

УДК 621.039:504.06

В. М. Домніков¹, О. О. Кіліна¹,
Т. П. Кілочичька², С. М. Кондратьєв¹,
Л. Ф. Кутіна¹, В. Д. Скляренко¹, Т. В. Сушко²

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

²Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ

Інтегральний аналіз підвищення безпеки об'єкта «Укриття» Чорнобильської АЕС: зменшення поточних радіаційних впливів

Виконано інтегральний аналіз підвищення безпеки об'єкта «Укриття» Чорнобильської АЕС внаслідок реалізації на ньому відповідних проектів. Проаналізовано зменшення поточних радіаційних впливів: колективної дози персоналу, викидів, скидів.

Ключові слова: радіаційні впливи, дози, викид, скид.

В. Н. Домников, Е. А. Килина, Т. П. Килоичья, С. Н. Кондратьев,
Л. Ф. Кутина, В. Д. Скляренко, Т. В. Сушко

Интегральный анализ повышения безопасности объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС: уменьшение текущих радиационных воздействий

Выполнен интегральный анализ повышения безопасности объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС в результате реализации на нем соответствующих проектов. Проанализировано уменьшение текущих радиационных воздействий: коллективной дозы персонала, выбросов, сбросов.

Ключевые слова: радиационные воздействия, дозы, выброс, сброс.

© В. М. Домніков, О. О. Кіліна, Т. П. Кілочичька, С. М. Кондратьєв,
Л. Ф. Кутіна, В. Д. Скляренко, Т. В. Сушко, 2012

На Чорнобильській АЕС реалізуються різноманітні проекти, спрямовані на підвищення безпеки об'єкта «Укриття» (ОУ), переважна більшість яких — в рамках міжнародного Плану здійснення заходів (ПЗЗ) на ОУ.

ПЗЗ переслідує п'ять основних цілей: зменшення ризику руйнування локалізуючої споруди (ЛС) ОУ;

послаблення наслідків руйнування ЛС ОУ, якщо таке станеться;

підвищення ядерної безпеки ОУ;

підвищення безпеки персоналу ОУ і захисту довкілля;

розробку довгострокової стратегії щодо ОУ.

Виконання ПЗЗ розпочалося в 1997 р. На цей час значна частина проектів і завдань вже реалізована, накопичено значний досвід практичної діяльності на ОУ.

Метою цієї статті є виконання інтегрального аналізу підвищення безпеки ОУ в контексті зменшення поточних радіаційних впливів. Оцінка ефективності підвищення безпеки ОУ внаслідок реалізації проектів на ОУ на основі значного накопиченого досвіду спрямована на визначення потреб подальшого підвищення безпеки ОУ в контексті поступового досягнення цілей безпеки.

Детально інтегральний аналіз підвищення безпеки ОУ викладено в [1].

Цілі, критерії та показники безпеки ОУ

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, в тому числі 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.

Загальну мету безпеки розкривають цілі радіаційного захисту та технічної безпеки.

Узагальнені критерії досягнення загальної мети та відповідних цілей безпеки сформульовано в [2].

Загальна мета безпеки буде досягнутою, якщо величина та ймовірність радіаційного впливу ядерних і радіоактивних матеріалів, котрі на даний час є в ОУ, на персонал, населення та довкілля знизитимуться до рівнів, які можуть бути розумно досягнуті з урахуванням економічних і соціальних факторів й вважатимуться прийнятними у тривалій перспективі.

Мета радіаційного захисту вважатиметься досягнутою, якщо:

поточне опромінення персоналу та населення не перевищує та є, наскільки це можливо й досяжно, нижчим за встановлені НРБУ-97 [3] ліміти дози і квоти;

пов'язана з потенційним опроміненням шкода, виражена в одиницях узагальненого ризику, не перевищує та є, наскільки це можливо й досяжно, нижчою за встановлені НРБУ-97/Д-2000 [4] рівні референтних ризиків.

Мета технічної безпеки вважатиметься досягнутою, якщо:

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

заходи для попередження, керування аваріями та послаблення їх вживатимуться так, щоб імовірність і масштаби аварій були дуже малими та щоб жодний зі шляхів

розвитку аварії не вносив непропорційно великого внеску в підсумковий ризик.

Загальна мета та цілі безпеки досягаються поетапно:

на етапі 1 має бути досягнута переважно ціль технічної безпеки у найближчій перспективі;

на етапі 2 має бути забезпечена протягом 100 років безпека персоналу, населення та довкілля від впливів осередків ядерної та радіаційної небезпеки;

на етапі 3 вилученням паливомістких матеріалів (ПММ) як головних осередків ядерної та радіологічної небезпеки та інших радіоактивних відходів (РАВ), подальшим поводженням з ними до захоронення має бути забезпечено досягнення загальної мети безпеки (якщо не запропоновані альтернативні шляхи досягнення цієї мети).

