

В. О. Краснов, Р. Л. Годун

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

СТАН ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ УСЕРЕДИНІ НБК «АРКА» ТА ПРОБЛЕМИ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ЇХНЬОЇ ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

За результатами раніше проведених досліджень виконані аналіз стану та класифікація скупчень паливовмісних матеріалів (ПВМ) з точки зору їхньої ядерної безпеки. Обґрунтовується доцільність проведення нових розрахунково-експериментальних досліджень, необхідних для ефективного контролю потенційно ядерно-небезпечних скупчень в умовах комплексу «НБК-ОУ», а також розробка і впровадження превентивних заходів по виключенню ризиків небезпечних змін рівня підкритичності всередині цих скупчень. Рішення поточних проблем щодо забезпечення ядерної та радіаційної безпеки комплексу «НБК-ОУ» можливе в рамках «Програми моніторингу ПВМ на об'єкті "Укриття"», яка передбачає розробку нових підходів і методів при поводженні з ПВМ, радіоактивно забрудненою водою і радіоактивним пилом при перетворенні об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему.

Ключові слова: паливовмісні матеріали, об'єкт «Укриття», новий безпечний конфайнмент, програма моніторингу паливовмісних матеріалів, переоцінка стану та класифікація паливовмісних матеріалів.

Ядерне паливо у приміщеннях об'єкта «Укриття»

Інформація про паливовмісні матеріали (ПВМ), що містяться у приміщеннях об'єкта «Укриття», а також опис цих приміщень представлені в [1 – 10]. Перед аварією ядерне паливо (214,6 т [11]) знаходилося в активній зоні реактора РБМК-1000, у південному басейні витримки (ПБВ), на вузлі підготовки паливних касет у центральному залі (ЦЗ), у приміщенні підготовки «свіжого» палива. На момент аварії активна зона реактора містила 1659 тепловиділяючих касет (ТВК), один додатковий поглинач і один незавантажений канал. Маса палива, завантаженого в активну зону, становила близько 190,2 т. Оцінка палива, що залишилося в об'єкті «Укриття», була отримана на основі досліджень [4] викидів радіоактивності й показує (табл. 1), що не менше 95 % палива початкового завантаження реактора (близько 180 т.) залишилось усередині об'єкта «Укриття».

Таблиця 1. Уточнюючі дані щодо кількості та розміщення ЛПВМ у приміщеннях об'єкта «Укриття»

| Назва (номер) приміщення | Модифікації ПВМ у приміщенні | Маса ядерного палива, т (U) |
|---|---|-----------------------------|
| ЦЗ (914/2) | Фрагменти активної зони (ФАЗ), ЛПВМ, касети зі свіжим паливом | не менш як 22 |
| ПБВ (505/3) | 129 касет с ВЯП | 14,8 |
| Верхні приміщення, ЦЗ (позначка +24,00 та вище) | паливний пил | ~10 |
| Усі верхні приміщення, включаючи ЦЗ (вище позначки +24,00) | ВЯП | 20 – 110 |
| 304/3 | ЛПВМ | 6 ± 2 |
| 301/5+301/6+303/3 | ЛПВМ | 5 ± 2,5 |
| 217/2 | ЛПВМ | 0,4 ± 0,2 |
| 305/2 і 504/2 (до позначки +24,00) | ФАЗ, ЛПВМ, паливний пил | 80 ± 30 |
| Паророзподільний коридор (210/5+210/6+210/7) | ЛПВМ | 12 ± 6 |
| ББ-2 - (012/14+012/15+012/16) | ЛПВМ | 3-12 |
| ББ-1 - (012/5+012/6+012/7) | ЛПВМ | 1,0 ± 0,5 |
| Паливо під каскадною стіною | ФАЗ, паливний пил | (0,9 ± 0,3) |
| Радіоактивна вода в усіх приміщеннях реакторного відділення | розчинні солі урану | 4 кг |
| Паливо на майданчику об'єкта «Укриття» | ФАЗ, паливний пил | 0,75 ± 0,25 |

