

А. Бертольд², Є. В. Веселов¹, С. М. Кондратьєв¹, І. С. Кутіна¹, Л. Кюхлер²

¹ ДНТЦ ЯРБ, вул. Василя Стуса, 35-37, Київ, 03142, Україна

² Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)

ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ БЕЗПЕЧНИЙ СТАН ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» У СКЛАДІ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА

Представлено результати аналізів: граничних умов по поточних та потенційних небезпечних впливах об'єкта «Укриття» (викид радіоактивних речовин, вихід іонізуючого випромінювання, гіпотетичні аварійні події з виникненням критичності, обвалення конструкцій, пожежі тощо); факторів, що характеризують стан об'єкта «Укриття» і пов'язані з дотриманням граничних умов (утворення пилу при деградації паливовмісних матеріалів (ПВМ), погіршення стану конструкцій, динаміка змін температурно-вологісного режиму та скупчень води тощо). Указується на потребу проведення додаткових досліджень процесів деградації ПВМ, стану внутрішніх конструкцій об'єкта «Укриття», на яких знаходяться скупчення ПВМ, джерел пожежонебезпеки в зонах із високим рівнем радіаційного забруднення тощо.

Ключові слова: об'єкт «Укриття», новий безпечний конфайнмент, паливовмісні матеріали.

1. Властивості НБК у контексті граничних умов щодо поточних та потенційних впливів об'єкта «Укриття» на середовище в основному об'ємі НБК

Основна захисна споруда НБК (рис. 1) спроектована у вигляді «Арки» висотою 109, довжиною 262 та шириною 257 м. Несучі сталеві конструкції «Арки» знаходяться в кільцевому просторі між її зовнішньою та внутрішньою обшивками. Торцеві стіни знаходяться над конструкціями існуючих споруд об'єкта «Укриття» та 3-го блока ЧАЕС. З'єднання конструкцій «Арки» з конструкціями інших споруд виконується гнучкими мембранами.



Рис. 1. Новий безпечний конфайнмент.

Внутрішня обшивка «Арки», її торцеві стіни, мембрани та конструкції інших споруд створюють герметизований огорожуючий контур основної захисної споруди НБК. Простір всередині цього контура є основним об'ємом НБК. Об'єкт «Укриття» знаходиться в основному об'ємі НБК (рис. 2).

НБК спроектовано на основі граничних умов щодо поточних та потенційних впливів об'єкта «Укриття» на середовище в основному об'ємі НБК [1, 2]. При дотриманні цих граничних умов забезпечується:

захист навколишнього середовища, зокрема неперевищення допустимого викиду радіоактивних речовин за межі основної захисної споруди НБК;

захист персоналу, який працює в основному об'ємі НБК, зокрема неперевищення на робочих місцях допустимих рівнів радіаційного стану (забруднення повітря, потужності дози тощо).

© А. Бертольд, Є. В. Веселов, С. М. Кондратьєв, І. С. Кутіна, Л. Кюхлер, 2019

Враховуючи вищезазначене, у період експлуатації НБК безпека об'єкта «Укриття» має підтримуватися таким чином, щоб забезпечувалося неперевикнення проектних значень параметрів, що характеризують граничні умови щодо поточних та потенційних впливів об'єкта «Укриття» на середовище основного об'єму НБК.

Поточними впливами об'єкта «Укриття» є: викид радіоактивних речовин з об'єкта «Укриття» в повітря основного об'єму НБК; іонізуюче випромінювання на робочих місцях в основному об'ємі НБК; температурно-вологісний режим.

Потенційними впливами об'єкта «Укриття» є впливи при аварійних подіях, що в принципі можуть відбутися в ньому, включаючи такі події: утворення критичності; обвалення конструкцій; пожежа, вибух.

