: зменшення потенційних радіаційних впливів на персонал

Виконано інтегральний аналіз підвищення безпеки об'єкта «Укриття» Чорнобильської АЕС внаслідок реалізації на ньому відповідних проектів з погляду зменшення потенційних радіаційних впливів на персонал: ймовірностей критичних подій, потенційного опромінення.

Ключові слова: радіаційні впливи, критичні події, потенційне опромінення.

В. Н. Домников, Е. П. Кадкин, Е. А. Килина, Т. П. Килочицкая,  
С. Н. Кондратьев, В. Д. Скляренко, Т. В. Сушко

**Интегральный анализ повышения безопасности об-  
екта «Укрытие» Чернобыльской АЭС: уменьшение по-  
тенциальных радиационных воздействий на персо-  
нал**

Выполнен интегральный анализ повышения безопасности объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС в результате реализации на нем соответствующих проектов с точки зрения уменьшения потенциальных радиационных воздействий на персонал: вероятностей критических событий, потенциального облучения.

Ключевые слова: радиационные воздействия, критические события, потенциальное облучение.

© В. М. Домніков, Є. П. Кадкін, О. О. Кіліна, Т. П. Кілочницька,  
С. М. Кондратьєв, В. Д. Склярєнко, Т. В. Сушко, 2013

Сьогодні на Чорнобильській АЕС, переважно в рамках міжнародного Плану здійснення заходів (ПЗЗ) на об'єкті «Укриття» (ОУ), реалізується низка проектів з підвищення безпеки ОУ. Інтегральний аналіз в контексті зменшення поточних радіаційних впливів було викладено в [1]. У цій статті наведено інтегральний аналіз підвищення безпеки ОУ в контексті зменшення потенційних радіаційних впливів на персонал. Детально інтегральний аналіз ефективності реалізації проектів на ОУ Чорнобильської АЕС з погляду перетворення цього об'єкта на екологічно безпечну систему викладено у [2].

Інтегральний аналіз базується на підходах і принципах щодо поступового підвищення рівня безпеки ОУ та відповідних цілях і критеріях.

Загальна мета діяльності щодо ОУ визначається як забезпечення захисту персоналу, населення, зокрема майбутніх поколінь, і довкілля від радіологічних небезпек. При цьому мають бути усунені або зменшені до прийнятого рівня небезпечні фактори впливу осередків ядерної та радіаційної небезпеки.

Відповідно до загальної мети, у [3] визначено цілі радіаційного захисту та технічної безпеки, а також критерії їх досягнення.

Ціль радіаційного захисту в частині запобігання потенційному опроміненню вважатиметься досягнутою, якщо пов'язана з потенційним опроміненням шкода, виражена в одиницях узагальненого ризику, не перевищує встановлених НРБУ-97 та НРБУ-97/Д-2000 [4, 5] рівнів референтних ризиків і є, наскільки це можливо й досяжно, нижчою за них.

Ціль технічної безпеки вважатиметься досягнутою, якщо:

для вихідних подій (навіть для тих, імовірність яких вкрай мала), можливі радіологічні наслідки не перевищують встановлених показників;

заходи для попередження, управління та послаблення аварій застосовуватимуться так, щоб імовірність і масштаби аварій були дуже малими та щоб жодний зі шляхів розвитку аварії не вносив непропорційно великого внеску в підсумковий ризик.

Ступінь досягнення цілей безпеки ОУ щодо зменшення потенційних радіаційних впливів оцінюється за показником досягнення референтних рівнів потенційного опромінення персоналу до розумно досяжного зменшення цих рівнів:

$$\frac{W^{\Pi}}{W_p^{\Pi}} \rightarrow < 1, \quad (1)$$

де  $W_p^{\Pi}$  та  $W^{\Pi}$  — встановлені НРБУ-97/Д-2000 [5, табл. 2.2] референтні ймовірності обмеження критичних подій (далі — КП) та оцінені ймовірності КП після реалізації певних проектів, відповідно.

Інтегральний аналіз зменшення потенційних радіаційних впливів виконувався на підставі документів, у яких найповніше систематизовано та узагальнено інформацію про стан безпеки ОУ та про проекти з підвищення безпеки ОУ [7–17].

Вихідні значення показників потенційних радіаційних впливів оцінювалися на початок реалізації проектів підвищення безпеки ОУ в рамках ПЗЗ, тобто на 1998 р.