Ступінь досягнення цілей безпеки ОУ щодо зменшення поточних радіаційних впливів оцінюється за такими показниками:

показником зменшення до розумно досяжних рівнів доз поточного опромінення персоналу

$$\frac{D}{D_0} \rightarrow < 1, \quad (1)$$

де D_0 та D — колективні дози персоналу за рік, відповідно, до та після реалізації певного проекту з підвищення безпеки ОУ;

показниками розумно досяжного зменшення викидів та скидів з ОУ:

$$\frac{B}{B_0} \rightarrow < 1, \quad (2)$$

де B_0 та B — викид за рік, відповідно, до та після реалізації певного проекту;

$$\frac{C}{C_0} \rightarrow < 1, \quad (3)$$

де C_0 та C — скид за рік, відповідно, до та після реалізації певного проекту.

Під час виконання інтегрального аналізу зменшення радіаційних поточних впливів за основні використовувалися документи, в яких найбільш повно систематизовано та узагальнено інформацію про стан безпеки ОУ та про проекти щодо підвищення безпеки ОУ [5–16].

Оцінки вихідних значень показників щодо поточних радіаційних впливів

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

Колективну дозу експлуатаційного персоналу в 1998 р. оцінено в 4251 люд.мЗв [5].

Викид з ОУ в 1998 р. оцінено в $7,7 \cdot 10^8$ Бк/рік [6]. Оцінки абсолютних величин викиду є орієнтовними, проте, застосовуючи однакові методи оцінки викиду і порівнюючи його відносні величини, отримуємо значно достовірніший результат, хоча на сьогодні достовірність оцінити дуже складно.

Скид з ОУ в основному пов'язаний з активністю «неорганізованих» вод ОУ (що утворилися внаслідок потрапляння в ОУ атмосферних опадів та конденсації).

Забруднена вода, що містить основну активність, спрямовується для подальшого поводження на блок № 3 ДСП ЧАЕС.

Можливо потрапляння забруднених вод з приміщень на нижніх відмітках ОУ до гідрогеологічного середовища, однак на сьогодні відсутні вагомі аргументи, які би підтверджували чи не підтверджували потрапляння води з ОУ до оточуючого середовища таким шляхом.

Проекти підвищення безпеки ОУ в контексті зменшення поточних радіаційних впливів

Стисло охарактеризуємо основні проекти з підвищення безпеки ОУ.

Стабілізація ЛС ОУ (СТАБ). В частині зменшення поточних радіаційних впливів ремонт легкої покрівлі ОУ впливає на зменшення скиду; підсилення північних «щитів-ключок» та північної контрфорсної стіни впливає на зменшення викиду. Завершено в 2008 р.

Модернізація системи пилопригнічення (МСПП). В частині зменшення поточних радіаційних впливів забезпечує зменшення забруднення повітря в процесі поточної експлуатації завдяки створенню в підпокрівельному просторі ОУ захисної плівки. Впливає на зменшення колективної дози, викиду. Завершено в 2004 р.

Інтегрована автоматизована система контролю (ІАСК). Впливає на зменшення поточних радіаційних впливів опосередковано завдяки системі радіаційного контролю. Планується прийняти в промислову експлуатацію 2013 р.

Система протипожежного захисту (СППЗ). Не впливає на зменшення поточних радіаційних впливів. Завершено в 2012 р.

Система поводження з рідкими РАВ (СПРРВ). Має забезпечувати: контроль та характеристикацію води та експлуатаційних РРВ ОУ; вилучення води з приміщень ОУ; інтегроване поводження з РРВ ОУ та НБК. Потрібна як захід щодо підвищення безпеки ОУ для зменшення ризиків впливу небезпечних факторів води. Впливає на зменшення скиду. Проект не розпочатий.

Новий безпечний конфайнмент (НБК). Має забезпечувати: довготривалу (не менше ніж 100 років) надійну ізоляцію РАВ ОУ; демонтаж нестабільних конструкцій наявного ОУ; підтримку в безпечному стані РАВ під час довгострокового зберігання (підкритичність ПММ, обмеження утворення та розповсюдження пилу, запобігання потраплянню води, необхідний температурно-вологісний режим); підтримку в безпечному стані 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; врахування питань майбутнього вилучення ПММ та інших РАВ (на рівні концепції). Впливає на зменшення поточних радіаційних впливів: викиду, скиду. Планується завершити створення ПК-1 НБК у 2015 р.