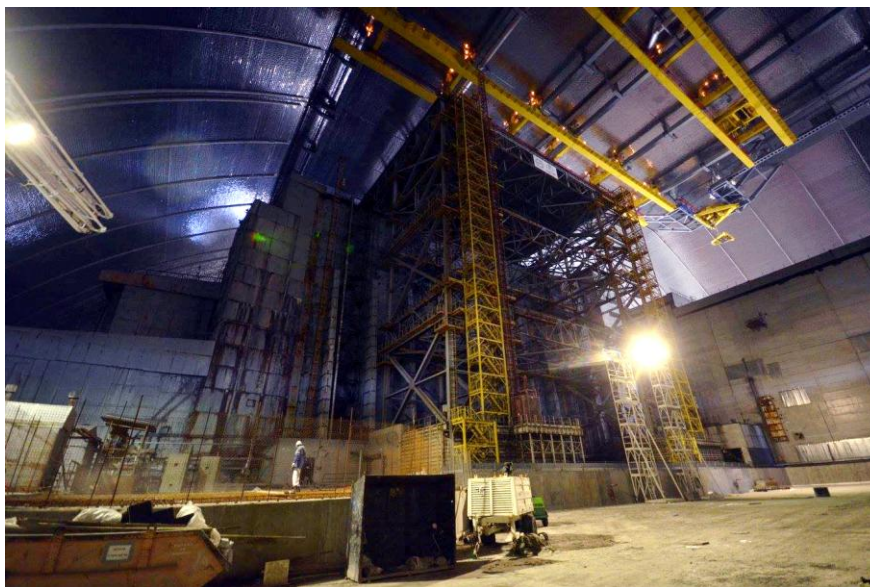


Рис. 2. Об'єкт «Укриття» після насування НБК.

1.1. Граничні умови поточних впливів об'єкта «Укриття» на середовище основного об'єму НБК

1.1.1. Викид радіоактивних речовин з об'єкта «Укриття»

Проектним параметром, що характеризує викид радіоактивних речовин з об'єкта «Укриття» в основний об'єм НБК, є об'ємна активність радіонуклідів у повітрі основного об'єму НБК. Проектне граничне значення середньомісячної об'ємної активності радіонуклідів 210 Бк/м^3 [1, 2].

Установлено вимогу: роботи на об'єкті «Укриття» мають бути спроектовані таким чином, щоб середньомісячна об'ємна активність аерозолів в основному об'ємі НБК не перевищувала 210 Бк/м^3 . Ця вимога відноситься до «активних» стадій перетворення об'єкта «Укриття», коли при роботах відбувається підймання пилу і аерозолів (зокрема, при демонтажі нестабільних конструкцій). При «подальших» станах об'єкта «Укриття» також необхідно підтримувати радіоактивні скупчення в ньому таким чином, щоб не перевищити вищевказаний критерій, і забруднення повітря в основному об'ємі НБК має бути мінімізоване.

Витяжна система вентиляції основного об'єму НБК включає п'ять витяжних установок. У нормальному режимі функціонує три вентилятори з п'яти. Загальна витрата витяжного повітря при нормальній експлуатації $147442 \text{ м}^3/\text{год}$. Витяжне повітря поступає на фільтри або в обхід їх по байпасних лініях.

Для НБК встановлено допустимий викид радіоактивних речовин до оточуючого середовища, який коригується двома параметрами:

допустимим значенням організованого «високого» середньомісячного викиду через вентиляційну трубу НБК;

допустимим значенням неорганізованого середньомісячного «низького» викиду повітря через можливі нещільності в основній захисній споруді (особливо в місцях з'єднання конструкцій «Арки» з конструкціями інших споруд за допомогою мембран).

Виконаний аналіз у Звіті з аналізу безпеки (ЗАБ) пускового комплексу (ПК-1) НБК [2] показує, що допустимий викид в оточуюче середовище буде не перевищений при роботі системи вентиляції основного об'єму НБК без фільтрів, якщо об'ємне забруднення повітря не перевищує 40 Бк/м³, при перевищенні цього значення необхідно застосування фільтрів. Більш адекватною величиною забруднення повітря, при якій не перевищуються допустимі значення як «високого», так і «низького» викиду при достатньо широкому діапазоні витрати повітря у витяжній вентиляційній системі є 30 Бк/м³. Також у ЗАБ ПК-1 НБК [2] проаналізовано процес забруднення горизонтальних поверхонь на нижніх позначках НБК за рахунок осідання пилу: оцінки показують, що при забрудненні повітря 210 Бк/м³ допустимі рівні забруднення поверхонь будуть досягатися достатньо швидко, що потребує дезактивації 4 рази на рік.

Враховуючи вищезазначене, при «пасивному» стані об'єкта «Укриття» доцільно застосувати в якості граничного значення забруднення повітря в основному об'ємі НБК не більше 30 Бк/м³.

1.1.2. Рівень іонізуючого випромінювання

У ЗАБ ПК-1 НБК [2] виконано й у робочій документації зі стаціонарного екранування на верхніх позначках НБК [5 - 8] уточнено розрахункове моделювання розповсюдження іонізуючого випромінювання всередині НБК при наявності покрівлі об'єкта «Укриття» та при її відсутності після демонтажу нестабільних конструкцій. Моделювання включає розробку тривимірної моделі з розташуванням джерел іонізуючого випромінювання на об'єкті «Укриття», розташуванням конструкцій і матеріалів. Моделювання потоків іонізуючого випромінювання виконувалося з використанням методу Монте-Карло. Унаслідок недостатності та невизначеності вихідних даних про характеристики джерел іонізуючого випромінювання та внаслідок хаотичного нагромадження конструкцій в об'єкті «Укриття» тощо розрахункові оцінки є орієнтовними.