Як випливає з табл. 1, на позначках нижче +24,00 може знаходитися від 66 до 158 т (по урану) відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) без урахування палива, що міститься в паливному пилу. З урахуванням пилу (присутнього в усіх приміщеннях об'єкта «Укриття»), що містять скупчення ПВМ значення може досягти близько 115 ± 45 т (по урану) ВЯП. Тобто вище позначки +24,00 може знаходитися від 20 до 110 т палива первинного завантаження реактора. Фактично все це паливо знаходить-

© В. О. Краснов, Р. Л. Годун, 2019

ся в межах підпокрівельного простору. З урахуванням даних роботи [5] у скупченнях лавоподібних ПВМ (ЛПВМ) може міститися від 60 до 120 т (по урану) палива.

Одним із перших офіційних документів, в якому на основі детального аналізу (за результатами наявних до середини 1990 р. розрахункових і експериментальних даних) були зроблені висновки про рівень ядерної безпеки (ЯБ) об'єкта «Укриття», було «Технічне обґрунтування ядерної безпеки» [6]. У звіті за результатами аналізу безпеки об'єкта «Укриття» [7] на основі розрахункових оцінок було проведено класифікацію приміщень за рівнем ядерної небезпеки скупчень ПВМ, що знаходяться в них. Проте на даний момент відбуваються зміни умов зберігання ядерних матеріалів, що діляться. Відповідно виникає гостра необхідність переоцінки рівня їхньої ядерної та радіаційної безпеки.

Класифікація скупчень ПВМ, що знаходяться всередині об'єкта «Укриття», з точки зору їхньої ядерної безпеки

Усі скупчення ПВМ усередині об'єкта «Укриття» було розділено на три основні групи:

1. Скупчення ПВМ, властивості яких достатньо вивчено і які при будь-яких змінах умов їхнього зберігання будуть ядерно-безпечними [2, 3, 8, 9, 12]. Це, наприклад, скупчення ЛПВМ у приміщеннях об'єкта «Укриття»: 304/3, 217/2 («слоняча нога»), у паророзподільному коридорі (ПРК) (включаючи приміщення 210/6 та 210/7), у приміщенні 012/13 другого поверху басейну-барботера (ББ), у приміщенні 012 першого поверху ББ.

2. Скупчення ПВМ, гарантії ядерної безпеки яких можуть бути отримані лише після уточнення (за результатами додаткових досліджень) їхніх властивостей/параметрів [2, 3, 9, 12].

2.1. Це, по-перше, ВЯП в ПБВ (приміщення 505/3). У штатному режимі ПБВ був заповнений водою. На момент аварії в ПБВ знаходилося 129 паливних касет (14,8 т по урану) в охолоджуючій воді. На початку 1990-х років у ПБВ із приміщення 515/3 було пробурено 5 свердловин: В-19-103, В-22-80, В-22-90, В-21-96, В.20-100. За допомогою цих свердловин був оглянутий стан тепловиділяючих збірок (ТВЗ), підвіски та підлоги, а також проведено вимірювання потужності експозиційної дози (ПЕД). Це дало змогу встановити, що кришка над свердловиною зруйнована й у ПБВ із ЦЗ нічого не потрапило. Пенали перебували у штатному положенні, а вода була відсутня.

На основі розрахунково-дослідних робіт було встановлено, що гіпотетична ядерно-небезпечна композиція могла утворитися лише у випадку падіння і руйнування пеналів із наступним об'єднанням кінцевих частин збірок (з відносно невисоким вигоранням) у компакту структуру. На даний час аналіз даних щодо ПЕД і щільності потоку нейтронів (ЩПН) у свердловинах показав, що ПЕД у верхній частині ПБВ знизилася з 3500 Р/год у 1990 р. до 370 Р/год у 2013 р., а ЩПН в його нижній частині збільшилася з 140 н/(см² · с) у 1990 р. до 400 н/(см² · с) у 2013 р. Це вказує на те, що значна частина ТВЗ могла зруйнуватися і впала на дно ПБВ.