Пряму загрозу виникненню КП створюють центральні проміжні події (ЦПП). Можливі ЦПП таких типів, що пов'язані зі станом ОУ:

ЦПП-1. Обрушення покрівлі або інших конструкцій локалізуючої споруди (ЛС) ОУ;

ЦПП-2. Обрушення внутрішніх конструкцій ОУ;  
 ЦПП-3. Пожежа, вибух;  
 ЦПП-4. Самопідтримна ланцюгова реакція поділу (СЛР).

Зменшення ймовірностей ЦПП даних типів (позначимо їх як ЦПП-К) є предметом підвищення безпеки ОУ.

Також можливі ЦПП, що пов'язані з роботами персоналу на ОУ або відмовами обладнання. Запобігання цим подіям або зменшення їхніх наслідків є предметом забезпечення безпеки під час робіт з підвищення безпеки ОУ, їх розгляд виходить за рамки цього дослідження.

Ймовірність реалізації КП з опроміненням персоналу внаслідок ЦПП-К

$$W_K^{\text{II}} = W_{\text{ЦПП-К}} \cdot P^{\text{II}}, \quad (2)$$

де  $W_{\text{ЦПП-К}}$  — ймовірність реалізації ЦПП-К;  $P^{\text{II}}$  — ймовірність опромінення людини в разі реалізації ЦПП-К.

Сумарна ймовірність реалізації КП з опроміненням персоналу

$$W^{\text{II}} = \sum_K W_K^{\text{II}}. \quad (3)$$

Відповідно до НРБУ-97/Д-2000, величини  $W$  потрібно визначити та порівняти з референтними значеннями  $W_p^{\text{II}}$  окремо для різних діапазонів доз потенційного опромінення персоналу.

#### Оцінки вихідних значень ймовірностей критичних подій та їх наслідків для персоналу

Потенційне опромінення особи з персоналу, що перебуває на промайданчику ОУ та ЧАЕС, можливе під час ЦПП, що призводять до викиду радіоактивних речовин у повітря на промайданчику ОУ та ЧАЕС в кількості, що перевищує допустимі значення. Нормативні критерії щодо обмеження потенційного опромінення персоналу наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Референтні значення ймовірності опромінення осіб з персоналу  $W_p^{\text{II}}$  залежно від категорії наслідків для цих осіб

Категорія наслідків	Доза на КП	$W_p^{\text{II}}$ , рік <sup>-1</sup>
С1П	Ефективна доза < 100 мЗв	$1 \cdot 10^{-2}$
С2П	Ефективна доза ≥ 100 мЗв	$2 \cdot 10^{-4}$
	Еквівалентна доза від 150 до 500 мЗв	
С3П	Поглинута доза >1000 мГр	$5 \cdot 10^{-7}$

Розглянемо ЦПП, за яких можливий цей викид, оцінки ймовірностей відповідних КП, а також доз потенційного опромінення (категорії наслідків С1П—С3П), припустивши, що ймовірність опромінення особи з персоналу в разі реалізації ЦПП-К

$$P^{\text{II}} = 1700/8760 = 0,2, \quad (4)$$

де 1700 — максимально можливий час роботи особи з персоналу на ДСП ЧАЕС протягом року (тобто протягом 8760 годин, якщо весь робочий час особа перебуває на промайданчику).

ЦПП-1. Обрушення покрівлі та інших конструкцій ЛС ОУ. Станом на 1998 р. обрушення покрівлі в цілому через відмову несучих конструкцій було оцінено найбільш імовірним у разі землетрусу. При цьому  $W_{\text{ЦПП-1}} \approx 0,16/\text{рік}$  [7]. Тоді  $W_1^{\text{II}} \approx (0,16 \cdot 0,2)/\text{рік} = 3,2 \cdot 10^{-2}/\text{рік}$ .

Ефективну дозу потенційного опромінення на промайданчику для такої події без застосування персоналом засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) оцінено максимально в 1500 мЗв [7]. Якщо ЗІЗОД застосовуються, доза може бути зменшена на порядок та більше. Категорія наслідків — С2П.