Оцінка показників зменшення поточних радіаційних впливів

Показник зменшення колективної дози поточного опромінення персоналу (D/D_0). Виходячи з динаміки співвідношення D/D_0 за 1998–2008 рр. (рис. 1), колективна доза

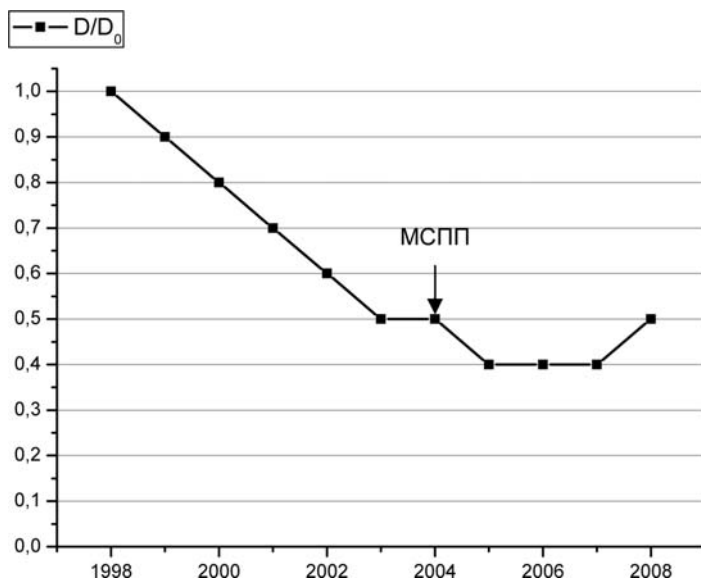


Рис. 1. Динаміка колективної дози поточного опромінення персоналу ОУ (показник D/D_0)

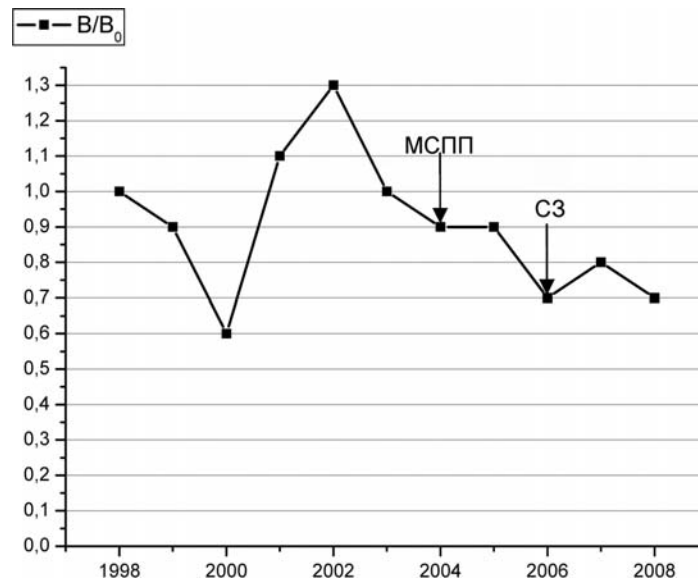


Рис. 2. Динаміка викиду (показник B/B_0)

поточного опромінення персоналу на ОУ поступово зменшується.

На рис. 1 відмічені терміни завершення проекту МСПП з подальшим періодичним виконанням сеансів нанесення захисної плівки в підпокрівельному просторі ОУ. Конкретний внесок МСПП у зменшення D/D_0 визначити неможливо. Але він оцінюється невеликим, оскільки реалізація МСПП призведе до зменшення внутрішнього опромінення персоналу, внесок якого в загальну дозу опромінення є нижчим за 10 %.

Також зазначимо, що стабілізаційні й інші роботи в рамках ПЗЗ призводили до збільшення забруднення повітря, отже ефект від застосування МСПП зменшувався. Крім того, експлуатаційний персонал ОУ частково бере участь і в реалізації проектів ПЗЗ (радіаційний контроль, різні допоміжні роботи з боку ДСП ЧАЕС), що додає внесок в колективну дозу.

Показник зменшення колективної дози поточного опромінення персоналу ОУ оцінюється $D/D_0 = 0,4$. Зменшення зумовлено сукупністю організаційно-технічних заходів на ОУ.

Інші проекти, крім МСПП, що виконуються або заплановані, не впливають безпосередньо на зменшення колективної дози персоналу ОУ. Після завершення проекту НБК розпочнуться роботи з демонтажу нестабільних конструкцій, і порівняння наявних регламентних робіт на ОУ з майбутніми є некоректним.