Факт відсутності води в ПБВ, стабільної (практично незмінної) динаміки нейтронної активності, а також висока вірогідність падіння збірок дає підставу вважати, що конфігурація ПВМ у цьому приміщенні є ядерно-безпечною. Проте в рамках консервативного підходу до забезпечення ядерної безпеки необхідно провести додаткові дослідження по візуальному обстеженню ПБВ та переоцінці розташованих там ПВМ. Лише після цього можуть бути отримані остаточні прийнятні гарантії ЯБ цього приміщення.

2.2. По-друге – ПВМ у ЦЗ. Велика частина ЦЗ прихована під багатометровим шаром матеріалів вертолітної засипки, доступ під завали матеріалів засипки відсутній. За 33 роки в ЦЗ так і не було організовано ефективний контроль/моніторинг нейтронної активності.

Згідно з розрахунками потенційну ядерну небезпеку тут могли б представляти лише гіпотетичні критичні композиції (уран-графітовий кластер у штатній структурі активної зони з діаметром 5 м і висотою 3 м і/або компактне утворення композиції з підвісок ТВЗ зі свіжим паливом). На даний час за результатами візуальних спостережень існування таких композицій не підтверджено (візуально визначено місцезнаходження лише 7 із 48 касет зі «свіжим» паливом, які при аварії знаходилися на вузлі розвішування, розташованому в північно-східній частині ЦЗ) [7].

Проте задля забезпечення ефективного контролю ядерної безпеки виникає нагальна потреба (до початку подальших робіт по демонтажу нестабільних будівельних конструкцій об'єкта «Укриття») у проведенні додаткових експериментально-розрахункових досліджень у ЦЗ та організації хоча б трьох точок моніторингу параметрів скупчень ПВМ.

3. Скупчення ПВМ, які з високою вірогідністю являються ядерно-небезпечними і нейтронно-фізичні властивості яких на даний момент змінюються, у зв'язку з чим якнайшвидше необхідно роз-

робити та впровадити заходи по підвищенню ефективності контролю їхнього рівня підкритичності і/або технічні рішення по превентивному придушенню/виключенню небезпечних параметрів [2, 5, 7, 9, 10, 12 - 15].

Насамперед це стосується скупчень ПВМ у приміщенні 305/2, в якому відбулося утворення основної маси ЛППВМ (рис. 1).

Ретельне вивчення результатів бурових робіт і свердловинних вимірювань дало змогу визначити в масиві ПВМ приміщення 305/2 геометричні параметри і координати зони, в яких знаходяться скупчення ПВМ із високим вмістом урану (рис. 1 та 2). Об'єм зони 1, згідно з виконаними розрахунками, склав приблизно 50 м³. Якщо межі зони 1 ми визначили досить упевнено, то віднести це до зони 2 не можемо через відсутність достатнього об'єму необхідних даних [16].

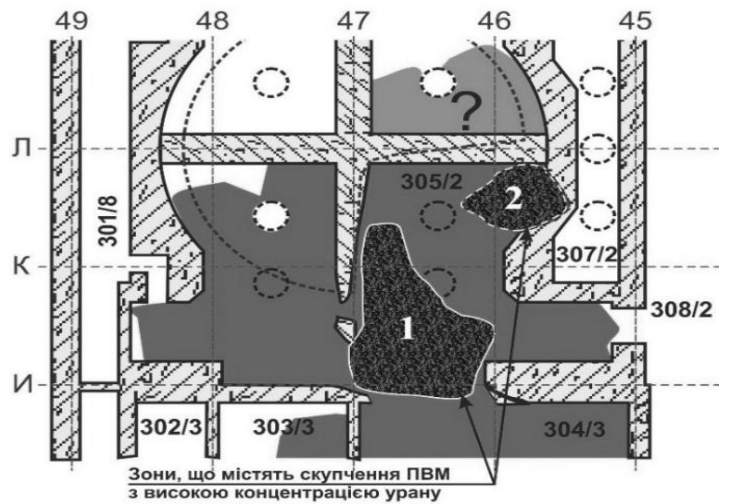


Рис. 1. Проекція потенційно критичних зон на позначку+9.00.