Часткове обрушення покрівлі може трапитися також внаслідок відмови конструкцій покриття (щитів тощо) під час сильного вітру, при цьому  $W_{\text{ЦПП-1}} \approx 0,13/\text{рік}$  [7]. Тоді  $W_1^{\text{II}} \approx (0,13 \cdot 0,2)/\text{рік} = 2,6 \cdot 10^{-2}/\text{рік}$ .

Викид пилу в разі падіння тільки окремих конструкцій покриття (без несучих конструкцій) буде набагато меншим. Категорія наслідків — С1П.

ЦПП-2. Обрушення внутрішніх конструкцій ОУ. До викиду з ОУ понад установлені межі може призвести обрушення внутрішніх конструкцій, на яких або є скупчення паливомістких матеріалів (ПММ), або які впадуть на скупчення ПММ.

Обрушення внутрішніх конструкцій найімовірніше може статися внаслідок землетрусу. Враховуючи високу ймовірність обрушення покрівлі ЛС ОУ внаслідок землетрусу для стану ОУ в 1998 р., можемо вважати, що ЦПП-2 та ЦПП-1 реалізуються одночасно.

ЦПП-3. Пожежа, вибух. До викиду з ОУ понад встановлені межі може призвести велика пожежа в приміщеннях, що не обслуговуються, з високим рівнем радіоактивного забруднення.

Загальна оцінка ймовірності виникнення пожежі на основі семи невеликих пожеж, що сталися на ОУ [7], дорівнює 0,2/рік. З цих семи пожеж чотири відбулися під час електростанційних робіт і три — через електроустаткування. Ці вихідні події можуть реалізуватися насамперед у обслуговуваних (постійно або періодично) приміщеннях. До великої пожежі можуть призвести блискавка, пожежа на блоці № 3, радіоліз води, розвиток невеликої пожежі тощо. Найімовірнішою з цих вихідних подій можна вважати розвиток невеликої пожежі. З огляду на вихідні події, що призвели до фактичних пожеж на ОУ, а також враховуючи, що обсяг електропостачання в приміщеннях, що не обслуговуються, значно менший, ніж у приміщеннях, що обслуговуються, можна припустити з певним ступенем консерватизму, що ймовірність виникнення невеликої пожежі в приміщеннях, що не обслуговуються, орієнтовно в 10 разів менша ніж загальна ймовірність, отже, орієнтовно оцінюється в 0,02/рік. З огляду на незабезпеченість контролю за виникненням пожежі в приміщеннях, що не обслуговуються, можна припустити високий ступінь переростання невеликої пожежі у велику (50 %). Таким чином, вважатимемо, що з певним ступенем консерватизму ймовірність великої пожежі в приміщеннях, що не обслуговуються, оцінюватиметься в  $1 \cdot 10^{-2}/\text{рік}$ . Припустимемо також, що ймовірність поширення великої пожежі в підпокрівельний простір висока (50 %), тобто оцінюється консервативно в  $5 \cdot 10^{-3}/\text{рік}$ .

Викид з ОУ в разі пожежі в його приміщеннях порівняно з викидом у разі обрушення покрівлі значно менший, і можна вважати, що ефективна доза опромінення на промайданчику буде меншою за 100 мЗв. Категорія наслідків — С1П.

Вияток становить пожежа з поширенням у підпокрівельний простір. Для даного випадку припускаємо (можливо, консервативно), що категорія наслідків — С2П.

Отже, для категорій наслідків С1П та С2П ЦПП-3 маємо таку оцінку (консервативно):  $W_3^{\text{II}} = (0,005 \cdot 0,2) / \text{рік} = 1 \cdot 10^{-3} / \text{рік}$

Вибух в ОУ малоімовірний [7].

**ЦПП-4. Самопідтримна ланцюгова реакція поділу.** Виникнення СЛР гіпотетично можливе за таких умов [7]:

1) наявності гіпотетичної композиції в скупченні ПММ, в якій можливе виникнення СЛР в разі наявності й розподілу по об'єму цієї композиції необхідної кількості води;

2) потрапляння й розподілу в цьому скупченні ПММ необхідної кількості води.

Оцінки ймовірності виникнення СЛР у [7] відсутні.

Припустимо консервативно, що умова 1 виконується. Оцінимо консервативно ймовірність zalivanja композиції необхідною кількістю води, враховуючи, що для виникнення СЛР потрібне утворення композицій розміром більше за 1,3 м [7].