Проектним параметром, що характеризує рівень іонізуючого випромінювання в основному об'ємі НБК є потужність дози на робочих місцях (включаючи маршрути доступу) персоналу в основному об'ємі НБК, технологічній будівлі та ін.

Допустимі значення потужності дози в ЗАБ ПК-1 НБК [2] встановлені залежно від часу роботи персоналу на робочому місці.

У ПК-1 НБК передбачено екранування окремих зон та маршрутів доступу, зокрема на верхніх позначках НБК та в ліфтовому блоці [5 - 8]. Екранування розраховано із врахуванням підвищення потужностей доз іонізуючого випромінювання після демонтажу покрівлі та інших нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття». Передбачено біозахист гаражів системи основних кранів НБК, шляхів доступу на верхніх позначках та ліфтового блоку. Товщини екранів на різних ділянках оптимізовані на основі моделювання полів іонізуючого випромінювання, їхніх кутових розподілень. При проектуванні біозахисту застосовано коефіцієнт запасу 2.

Враховуючи невизначеності розрахункового моделювання передбачено встановлення додаткових екранів, якщо на окремих ділянках після демонтажу нестабільних конструкцій будуть перевищені допустимі значення потужності дози на робочих місцях.

1.1.3. Температурно-вологісний режим

Основною вимогою температурно-вологісного режиму ПК-1 НБК є запобігання конденсації вологи на конструкціях НБК усередині основного об'єму. При цьому в документі [1] передбачено врахувати потрапляння вологи з об'єкта «Укриття» в основний об'єм НБК за рахунок випаровування води, що знаходиться в об'єкті «Укриття».

Консервативні оцінки інтенсивності потрапляння вологи із об'єкта «Укриття» в основний об'єм НБК – з об'єкта протягом року випаровується 380 т води, при цьому необхідно враховувати динаміку змін інтенсивності випаровування залежно від температурно-вологісного режиму в об'єкті «Укриття» та основному об'ємі НБК.

Для запобігання конденсації вологи між внутрішньою та зовнішньою обшивками «Арки» НБК передбачено підігрів повітря в кільцевому просторі НБК на декілька градусів по відношенню до температури повітря в основному об'ємі НБК.

Найбільша інтенсивність потрапляння вологи із об'єкта «Укриття» в основний об'єм очікується в перші роки експлуатації ПК-1 НБК. З часом прогнозується зменшення скупчень води всередині об'єкта «Укриття» (їхнє поступове висихання), оскільки при знаходженні об'єкта «Укриття» під НБК виключається надходження води в об'єкт «Укриття» за рахунок дощових опадів та снігу, прак-

тично єдиним джерелом потрапляння води при певних температурно-вологісних умовах є конденсація всередині об'єкта «Укриття».

1.2. Граничні умови потенційних впливів на середовище в основному об'ємі НБК

Для НБК встановлено основний критерій обмеження сумарної ймовірності аварійних подій $2 \cdot 10^{-4}$ /рік при наслідках, що призводять до доз опромінення персоналу більше 100 мЗв на подію [1, 2]. Для окремих аварійних подій можна застосувати допустиму ймовірність $1 \cdot 10^{-4}$ /рік.

1.2.1. Виникнення критичності

В існуючому стані всі скупчення ПВМ підкритичні й виникнення критичності гіпотетично не виключається при zalиві водою ядерно-небезпечних композицій ПВМ у приміщенні 305/2 і шахті реактора, а також гіпотетичних композицій у центральному залі. Крім того, виникнення критичності можливе у випадку неконтрольованого переміщення ПВМ з утворенням нових ядерно-небезпечних скупчень з одночасним zalиванням їх водою [2, 3].

При обваленні конструкцій, на яких знаходяться скупчення ПВМ, може відбутися об'єднання скупчень. Можливість/неможливість виникнення критичності в такому об'єднаному скупченні (без zalиву його водою) потребує додаткового вивчення.

Оскільки при визначених початкових подіях можливість критичності не може бути виключена, оцінка ймовірності таких подій та наслідків їх для персоналу виконана в [3]. У найбільш несприятливих умовах (100 % викиду радіонуклідів у навколишнє середовище в результаті виникнення критичності всередині об'єкта «Укриття»), доза персоналу в локальній зоні (до насування «Арки» НБК) оцінена в декілька мЗв [3].

Враховуючи вищезазначене, ризик виникнення критичності вважається низьким.