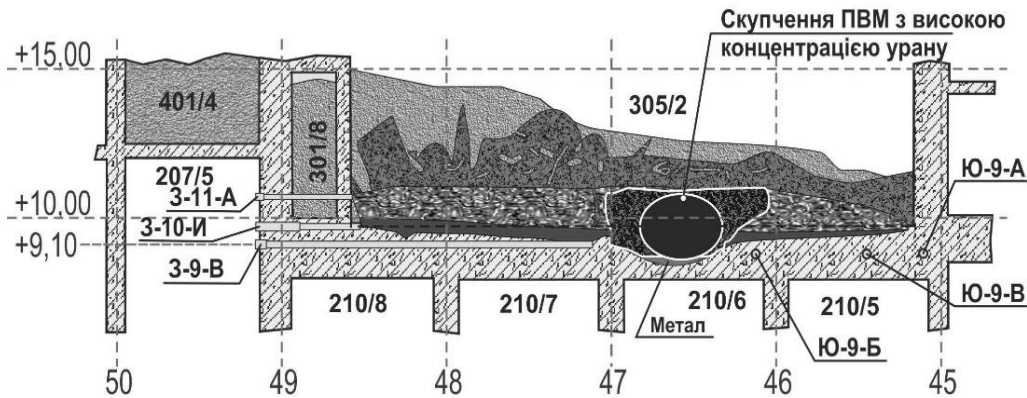


Рис. 2. Фрагмент імовірного перерізу 4-го блока ЧАЕС по ряду И⁺¹⁶⁵⁰.

Після початку експлуатації НБК нейтронні вимірювальні канали штатної системи контролю ядерної безпеки (СКЯБ), що входить до складу інтегрованої автоматизованої системи контролю (ІАСК), реєструють значне (понад 40 %) зростання ЩПН на периферії цих скупчень ПВМ (рис. 3).

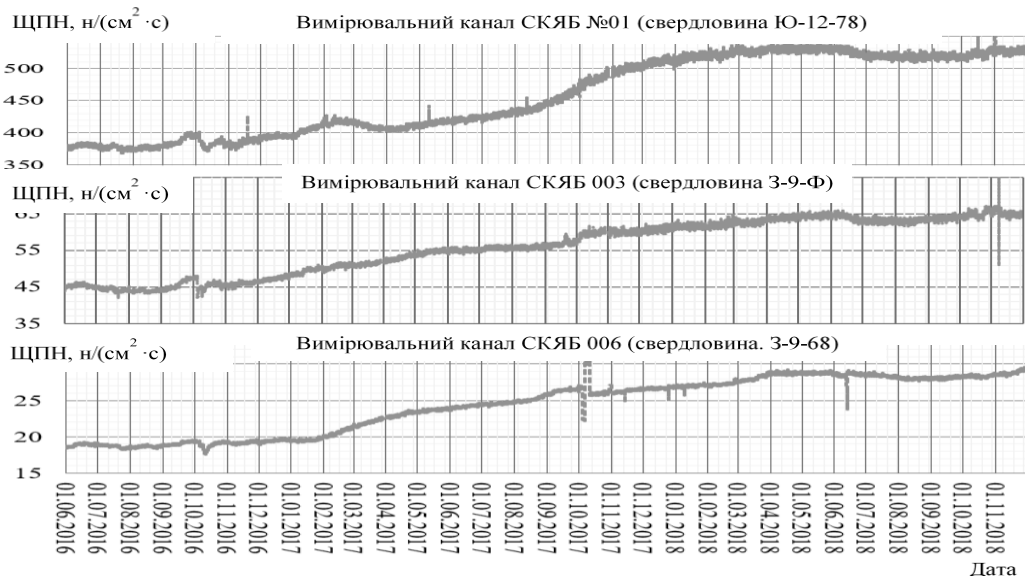


Рис. 3. Динаміка нейтронної активності на периферії ПВМ у приміщенні 305/2 за період із червня 2016 по листопад 2018 р.

Сезонні відхилення не перевищують 10 % від середньорічних значень і накладаються на основний тренд зростання ППН. Постійний тренд зростання ЩПН, що спостерігається в точках детектування приміщення 305/2, визначається процесом втрати вологи всього масиву ПВМ у цьому приміщенні і супроводжується зростанням $K_{\text{эф}}$ (факт, установлений експериментально за результатами статистичної обробки вимірювань нейтронної активності).