Показник зменшення викиду B/B_0 . Динаміка співвідношення B/B_0 за 1998—2008 рр. показана на рис. 2. На ньому ж відмічені терміни завершення проекту МСПП з подальшим періодичним нанесенням захисної плівки та заходу стабілізації, що впливає на викид (див. вище).

Значного зменшення викиду не спостерігається. Проте в період після введення в експлуатацію МСПП (2004 р.), протягом якого періодично наносилася захисна плівка в підпокрівельному просторі, спостерігається систематичне поступове зменшення викиду.

У 2008 р. $B/B_0 = 0,7$.

Внаслідок підсилення північних «щитів-ключок» та північної контрфорсної стіни в 2006 р. закрито отвір площею близько 20 м^2 . ДСП ЧАЕС в оцінках викиду за 2007

та 2008 рр. не враховує зменшення площі отворів (продовжує використовувати значення загальної площі отворів 120 м^2). Таким чином, виконання даного заходу повинно було би зменшити викид на приблизно 0,83.

Показник зменшення викиду оцінюється $B/B_0 \approx 0,7 \cdot 0,87 \approx 0,6$.

На викид впливає реалізація проекту НБК. Порівнювати викид після реалізації цього проекту з наявним викидом некоректно, оскільки під НБК виконуватимуться демонтаж нестабільних конструкцій та інші роботи з перетворення ОУ.

Показник зменшення скиду C/C_0 . Ремонт легкої покрівлі мав привести до зменшення потрапляння води на нижні відмітки блока Б і, відповідно, її перетікання на блок № 3. Однак відповідні дані по динаміці цього процесу відсутні. Важливо проаналізувати зміни об'ємів накопичення води на нижніх відмітках блока Б і перетікання води на блок № 3 після ремонту легкої покрівлі.

Орієнтовно можна оцінити відносне зменшення води так.

Згідно з оцінкою водного балансу [6] внесок до надходження води в ОУ (за винятком машзалу) атмосферних опадів орієнтовно оцінено в $1700 \text{ м}^3/\text{рік}$, а конденсату — в $340 \text{ м}^3/\text{рік}$. Припустимо, що внаслідок ремонту легкої покрівлі й організації з неї водовідведення показник атмосферних опадів зменшиться приблизно в 2 рази ($0,5 \cdot 1700 \text{ м}^3/\text{рік}$). Тоді показник зменшення надходження води до ОУ орієнтовно оцінюється в 0,6. Логічно припустити, що й об'єм води, яка протікає на блок № 3 ДСП ЧАЕС, зменшиться на 0,6.

Показник зменшення скиду «неорганізованих» забруднених вод з ОУ орієнтовно оцінюється $C/C_0 \approx 0,6$.

Залишається відкритим питання скиду з нижніх відміток ОУ в навколишнє гідрогеологічне середовище.

На скид також впливають проекти СПРРВ та НБК.

Реалізація СПРРВ: ліквідує (або суттєво зменшить) потенційну небезпеку скиду з нижніх відміток ОУ в гідрогеологічне середовище; не змінить суттєво співвідношення C/C_0 щодо «неорганізованих» вод, оскільки ці води так, як і зараз, спрямовуватимуться в систему переробки РАВ ДСП ЧАЕС (тільки іншим шляхом); можливо, забезпечить

більш оптимальне поводження з «забрудненими» водами (в цьому аспекті реалізація СПРРВ доцільна).

Реалізація НБК: ліквідує (або суттєво зменшить) потенційну небезпеку скиду з нижніх відміток ОУ в геологічне середовище; суттєво зменшить співвідношення C/C_0 щодо «неорганізованих» вод, оскільки потрапляння атмосферних опадів в ОУ припиниться. Припускаючи, що об'єм конденсації в ОУ під НБК не зміниться, орієнтовно прогнозоване $C/C_0 \approx 340/(1700 + 340) \approx 0,2$. Об'єм конденсації може змінитися залежно від проектних температурно-вологісних умов всередині НБК.

Висновки

1. Із 1998 по 2008 рр. колективна доза поточного опромінення персоналу ОУ поступово зменшувалася (показник D/D_0 зменшився від 1 до 0,4), що є результатом сукупності організаційно-технічних заходів і суттєво не пов'язано з реалізацією на ОУ проектів стабілізації та МСПП; проекти ІАСК, СППЗ та НБК також суттєво не впливають на колективну дозу опромінення персоналу ОУ.