1.2.2. Обвалення конструкцій об'єкта «Укриття»

Після реалізації невідкладних заходів стабілізації локалізуючої споруди об'єкта «Укриття» ймовірність обвалення недостатньо стабільних конструкцій локалізуючої споруди оцінюється 10^{-3} /рік [3]. Для зниження даного ризику передбачено створення другого пускового комплексу (ПК-2) НБК для демонтажу недостатньо стабільних конструкцій локалізуючої споруди.

Демонтаж передбачається виконати у два етапи: «ранній» демонтаж, «відкладений» демонтаж. При необхідності окремі конструкції можуть бути додатково стабілізовані.

Методологія визначення складу конструкцій локалізуючої споруди, що підлягають «ранньому» демонтажу [4] передбачає виконання якісних експертних оцінок обвалення відповідальних несучих конструкцій за показниками ймовірності: «дуже висока», «висока», «низька». Оцінки виконуються з урахуванням технічного стану конструкцій, їхньої несучої спроможності, загальної стійкості, деградаційних процесів тощо. При цьому передбачено виконувати оцінки з урахуванням демонтажу пов'язаних конструкцій.

За результатами якісних експертних оцінок конструкцій та залежно від оціненої ймовірності обвалення класифікуються таким чином: «дуже висока» – підлягають «ранньому» демонтажу; «висока» – рішення приймаються залежно від оцінок наслідків обвалення; «низька» – можуть бути віднесені до «відкладеного» демонтажу.

Кількісні оцінки ймовірності обвалення виконуються для конструкцій, що можуть бути віднесені до «відкладеного» демонтажу. Результати оцінок порівнюються з кількісним критерієм ймовірності (P) 10^{-4} /рік. Відповідальні несучі конструкції відносяться до «відкладеного» демонтажу при $P < 10^{-4}$ /рік і прийнятності наслідків обвалення конструкцій (неперевищення дози опромінення персоналу 20 мЗв/рік та поверхневого забруднення на ділянках (робочих місцях) періодичного перебування персоналу $8000 \beta\text{-част.}/(\text{хв} \cdot \text{см}^2)$ і $50 \alpha\text{-част.}/(\text{хв} \cdot \text{см}^2)$).

У підсумку застосовуються такі кількісні критерії ймовірності обвалення:

$P \leq 10^{-4}$ /рік – «відкладений» демонтаж;

10^{-4} /рік $\leq P < 10^{-3}$ /рік (10^{-2} /рік – для нестабілізованих конструкцій) – рішення залежить від оцінок наслідків обвалення;

$P \geq 10^{-3}$ /рік (10^{-2} /рік – для нестабілізованих конструкцій) – «ранній» демонтаж.

На сьогодні проект ПК-2 НБК щодо демонтажу нестабільних конструкцій локалізуючої споруди ще не розроблений.

Також залишається відкритим питання можливих відмов конструкцій усередині об'єкта «Укриття», на яких знаходяться скупчення ПВМ.

1.2.3. Пожежа всередині НБК

Для ПК-1 НБК в якості проектних критеріїв визначено максимально можливу пожежу, що може виникнути на покрівлі машинного залу і деаераторної етажерки об'єкта «Укриття» [1, 2].

Сценарій цієї пожежі проаналізовано в ЗАБ ПК-1 НБК [2], зокрема розроблена динамічна модель пожежі, у рамках якої виконано розрахунки змін протягом часу температурних полів та тиску в основному об'ємі НБК (рис. 3). При підвищенні тиску всередині НБК відбувається вихід радіоактивних газів та аерозолів в вентиляційну трубу («високий» викид) і через нещільності захисної споруди НБК («низький» викид).