На основі отриманих раніше розрахунково-експериментальних модельних залежностей було розроблено методику оцінки рівня підкритичності цих потенційно ядерно-небезпечних скупчень (ПЯНС) ПВМ. Критеріями експертної оцінки небезпечної ідентифікації зміни рівня підкритичності можуть бути лише швидкість і кратність наростання ЩПН. Розроблена методика оцінки $K_{\text{эф}}$ дозволила спрогнозувати подальшу динаміку зміни нейтронної активності ПЯНС (рис. 4).

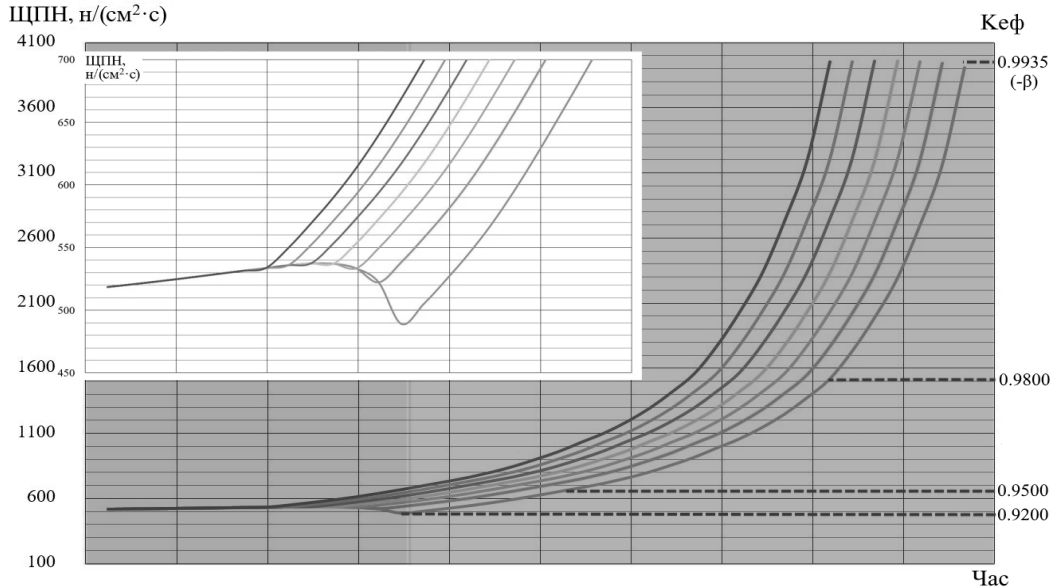


Рис. 4. Прогнозна динаміка ЩПН на доступній периферії ПЯНС ПВМ при ймовірній «зворотній критичності».

Ядерна і радіаційна небезпека ПВМ в об'єкті «Укриття»

Згідно з нормативно-правовими актами та науково-технічним документами поточний стан об'єкта «Укриття» кваліфікується як «зруйнований запроектною аварією 4-й блок ЧАЕС, який втратив всі функціональні властивості енергоблоку і на якому виконані першочергові заходи щодо зменшення наслідків аварії, а також тривають роботи по забезпеченню його ядерної і радіаційної безпеки» [17 - 19].

Зараз (станом на 2018 р.) згідно з останніми оцінками сумарна активність опроміненого ядерного палива в межах об'єкта «Укриття» складає близько $2,0 \cdot 10^{17}$ Бк (табл. 2).

До побудови НБК «Арка» об'єкт «Укриття», як сукупність споруд і систем, забезпечував безпечний стан усіх ядерних і радіоактивних матеріалів, що містилися в ньому. Побудова комплексу «НБК-ОУ» призвела до зміни температурного і вологісного режиму, відповідно відбувається зміна умов зберігання ядерних матеріалів, що діляться. Це може дестабілізувати стан ядерної та радіаційної безпеки, який існував раніше.