У період 1998—2008 рр. за найбільшого добового випадіння дощу близько 10 мм помітного затоплення водою приміщень зі скупченнями ПММ не відбувалося.

Можна припустити, що для затоплення скупчення ПММ, більшого за 1,3 м, доbove надходження води має бути більшим, як мінімум, на порядок, тобто становити 100 мм.

Добовий максимум опадів з ймовірністю  $10^{-2} / \text{рік}$  дорівнює 105 мм [8], тобто  $W_{\text{ЦПП-4}} \approx 0,01 / \text{рік}$ . Тоді  $W_4^{\text{II}} \approx (0,01 \cdot 0,2) / \text{рік} = 2 \cdot 10^{-3} / \text{рік}$ .

Ефективну дозу потенційного опромінення на промайданчику оцінено меншою за 100 мЗв [7]. Категорія наслідків — С1П.

Підсумок оцінок вихідних значень ймовірностей КП і опромінення осіб, що працюють на промайданчику, наведено в табл. 2 Для кожної категорії наслідків оцінені ймовірності  $W_K^{\text{II}}$  поділені на референтні ймовірності  $W_P^{\text{II}}$  [див. формулу (1)].

Таблиця 2. Оцінки вихідних значень показників потенційних радіаційних впливів для персоналу, що працює на промайданчику

Категорія наслідків	$W_P^{\text{II}}, \text{рік}^{-1}$	$W_K^{\text{II}} / W_P^{\text{II}}$			Сумарна величина $W^{\text{II}} / W_P^{\text{II}}$
		Обрушення	Пожежа	СЛР	
С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	2,6	0,1	0,2	2,9
С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	160	5	—	165

В аналогічний спосіб виконано оцінки вихідних значень потенційного опромінення особи, що працює в приміщеннях ОУ. При цьому консервативно припускалося, що протягом року така особа з 1700 год робочого часу 450 год перебуває на промайданчику (переміщення через санпропускник, на маршрут доступу тощо), 50 год — у приміщеннях, що не обслуговуються, 600 год — у приміщеннях, що періодично обслуговуються, 600 год — у приміщеннях постійного перебування.

Оцінки величин  $W_K^{\text{II}}$  і категорій наслідків для цього персоналу виконувалися так само, за винятком окремих особливостей опромінення персоналу в необслуговуваних приміщеннях. Детальні оцінки наведено в [2].

Підсумок оцінок вихідних значень ймовірностей КП та опромінення осіб, що працюють у приміщеннях ОУ, наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Оцінки вихідних значень показників потенційних радіаційних впливів для персоналу, що працює в приміщеннях ОУ

Категорія наслідків	$W_P^{\text{II}}, \text{рік}^{-1}$	$W_K^{\text{II}} / W_P^{\text{II}}$			Сумарна величина $W^{\text{II}} / W_P^{\text{II}}$
		Обрушення	Пожежа	СЛР	
С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	2,4	0,2	0,2	2,8
С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	165	8,5	0,3	174

За результатами наведеного аналізу можна констатувати, що для персоналу:

1) безпека, пов'язана з можливим обрушенням ЛС ОУ, є найбільшою — перевищення референтного показника в 165 разів;

2) безпека, пов'язана з великою пожежею на ОУ, також досить велика — перевищення референтного показника орієнтовно у 8 разів. Консервативні оцінки безпеки пожежі є орієнтовними. Потрібно виконати окремий детальний аналіз безпеки виникнення пожежі в зонах та приміщеннях, що не обслуговуються (особливо в підпокрівельному просторі).

Небезпека для персоналу, працюючого в приміщеннях ОУ, дещо більша, ніж для працюючого на промайданчику.

Нижче проаналізовано безпеки для персоналу, який працює в приміщеннях ОУ. Зниження цих небезпек є однією з основних завдань проектів, що реалізуються на ОУ в рамках ПЗЗ.

### Проекти підвищення безпеки ОУ в контексті зменшення потенційних радіаційних впливів

Коротко охарактеризуємо основні проекти з підвищення безпеки ОУ.

**Стабілізація ЛС (СТАБ).** Зниження ймовірностей КП з обрушенням конструкцій ЛС ОУ та викиду радіоактивного пилу в атмосферу. Завершено в 2008 р.