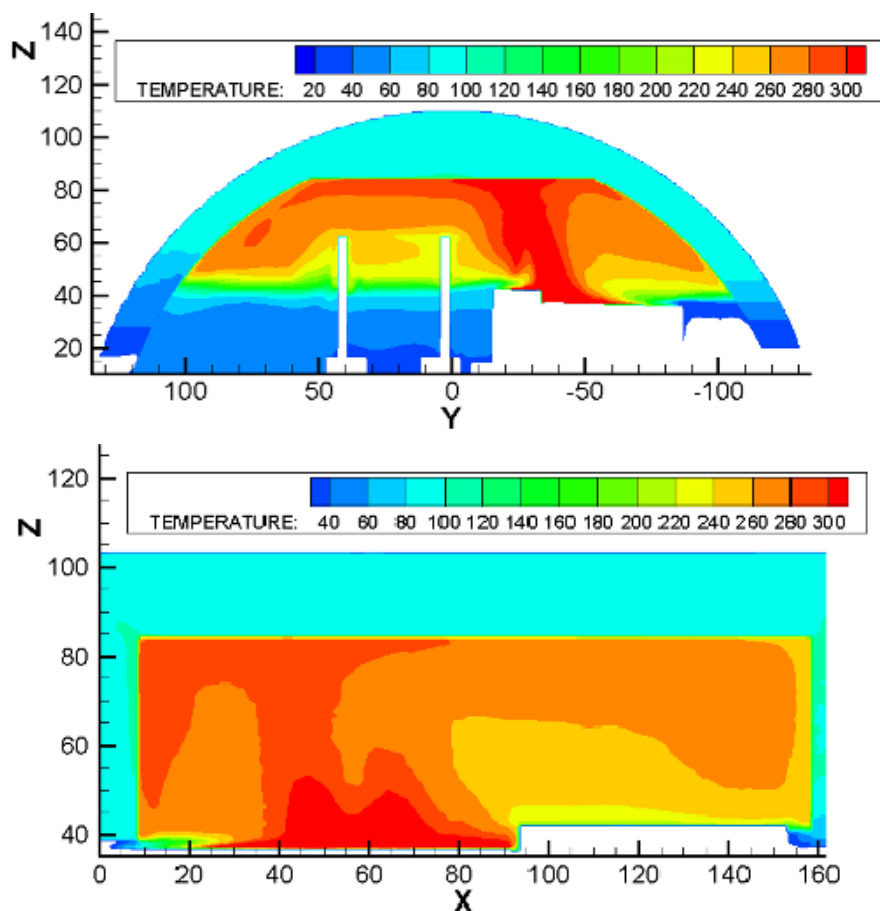


Рис. 3. Розрахунки змін температурних полів за динамічною моделлю.

В ЗАБ ПК-1 НБК [2] показано, що для неперевищення допустимих радіаційних впливів (зокрема доз потенційного опромінення персоналу на майданчику НБК та ЧАЕС) пожежу на покрівлі машинного залу та деаераторній етажерці об'єкта «Укриття» необхідно загасити за 18 хв.

Для забезпечення своєчасного виявлення та гасіння пожежі на покрівлі машинного залу та деаераторної етажерки в ПК-1 НБК передбачено системи автоматичної пожежної сигналізації та пінного пожежогасіння [2].

Відкритим залишається питання пожежі всередині об'єкта «Укриття».

2. Властивості об'єкта «Укриття» та потреби його подальшого перетворення в контексті дотримання проектних граничних умов НБК

2.1. Поточний викид радіоактивних речовин

Як вказано вище в п. 1.1.1, рекомендованим допустимим рівнем об'ємної активності аерозолів в основному об'ємі НБК є значення не більше 30 Бк/м³. При потужності системи вентиляції основного об'єму НБК 147442 м³/рік граничний викид із об'єкта «Укриття» можна оцінити як 4,4 МБк/год.

У ЗАБ ПК-1 НБК [2] наведено результати оцінки викиду з об'єкта «Укриття» в період 1998 - 2010 рр. Неорганізовані викиди (без викиду через вентиляційну трубу II черги ЧАЕС) знаходяться в межах $(0,03 \div 0,11)$ МБк/год при середньому значенні 0,07 МБк/год.

Таким чином, зазначені результати оцінки показують, що в існуючому стані викид із об'єкта «Укриття» приблизно в 60 разів менший рекомендованого допустимого значення 4,4 МБк/год.

Слід відзначити, що дана оцінка є орієнтовною, оскільки, з одного боку, результати контролю неорганізованого викиду з об'єкта «Укриття» мають великі похибки, а з іншого - при знаходженні об'єкта «Укриття» під НБК суттєво зміняться повітропотоки всередині об'єкта.

При розгляді питань неперевищення гранично допустимого викиду з об'єкта «Укриття» аерозолів в основний об'єм НБК потрібно врахувати такі фактори:

1) пилоутворення всередині об'єкта «Укриття», особливо внаслідок деградації скупчень ПВМ. Потрібно встановити критерії обмеження деградації скупчень ПВМ;

2) висихання поверхонь у приміщеннях та зонах об'єкта «Укриття». Потрібно у приміщеннях та зонах з високим поверхневим забрудненням реалізувати заходи по запобіганню розповсюдження пилу (наприклад, пилозакріплення, дезактивація, запобігання проходження повітропотоків через такі приміщення та зони). Потрібно встановити критерії для реалізації зазначених заходів.

При виконанні робіт із перетворення об'єкта «Укриття» (демонтаж нестабільних конструкцій, можливе вилучення ПВМ у майбутньому тощо) потрібно забезпечити мінімізацію утворення та підйому пилу таким чином, щоб не перевищувався критерій середньомісячної об'ємної активності аерозолів в основному об'ємі НБК (210 Бк/м^3).

2.2. Поточний вплив іонізуючого випромінювання

Впливи іонізуючого випромінювання визначаються активністю та розташуванням джерел іонізуючого випромінювання, їх екрануванням конструкціями тощо.