2. Із 1998 по 2008 рр. фактичний викид з ОУ зменшився до 0,7 (беручи до уваги закриття отворів в південній частині покрівлі, близько 20 м², під час виконання проекту стабілізації, — до 0,6). Зменшення викиду співвідноситься із заходами щодо створення захисної плівки в підпокрівельному просторі.

Проекти ІАСК та СППЗ суттєво не впливають на зменшення викиду.

Викид з НБК некоректно порівнювати з викидом із наявного ОУ, оскільки під НБК проводяться роботи з демонтажу нестабільних конструкцій, вилучення ПММ тощо. Проект НБК має забезпечити неперевищення допустимого викиду під час таких робіт, небезпечних з огляду на забруднення повітря.

3. Не виключено потрапляння забрудненої води з приміщень на нижніх відмітках ОУ до гідрогеологічного середовища (це не доведено, але й не спростовано).

Внаслідок виконаного в рамках проекту стабілізації ремонту легкої покрівлі та організації водовідведення, зменшення надходження води в ОУ (за винятком машзалу) і, відповідно, перетікання на блок № 3 орієнтовно оцінюється в 0,6.

Проекти МСПП, ІАСК та СППЗ суттєво не впливають на зменшення скиду. Після реалізації проекту НБК утворення «неорганізованих» і забруднених вод буде пов'язано з процесом конденсації, інтенсивність якої залежатиме від температурно-вологісних умов під НБК (залежно від проектних рішень НБК). Якщо інтенсивність конденсації суттєво не зміниться, зменшення утворення «неорганізованих» забруднених вод орієнтовно можна оцінити в 0,2.

Система поводження з рідкими РАВ, створення якої передбачено ПЗЗ, суттєво не впливає на обсяги утворення «неорганізованих» забруднених вод. Але за її допомогою можна забезпечити оптимізацію та ефективне поводження з забрудненими «неорганізованими» та іншими рідкими РАВ ОУ. Ця система також необхідна для експлуатації НБК.

4. Наведені вище оцінки зроблено на основі наявного стану скупчень ПММ та інших радіоактивних матеріалів в ОУ. Погіршення цього стану (наприклад, деструкція ПММ, утворення додаткового радіоактивного пилу) призведе, відповідно, до збільшення рівнів опромінення персоналу і населення.

Важливими заходами є контроль фізичного стану ПММ та запобігання його погіршенню. Ці заходи і відповідний проект необхідно реалізувати в контексті безпеки довгострокового зберігання ПММ в неорганізованому стані в НБК (якщо не буде прийнято рішення щодо «раннього» вилучення ПММ). Також зазначимо, що вибір стратегії вилучення ПММ залежить від результатів контролю змін фізичного стану ПММ, тому забезпечення такого контролю потрібне вже на даному етапі перетворення ОУ.

Отже, проекти, що реалізовані, виконуються та заплановані, забезпечують достатньо суттєве підвищення рівня безпеки ОУ щодо зменшення поточних радіаційних впливів.

Список використаної літератури

1. 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.
2. Стратегія перетворення об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2001.
3. Норми радіаційної безпеки України. Державні гігієнічні нормативи (НРБУ-97). — К.: МОЗ, 1997. — 127 с.
4. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). — К.: МОЗ, 2000. — 80 с.
5. Документ з безпеки в рамках концепції проекту першого пускового комплексу Нового безпечного конфайнменту / ДСП ЧАЕС. — 2008.
6. Звіт про стан безпеки об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2008.
7. Робочий проект зі стабілізаційних заходів / ДСП ЧАЕС. — 2003.
8. Робочий проект модернізованої системи пилопригнічення / ДСП ЧАЕС. — 2008.
9. Проектна документація інтегрованої автоматизованої системи контролю об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2005.
10. Робочий проект системи протипожежного захисту об'єкта «Укриття» / ДСП ЧАЕС. — 2007.
11. Проектна документація «Інтегрованої бази даних об'єкта «Укриття»» / ДСП ЧАЕС. — 2006.
12. Стратегія вилучення ПММ та поводження з РАВ / ДСП ЧАЕС. — 2005.
13. Підсумковий виконавчий звіт зі стабілізаційних заходів (Звіт з оцінки безпеки) / ДСП ЧАЕС. — 2009.
14. Технологічний регламент об'єкта «Укриття реактора блока № 4 Чорнобильської АЕС» / ДСП ЧАЕС. — 2012.
15. Звіти про стан безпеки об'єкта «Укриття» (щорічний) за 1998—2008 рік / ДСП ЧАЕС. — 1999—2009.
16. Проектні критерії обмеження потенційного опромінення для нового безпечного конфайнменту / ДСП ЧАЕС. — 2005.

Отримано 02.10.2012.