**Модернізація системи пилопригнічення (МСПП).** Зменшення забруднення повітря під час аварії внаслідок створення в підпокрівельному просторі ОУ захисної плівки. Впливає на зменшення доз потенційного опромінення персоналу та населення в разі реалізації КП з обрушенням конструкцій ЛС ОУ, ймовірності КП з виникненням СЛР (превентивне введення нейтронно-поглинаючих розчинів). Завершено в 2004 р.

**Інтегрована автоматизована система контролю (ІАСК).** Зменшення ймовірності КП з обрушенням конструкцій ЛС ОУ та виникнення СЛР (превентивні заходи в разі виявлення порушень контрольних рівнів стану ЛС ОУ або скупчення ПММ), потенційного опромінення персоналу (своєчасна сигналізація й аварійні дії). Планується завершити в 2013 р.

**Система протипожежного захисту (СППЗ).** Зменшення ймовірностей КП з виникненням пожежі в приміщеннях деараторної етажерки, доз потенційного опромінення персоналу в разі реалізації цієї КП (своєчасна сигналізація та аварійні дії). Завершено в 2012 р.

*Система поводження з рідкими РАВ (СПРРВ).* Суттєво не впливає на зменшення потенційних радіаційних впливів. Реалізація проекту не розпочата.

*Новий безпечний конфайнмент (НБК).* Має забезпечувати: довготривалу (не менше 100 років) надійну ізоляцію РАВ ОУ, зокрема за екстремальних зовнішніх подій;

демонтаж нестабільних конструкцій наявного ОУ;

підтримку безпечного стану РАВ під час довгострокового зберігання (підкритичність ПММ, обмеження утворення та розповсюдження пилу, запобігання потраплянню води, необхідний температурно-вологісний режим);

підтримку безпечного стану горючих та вибухонебезпечних матеріалів ОУ;

контроль джерел ядерної, радіаційної та інших видів небезпек;

умови для безпечної роботи персоналу під час експлуатації НБК;

фізичний захист ядерних та радіоактивних матеріалів;

вилучення в майбутньому ПММ та інших РАВ (на рівні концепції).

Впливає на зменшення ймовірностей КП з обрушенням ЛС ОУ, СЛР і доз потенційного опромінення персоналу та населення внаслідок КП. Завершити створення першого пускового комплексу НБК планується в 2016 р.

Таким чином, внаслідок реалізації зазначених проектів потенційний радіаційний вплив на персонал зменшується.

#### **Оцінка показників потенційних радіаційних впливів на персонал після реалізації проектів**

Проаналізуємо вплив проектів на зменшення ймовірностей та/або наслідків КП від окремих ЦПП-К для осіб з персоналу.

*ЦПП-1. Обрушення покрівлі та інших конструкцій ЛС ОУ.* Реалізація проекту СТАБ зменшила ймовірності [9, 10] обрушення конструкцій покрівлі: при землетрусі — з 0,16/рік до  $1 \cdot 10^{-3}$ /рік, при сильному вітрі — з 0,13/рік до  $4 \cdot 10^{-4}$ /рік. Радіаційні наслідки в разі обрушення не змінюються. Виконавши оцінки аналогічно наведеним вище, маємо: для С1П —  $W_1^H = 7,4 \cdot 10^{-5}$ /рік; С2П —  $W_1^H = 2,0 \cdot 10^{-4}$ /рік.

Реалізація проекту МСПП не змінює ймовірності обрушення конструкції ЛС ОУ. Наслідки обрушення зменшилися завдяки наявності в підпокрівельному просторі захисної плівки, яка в разі падіння конструкцій частково зменшить пілоздімання.

Припустимо консервативно, що пілоздімання зменшено не більше ніж удвічі, тоді оцінена максимальна ефективна доза опромінення 1500 мЗв (див. вище) без ЗІЗОД зменшиться до 750 мЗв. Із застосуванням ЗІЗОД ця доза може бути меншою за 100 мЗв. Якщо у 50 % випадків доза менша за 100 мЗв, а в інших 50 % більша, наслідки частково можна вважати такими, що відносяться до С1П, а частково — до С2П.

Враховуючи проекти СТАБ та МСПП, маємо: для С1П —  $W_1^H = 1,7 \cdot 10^{-4}$ /рік; С2П —  $W_1^H = 1,0 \cdot 10^{-4}$ /рік.