При поточній ситуації на об'єкті «Укриття» зазначені характеристики джерел іонізуючого випромінювання не змінюються. Відповідно не очікується підвищення потужності дози в основному об'ємі НБК. Екранування робочих місць та шляхів доступу в основному об'ємі НБК виконується з урахуванням збільшення інтенсивності іонізуючого випромінювання після демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» (зняття покрівлі тощо) [5 - 8].

2.3. Температурно-вологісний режим та вода в об'єкті «Укриття»

Як зазначено в п. 1.1.3, найбільша інтенсивність потрапляння вологи з об'єкта «Укриття» в основний об'єм очікується в перші роки експлуатації ПК-1 НБК. З часом прогнозується зменшення скупчень води всередині об'єкта «Укриття» (їхнє поступове висихання), оскільки при знаходженні об'єкта «Укриття» під НБК виключається надходження води в нього за рахунок дощових опадів та снігу, а практично єдиним джерелом потрапляння води при певних температурно-вологісних умовах є конденсація всередині об'єкта «Укриття».

Враховуючи вищезазначене, потрібно в перші роки експлуатації НБК провести дослідження води в об'єкті «Укриття» (скупчень, динаміки їхніх змін, процесів конденсації та шляхів переміщення конденсату тощо). За результатами досліджень визначити, за необхідності, критерій на обмеження накопичення води в різних приміщеннях та зонах об'єкта «Укриття».

2.4. Ризики виникнення критичності

Ризики виникнення критичності є низькими (див. п. 1.2.1). У той же час потрібно проаналізувати потреби забезпечення запобігання накопичення води у скупченнях ПВМ, при цьому встановити допустимі критерії й передбачити відповідний контроль їхнього дотримання. Також потрібно проаналізувати можливість/неможливість виникнення критичності при гіпотетичному об'єднанні скупчень ПВМ у випадку обвалення конструкцій, на яких знаходяться скупчення ПВМ.

2.5. Ризики обвалення конструкцій об'єкта «Укриття»

Передбачена розробка проекту ПК-2 НБК щодо демонтажу нестабільних конструкцій.

На сьогодні відсутні оцінки ризиків, пов'язаних з обваленням конструкцій усередині об'єкта «Укриття», на яких знаходяться скупчення ПВМ, або які впадуть на скупчення ПВМ. Обвалення

внутрішніх конструкцій найбільш імовірно може статися внаслідок додаткових впливів під час землетрусу.

Певні конструкції, на яких знаходяться скупчення ПВМ (наприклад, підлога у приміщенні 305/2), під час аварії в 1986 р. зазнали високотемпературних впливів [3]. Відповідно ймовірність сценаріїв з обваленням цих конструкцій, переміщенням разом з ними скупчень ПВМ, підйомом високоактивного пилу тощо може бути досить високою.

Потрібно виконати аналіз ризиків, пов'язаних з обваленням конструкцій усередині об'єкта «Укриття», визначити відповідні критерії та заходи щодо обмеження цих ризиків.

2.6. Ризики пожежі

Як вказано в п. 1.2.3, в НБК передбачено систему для своєчасного виявлення та гасіння максимальної пожежі на покрівлі деаераторної етажерки та машинного залу об'єкта «Укриття».

Ризики, пов'язані з пожежею в приміщеннях та зонах об'єкта «Укриття», що не обслуговуються, з високим ступенем забруднення залишаються недостатньо вивченими. Особливо це стосується пожежі в місцях знаходження скупчень ПВМ, зокрема в підкровельному просторі. Вважається, що внаслідок високотемпературних процесів у період аварії в місцях розміщення ПВМ не залишилося горючих матеріалів [3]. У той же час після аварії певний період виконувалися заходи з пилопригнічення скупчень у підкровельному просторі з використанням горючих матеріалів. Пожежа в підпокрівельному просторі, навіть відносно невелика за інтенсивністю, може призвести до суттєвих радіаційних наслідків.

У ЗАБ ПК-1 НБК [2] зазначено, що «питання виникнення пожежі в зонах з високим забрудненням залишається відкритим». Таким чином, питання зменшення ризику пожеж в об'єкті «Укриття» потребує аналізу, визначення необхідних критеріїв та, за необхідності, заходів з обмеження цього ризику.

2.7. Ризики вибуху

На об'єкті «Укриття» здійснюється контроль концентрації водню над шахтою реактора та під центральним залом [3].

Водень унаслідок радіолізу води має утворюватися у приміщеннях зі скупченнями води та з потужними радіаційними полями. Не виключено, що в деяких із таких приміщень наявні застійні зони, з яких водень може не видалятися за рахунок природної вентиляції. У [3] вказується на необхідність аналізу та досліджень наявності/відсутності водню в таких приміщеннях.