Аналіз процесів, що відбуваються в даний час в об'єкті «Укриття» показав, що існує висока ймовірність виникнення факторів, які можуть дестабілізувати існуючий стан ядерної та радіаційної безпеки. Це, у першу чергу, стосується:

Таблиця 2. Уточнюючі дані щодо активності ПВМ за станом на 2018 р. (Бк/г U)

| α -випромінювачі | β -випромінювачі | β - γ -випромінювачі |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| ²³⁸ Pu - $6,01 \cdot 10^6$ | ⁹⁰ Sr - $5,44 \cdot 10^8$ | ¹⁰⁶ Rh - $1,11 \cdot 10^0$ |
| ²³⁹ Pu - $5,00 \cdot 10^6$ | ⁹⁰ Y - $5,44 \cdot 10^8$ | ¹²⁵ Sb - $2,26 \cdot 10^4$ |
| ²⁴⁰ Pu - $8,18 \cdot 10^6$ | ¹⁰⁶ Ru - $1,11 \cdot 10^0$ | ¹³⁴ Cs - $1,55 \cdot 10^4$ |
| ²⁴¹ Pu - $4,80 \cdot 10^3$ | ¹⁴⁷ Pm - $6,91 \cdot 10^5$ | ¹³⁷ Cs - $6,62 \cdot 10^8$ |
| ²⁴² Pu - $1,30 \cdot 10^4$ | ²⁴¹ Pu - $2,00 \cdot 10^8$ | ¹⁵⁴ Eu - $5,54 \cdot 10^6$ |
| ²⁴¹ Am - $2,53 \cdot 10^7$ | | ¹⁵⁵ Eu - $6,58 \cdot 10^5$ |
| ²⁴³ Am - $2,39 \cdot 10^3$ | | |
| ²⁴⁴ Cm - $6,32 \cdot 10^5$ | | |
| Усього $\approx 2,0 \cdot 10^9$ Бк/г U | | |

ядерної небезпеки, обумовленої наявністю прихованих скупчень ПВМ із потенційно критичною композицією ПВМ;

радіаційної небезпеки, обумовленої наявністю радіоактивно забрудненої води (РЗВ), яка утворюється при взаємодії вологи з ПВМ та радіоактивними матеріалами;

радіаційної небезпеки при утворенні радіоактивного пилу в результаті руйнування ПВМ чи пересихання скупчень радіоактивної води.

Беручи до уваги результати робіт ІПБ АЕС НАН України [20 - 22] у частині оцінки поточної ЯБ об'єкта «Укриття», а також зміни (в умовах створюваного комплексу «НБК-ОУ») температурно-вологісного режиму зберігання ПВМ, абсолютні (прийнятні) гарантії ЯБ (що виключають умови виникнення самопідтримуючої ланцюгової реакції - СЛР) на даний час не можуть бути представлені.

Згідно з поняттями і визначеннями, що використані в [23, 23], на сьогоднішній день відсутні не тільки експериментальні і розрахункові гарантії ЯБ ПЯНС ПВМ, але й засоби ефективного оперативного контролю рівня їхньої підкритичності. Таким чином, з точки зору ЯБ комплекс «НБК-ОУ» являє собою об'єкт, в якому розташовані просторово-розподілені скупчення ПВМ при відсутності засобів активного оперативного впливу на їхні параметри критичності. Потенційно найбільшу ядерну небезпеку представляють скупчення ПВМ у південно-східній частині підреакторного приміщення 305/2. Відповідно до загальноприйнятої у світі культури забезпечення ЯБ виникає гостра необхідність планування, розробки та реалізації всередині комплексу «НБК-ОУ» заходів щодо зниження і/або виключення ризиків виникнення СЛР.

Задля вирішення вищевказаних проблем співробітниками ІПБ АЕС НАН України разом зі спеціалістами ЧАЕС у 2018 р. було розроблено «Програму моніторингу ПВМ ОУ» (див. рисунок на обкладинці журналу, с. 3), яка передбачає розробку нових підходів і методів з оцінки ядерної та радіаційної безпеки при поводженні з ПВМ, РЗВ і радіоактивним пилом на всіх етапах експлуатації комплексу «НБК-ОУ».