*ЦПП-2. Обрушення внутрішніх конструкцій ОУ.* Реалізовані проекти СТАБ та МСПП суттєво не впливають ні на ймовірність, ні на наслідки ЦПП-2.

Згідно з [7] вважається, що характеристики міцності залізобетонних конструкцій, які перебували під час аварії під впливом високої температури розплаву ПММ, суттєво погіршилися. Припустимо, що конструкції в окремих приміщеннях із скупченнями ПММ обрушаться під час про-

ектного землетрусу в 5 балів, ймовірність якого  $10^{-2}$ /рік. Наслідки можна віднести до С1П, оскільки за наявності покрівлі викид буде суттєво меншим, ніж під час її обрушення. Тоді маємо: для С1П —  $W_2^H \approx 2,0 \cdot 10^{-3}$ /рік; С2П —  $W_2^H \approx 5,7 \cdot 10^{-5}$ /рік.

*ЦПП-3. Пожежа.* Реалізація проектів стабілізації та МСПП суттєво не впливає ні на ймовірність, ні на наслідки ЦПП-3. Оцінки цього ЦПП: для С1П, С2П —  $W_3^H \approx 1,7 \cdot 10^{-3}$ /рік.

*ЦПП-4. Самопідтримна ланцюгова реакція поділу.* Ремонт легкої покрівлі ОУ мав суттєво зменшити небезпеку заливання водою ядерно-небезпечних скупчень ПММ. Вище консервативно припускалося, що ймовірність виникнення СЛР дорівнює ймовірності виникнення опадів у 100 мм/добу. Такі опади відбуваються раз на 100 років, а опади в 190 мм/добу — раз на 10000 років [8]. Вважаючи, що ремонт легкої покрівлі зменшив небезпеку заливання ПММ водою вдвічі (тобто під час опадів не в 100, а в 200 мм/добу), ймовірність ЦПП зменшується до  $10^{-4}$ /рік. Зважаючи на орієнтовний характер оцінок консервативно припустимо, що ймовірність ЦПП зменшилася до  $10^{-3}$ /рік.

Проект МСПП забезпечив додаткові можливості введення нейтронно-поглинаючих розчинів. Наскільки це зменшує ймовірність СЛР, оцінити кількісно неможливо.

Тоді, з урахуванням реалізованих проектів, консервативно маємо: для С1П —  $W_4^H \approx 1,9 \cdot 10^{-4}$ /рік; С2П —  $W_4^H \approx 5,7 \cdot 10^{-6}$ /рік.

Оцінки впливів на персонал інших проектів на зменшення ймовірності та/або наслідків КП виконано за таких припущень.

ІАСК не впливає на зменшення ймовірностей КП внаслідок ЦПП-1, ЦПП-2 та ЦПП-3. Ймовірності ЦПП-4 (СЛР) можуть бути зменшені завдяки своєчасному виявленню погіршення стану ПММ і відповідному введенню нейтронно-поглинаючих розчинів. Припускалося зменшення ймовірностей на 50 %.

Системи контролю стану будівельних конструкцій, сейсмічного контролю забезпечують попередження про погіршення стану ЛС ОУ. Це дасть змогу своєчасно оголосити аварійну готовність (отже, персонал з приміщень ОУ буде своєчасно евакуйований, персонал ДСП ЧАЕС своєчасно застосує ЗІЗОД тощо). Система контролю ядерної безпеки забезпечує попередження про зміни стану ПММ (показання датчиків контролю випромінювання змінюються і в разі зміни геометрії скупчень ПММ). Аналогічно за результатами даних системи радіаційного контролю можуть бути своєчасно реалізовані заходи аварійної готовності.

Припускалося, що в 50 % випадків заходи аварійної готовності під час ЦПП-1, ЦПП-2 та ЦПП-4 знизять наслідки з категорії С2П до С1П (це залежить від сценарію — буде чи ні передувати обрушенню «проміжний» стан конструкцій, за якого деформації конструкцій перевищили допустимі, але конструкції ще не обрушилися).

Ефективність ІАСК для зменшення наслідків ЦПП-3 (пожежа) невелика. Припускалося, що в 25 % випадків категорія наслідків зменшиться від С2П до С1П.

Проект СППЗ реалізовано у деаераторній етажерці ОУ. Він не впливає ні на ймовірності, ні на наслідки ЦПП-1, ЦПП-2 та ЦПП-4. Ймовірність виникнення пожежі (ЦПП-3) в деаераторній етажерці зменшується до незначної величини, а в інших складових ОУ не зменшується.