У [9] наведено результати вимірювань концентрації водню у приміщенні 001/3. Указано, що об'ємна концентрація водню в повітрі приміщення 001/3 не перевищує 0,002 % при контрольному рівні 0,8 %, при цьому відзначається, що низький вихід водню в повітря може бути зв'язаний, зокрема, з розчиненням водню у воді.

Питання утворення та можливого накопичення водню у приміщеннях об'єкта «Укриття» зі скупченнями води потребує подальшого вивчення. Зокрема, при знаходженні об'єкта «Укриття» під захисною спорудою НБК можливе зменшення обсягів водних скупчень і зміни процесів природної вентиляції його приміщень.

3. Висновки

У період експлуатації НБК безпека об'єкта «Укриття» має підтримуватись таким чином, щоб забезпечувалося неперевикнення проектних значень параметрів, що характеризують граничні умови щодо таких поточних та потенційних впливів об'єкта «Укриття» на середовище основного об'єму НБК:

- викид радіоактивних речовин з об'єкта «Укриття» в повітря основного об'єму НБК;
- іонізуюче випромінювання на робочих місцях в основному об'ємі НБК;
- температурно-вологісний режим та вихід води за межі об'єкта «Укриття»;
- утворення критичності;
- обвалення конструкцій;
- пожежа, вибух.

Для забезпечення неперевикнення критеріїв викиду радіоактивних речовин з об'єкта «Укриття» потрібно обмежити деградацію скупчень ПВМ та підйом пилу із забруднених поверхонь приміщень та зон об'єкта «Укриття».

Екранування робочих місць та маршрутів доступу в основному об'ємі НБК враховує прогнозоване збільшення інтенсивності іонізуючого випромінювання після демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття».

Для запобігання виходу води за межі об'єкта «Укриття» потрібно провести дослідження динаміки конденсації та випаровування води при знаходженні об'єкта «Укриття» під НБК. За необхідності визначити заходи щодо запобігання накопичення води.

Ризик виникнення критичності низький, проте потрібно забезпечити запобігання накопичення води у скупченнях ПВМ за рахунок конденсації.

Для зменшення ризиків, пов'язаних з обваленням нестабільних конструкцій локалізуючої споруди об'єкта «Укриття», передбачено їхній демонтаж, а за необхідністю потрібно виконати додаткову стабілізацію таких конструкцій. Потрібно проаналізувати ризики обвалення конструкцій всередині об'єкта «Укриття», на яких знаходяться скупчення ПВМ, або які можуть впасти на скупчення ПВМ.

Для зменшення ризиків максимальної пожежі на покрівлі машинного залу та деаераторної етажерки об'єкта «Укриття» передбачено системи своєчасного виявлення та гасіння пожежі. Потрібно проаналізувати ризики, пов'язані з пожежами всередині об'єкта «Укриття», зокрема в його підкоровельному просторі. Також потрібно оцінити ризики накопичення водню у приміщеннях об'єкта «Укриття» зі скупченням води.

У період експлуатації НБК потрібно здійснювати контроль за станом об'єкта «Укриття». При цьому необхідно визначити експлуатаційні межі та межі безпечної експлуатації на основі, зокрема, даних контролю та досліджень стану та процесів в об'єкті «Укриття» при знаходженні його під захисною спорудою НБК.

Враховуючи вищезазначене, для об'єкта «Укриття», що знаходиться під НБК, потрібно розробити систематизовану сукупність умов та критеріїв, що мають виконуватися для забезпечення безпеки його стану, та визначити заходи з підтримки безпечного стану об'єкта «Укриття» відповідно до встановлених критеріїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Документ по безопасности в рамках концепции проекта ПК-1 НБК. SIP-N-LI-22-A500-CDS-001-01. - 2008.*
2. *Пусковой комплекс-1 (ПК-1). Лицензионный пакет-6 (ЛП-6). Проект. Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфраструктурой. Отчет по анализу безопасности. SIP-N-LI-22-E001-SAR-002-05. - 2012.*
3. *Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие». - 2008.*
4. *Методология переоценки состава нестабильных конструкций объекта «Укрытие», подлежащих «раннему» демонтажу. SIP-09-2-001-NI-03-RPT-036-07.*
5. *Расчет радиационной обстановки на мостках западной стены Арки, гаража техобслуживания и гаража хранения. SIP-N-MI-22-B2214-CLN-002-01. - 2014.*
6. *Расчет мощности дозы после экранирования внутри гаража техобслуживания. SIP-N-MI-22-B2214-CLN-004-01.*
7. *Расчет мощности дозы после экранирования на мостиках арки. SIP-N-MI-22-B2214-CLN-005-01.*
8. *Обоснование радиационного экранирования мостиков, лифта и гаража хранения. SIP-N-TE-22-B2214-TEN-002-00.*
9. *Контроль факторов радиационной опасности помещения 001/3 объекта «Укрытие» / А. А. Одинцов, В. Е. Хан, Б. И. Огородников // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2011.- Вип. 15. – С. 96 – 102.*