Після створення НБК та демонтажу нестабільної верхньої частини ОУ ЦПП-1 буде практично усунено. Проект НБК не впливає на зменшення ймовірності ЦПП-2, оскільки

Таблиця 4. Оцінки показників зменшення потенційних радіаційних впливів на персонал

Проект	Категорія наслідків	$W_p, \text{рік}^{-1}$	$W_K^{\text{II}} / W_p^{\text{II}}$				$W^{\text{II}} / W_p^{\text{II}}$
			Обрушення конструкцій ЛС ОУ	Обрушення внутрішніх конструкцій	Пожежа	СЛР	
Початковий стан	С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	2,4		0,2	0,2	2,8
	С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	165		8,5	0,3	174
СТАБ	С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	0,01	0,2	0,2	0,02	0,73
	С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	1,0	0,28	8,5	0,03	9,8
МСПП	С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	0,02	0,2	0,2	0,02	0,44
	С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	0,5	0,28	8,5	0,03	9,3
ІАСК	С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	0,02	0,2	0,2	0,01	0,43
	С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	0,02	0,14	6,5	0,01	6,70
СППЗ	С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	0,02	0,2	0,07	0,01	0,3
	С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	0,02	0,14	3,8	0,01	4,0
НБК	С1П	$1 \cdot 10^{-2}$	—*	0,2	0,2	—*	0,4
	С2П	$2 \cdot 10^{-4}$	—*	0,14	—*	—*	0,14

\* Показник  $W_K^{\text{II}} / W_p^{\text{II}}$  має нехтувано мале значення.

обрушення є найімовірнішим під час землетрусу. В довгостроковій перспективі після вилучення ПММ імовірності й наслідки ЦПП-2 знижуються. Проект НБК не впливає на ймовірність виникнення пожежі в приміщеннях, що не обслуговуються, і в підпокрівельному просторі ОУ. Імовірність ЦПП-4 буде незначною, оскільки існують перепона потраплянню значних обсягів води до скупчень ПММ. Згідно з проектними критеріями для НБК наслідки для персоналу мають не перевищувати категорію С1П.

Підсумкові дані з урахуванням усіх основних проектів наведено в табл. 4. Оцінено сумарні величини  $W^{\text{II}} / W_p^{\text{II}}$  для кожного проекту, враховуючи зменшення  $W_K^{\text{II}}$  завдяки реалізації попередніх проектів.

Внаслідок реалізації проектів СТАБ та МСПП для персоналу:

небезпека, пов'язана з можливим обрушенням конструкцій ЛС ОУ, зменшилася нижче референтних значень;

небезпека, пов'язана з можливим обрушенням внутрішніх конструкцій (що не усувалася цими проектами), стала порівняно з небезпекою обрушення конструкцій ЛС ОУ;

найбільша небезпека пов'язана з можливою великою пожежею в підпокрівельному просторі ОУ. За консервативними оцінками, ця небезпека може перевищувати референтні значення (у 8 разів орієнтовно).

Реалізація проектів ІАСК та СППЗ призведе до зменшення показника  $W^{\text{II}} / W_p^{\text{II}}$  орієнтовно в 2,5 раза: з 9,8 (по завершенні проекту СТАБ та МСПП) до 4,0.

Реалізація проекту НБК забезпечить зменшення  $W^{\text{II}} / W_p^{\text{II}}$  орієнтовно до 0,4, тобто референтні значення будуть досягнуті та зменшені (без урахування КП, зумовлених роботами в НБК та відмовами компонентів НБК).

Після реалізації проектів ПЗЗ практично усувається небезпека обрушення конструкцій ЛС ОУ та СЛР; за орієнтовними оцінками основні небезпеки зумовлю-

ються обрушенням внутрішніх конструкцій ОУ та пожежею в приміщеннях і зонах ОУ, що не обслуговуються (особливо в місцях знаходження ПММ).

## Висновки

На 1998 р. ризики потенційного опромінення персоналу перевищували допустимі (референтні) значення приблизно у 170 разів, в основному через небезпеку обрушення конструкцій ЛС ОУ. Після реалізації проекту стабілізації показник  $W_K^{\text{II}} / W_p^{\text{II}}$  зменшився орієнтовно до 9. За консервативними оцінками основний внесок в цей показник вносить небезпека великої пожежі в приміщеннях та зонах з високими рівнями забруднення (особливо в підпокрівельному просторі ОУ).

Зменшення ризику потенційного опромінення персоналу орієнтовно оцінюється при реалізації проектів:

ІАСК — до 7 (завдяки оперативному оповіщенню про погіршення радіаційного стану). Під час пожежі таке погіршення очікується в період розвитку (не початку) пожежі, і ефективність ІАСК може бути невисокою;

СППЗ — до 4. Основний внесок залишається від небезпеки пожежі, оскільки СППЗ створюється тільки в приміщеннях деаераторної етажерки, не охоплюючи приміщень та зон блока Б з високим забрудненням та скупченнями ПММ. Зазначимо, що метою СППЗ є пожежна безпека, а зменшення радіаційного впливу внаслідок пожежі є тільки окремим завданням СППЗ.

Реалізація проекту НБК забезпечить після демонтажу нестабільних конструкцій зниження ризику потенційного опромінення персоналу орієнтовно до 0,4.

Основними небезпеками при цьому залишаються:

обрушення внутрішніх конструкцій ОУ, на яких є скупчення ПММ (або які можуть впасти на ці скупчення);

пожежа в приміщеннях та зонах, що не обслуговуються, з високим рівнем забруднення та скупченнями ПММ.

Проекти, що реалізуються на ОУ, суттєво не впливають на ймовірності перелічених подій. Проект НБК забезпечить зменшення їх наслідків.

Виконані в рамках даного дослідження потенційних радіаційних впливів на персонал оцінки рівня небезпеки, що кардинально знизиться після вилучення ПММ, досить консервативні та орієнтовні.

### Список використаної літератури

1. Інтегральний аналіз підвищення безпеки об'єкта «Укриття» Чорнобильської АЕС: зменшення поточних радіаційних впливів / В. М. Домніков, О. О. Кіліна, Т. П. Кілочицька, С. М. Кондратьєв, Л. Ф. Кутіна, В. Д. Склярєнко, Т. В. Сушко // Ядерна та радіаційна безпека. — 2012. — № 4(56). — С. 44—47.
2. Інтегральний аналіз ефективності реалізації проектів на об'єкті «Укриття» ДСП «Чорнобильська АЕС» в контексті перетворення цього об'єкта на екологічно безпечну систему. Виконання інтегрального аналізу ефективності реалізації проектів на ОУ у контексті перетворення цього об'єкта на ЕБС: Звіт про науково-дослідну роботу / ДНТЦ ЯРБ. — К., 2009. — 85 с.
3. Стратегія перетворення об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2001.
4. Норми радіаційної безпеки України. Державні гігієнічні нормативи (НРБУ-97). — К.: МОЗ, 1997. — 127 с.
5. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). — К.: МОЗ, 2000. — 80 с.
6. Проектні критерії обмеження потенційного опромінення для нового безпечного конфайнменту / ДСП ЧАЕС. — 2005.
7. Звіт про стан безпеки об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2008.
8. Документ з безпеки в рамках концепції проекту першого пускового комплексу Нового безпечного конфайнменту / ДСП ЧАЕС. — 2008.
9. Робочий проект зі стабілізаційних заходів / ДСП ЧАЕС. — 2003.
10. Підсумковий виконавчий звіт зі стабілізаційних заходів (Звіт з оцінки безпеки) / ДСП ЧАЕС. — 2009.
11. Робочий проект модернізованої системи пилопригнічення / ДСП ЧАЕС. — 2008.
12. Проектна документація інтегрованої автоматизованої системи контролю об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2005.
13. Робочий проект системи протипожежного захисту об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2007.
14. Проектна документація «Інтегрованої бази даних об'єкта «Укриття»» / ДСП ЧАЕС. — 2006.
15. Стратегія вилучення ПММ та поводження з РАВ / ДСП ЧАЕС. — 2005.
16. Технологічний регламент об'єкта «Укриття реактора блока № 4 Чорнобильської АЕС» / ДСП ЧАЕС. — 2012.
17. Звіти про стан безпеки об'єкта «Укриття» (щорічний) за 1998—2008 рік / ДСП ЧАЕС. — 1999—2009.

Отримано 24.12.2012.