А. Бертольд², Е. В. Веселов¹, С. Н. Кондратьев¹, И. С. Кутина¹, Л. Кюхлер²

¹ ГНТЦ ЯРБ, ул. Василя Стуса, 35-37, Киев, 03142, Украина

² Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В СОСТАВЕ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙМЕНТА

Представлены результаты анализов: граничных условий по текущим и потенциальным опасным воздействиям объекта «Укрытие» (выброс радиоактивных веществ, выход ионизирующего излучения, гипотетические аварийные события с возникновением критичности, обрушение конструкций, пожара и т.п.); факторов, характеризующих состояние объекта «Укрытие» и связанные с соблюдением граничных условий (образование пыли при деградации топливосодержащих материалов (ТСМ), ухудшение состояния конструкций объекта

«Укрытие», динамика изменений температурно-влажностного режима и скоплений воды и т.д.). Указывается на необходимость проведения дополнительных исследований процессов деградации ТСМ, состояния внутренних конструкций объекта «Укрытие», на которых находятся скопления ТСМ, источников пожароопасности в зонах с высоким уровнем радиационного загрязнения и т.д.

Ключевые слова: объект «Укрытие», новый безопасный конфайнмент, топливосодержащие материалы.

A. Berthold², Ye. V. Veselov¹, S. N. Kondratiev¹, I. S. Kutina¹, L. Kuchler²

¹ SSTC NRS, V. Stusa str., 35-37, Kyiv, 03142, Ukraine

² Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)

FACTORS THAT DETERMINING SHELTER SAFETY WITHIN NEW SAFE CONFINEMENT

Construction of the new safe confinement (NSC) above the Shelter over destroyed Chornobyl NPP unit 4 is under completion. The NSC Arch was launched and installed in its design position in November 2016. The NSC design is based on boundary conditions for current and potential hazardous impacts from the Shelter. The NSC should withstand these boundary conditions to protect NSC personnel and the environment. The goal of this work is analyze the factors that determine safe state of the Shelter as a part of NSC. The paper presents results of the following analyses: boundary conditions for current and potential hazardous Shelter impacts (release of radioactive substances, release of radiation, hypothetical criticality emergencies, collapse of structures, fire etc.); factors that characterize the Shelter state and are associated with boundary conditions (dust generation in degradation of fuel-containing materials (FCM), degradation of most Shelter structures, dynamics of changes in water-humidity conditions and water accumulations etc.). Upon the analyses, approaches have been identified to determine conditions and criteria to ensure safety of the Shelter under NSC. It is pointed out that additional study is required for FCM degradation processes, Shelter internal structures with FCM accumulations, fire sources in arears with high levels of radioactive contamination etc.

Keywords: Shelter, new safe confinement, fuel-containing materials.

REFERENCES

1. NSC CS-1 Concept Design Safety Document. SIP-N-LI-22-A500-CDS-001-01. - 2008. (Rus)
2. Commissioning Stage-1 (CS-1). Licensing Package-6 (LP-6). DESIGN. Protective Facility with Technological Life Support Systems and Required Infrastructure. Safety Analysis Report. SIP-N-LI-22-E001-SAR-002-05. - 2012. (Rus)
3. "Shelter" Object Safety Status Report». - 2008. (Rus)
4. Methodology of reassessment of unstable structures of the Shelter object subject to "early" dismantling. SIP-09-2-001-NI-03-RPT-036-07. (Rus)
5. Calculation of the radiological conditions at the walkways of the Arch West wall, maintenance garage and storage garage. SIP-N-MI-22-B2214-CLN-002-01. - 2014. (Rus)
6. Calculation of the dose rate after shielding inside the Maintenance Garage. SIP-N-MI-22-B2214-CLN-004-01. - 2014. (Rus)
7. Calculation of the dose rate after shielding at the walkways of the Arch. SIP-N-MI-22-B2214-CLN-005-01. - 2014. (Rus)
8. Justification of radiation shielding bridges, elevators and storage garages.. SIP-N-TE-22-B2214-TEN-002-00. (Rus)
9. Monitoring of radiation hazard factors in premise 001/3 of the Shelter / A. A. Odintsov, V. E. Khan, B. I. Ogorodnikov // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2011. - P. 96 - 102. (Rus)

Надійшла 14.01.2019

Received 14.01.2019