Програма моніторингу складається з двох блоків: радіаційна і ядерна безпека ПВМ. Це продиктовано тим, що у процесі її реалізації кінцевою метою є отримання інформації, необхідної для подальшої розробки превентивних заходів щодо запобігання виникнення радіаційної та ядерної небезпеки. Програма містить обґрунтування запропонованих обсягів, періодичності контролю, місцезнаходження об'єктів моніторингу, розташування точок контролю і методів моніторингу ПВМ. У програмі наведено організаційні та технічні заходи щодо забезпечення якості робіт, перелік і технологічна послідовність проведення робіт, а також загальні вимоги до забезпечення безпеки, захисту персоналу і навколишнього середовища.

Висновки

1. На сьогодні в об'єкті «Укриття» знаходиться близько 180 т (по урану) відпрацьованого ядерного палива із сумарною активністю близько $2,0 \cdot 10^{17}$ Бк. Після побудови нового безпечного конфайнмента під дією зовнішніх і внутрішніх факторів в об'єкті «Укриття» проходять процеси, які можуть дестабілізувати існуючий стан радіаційної та ядерної безпеки, а саме: збільшення інтенсивності руйнування ПВМ та утворення високоактивного радіоактивного пилу, висихання скупчень радіоактивної води, оголення донних відкладень і поява додаткових джерел радіоактивного пилу, а також зміна (за рахунок зменшення концентрації води) рівня підкритичності в потенційно ядерно-небезпечному скупченні ПВМ у приміщенні 305/2. Відповідно виникає необхідність переоцінки стану ядерної та радіаційної безпеки матеріалів, що діляться.

2. Виконано аналіз стану та класифікацію (розділено на три групи) скупчень ПВМ з точки зору їхньої ядерної безпеки. До першої групи було віднесено ті, властивості яких достатньо вивчені і які при будь-яких змінах умов їхнього зберігання залишатимуться ядерно-безпечними. До другої групи віднесено скупчення ПВМ, прийнятні гарантії ядерної безпеки яких можуть бути отримані лише після уточнення (за результатами додаткових досліджень) їхніх властивостей/параметрів. До третьої групи віднесено скупчення ПВМ, які являються потенційно ядерно-небезпечними і нейтронно-фізичні властивості яких на даний момент змінюються, у зв'язку з чим якнайшвидше необхідно розробити та впровадити заходи по підвищенню ефективності контролю їхнього рівня підкритичності і/або технічні рішення по превентивному придушенню/виключенню небезпечних параметрів.

3. Виконання робіт, наведених у «Програмі моніторингу ПВМ об'єкта «Укриття», дозволить підвищити ефективність контролю (моніторингу та оперативного регулювання) стану ПВМ та дасть можливість спрогнозувати несприятливі ситуації і вчасно розробити та впровадити превентивні методологічно-технічні заходи щодо забезпечення ядерної та радіаційної безпеки комплексу «НБК-ОУ».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Исследование* влияния изменений свойств топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» на его ядерную, радиационную и радиоэкологическую безопасность. Т. 2 «Изучение поведения топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» как фактора ядерной, радиационной и радиоэкологической опасности под воздействием внешних и внутренних факторов»: отчет о НИР (заключительный) / ИПБ АЭС НАН Украины. – Инв. № 4003. – Чернобыль, 2011. – 216 с.
2. *Розробка* науково-технічних засад та обґрунтування технічних рішень щодо вилучення ПВМ із об'єкта «Укриття» з використанням майбутнього безпечного конфайнмента та створення відповідної інфраструктури для подальшого поводження з ними: звіт про НДР (заключний) / ИПБ АЕС НАН України. – Арх. № 4018. – Чернобыль, 2014. – 450 с.
3. *База данных* по местонахождению и состоянию ядерного топлива 4-го энергоблока ЧАЭС до и после аварии. Проект № 2916 «Разработка модели поведения ядерного топлива во время активной стадии аварии» / Богатов С. А. и др. – Москва, 2007. – 147 с. – (Препр. / РНЦ «Курчатовский институт»; № 130-11/2).
4. *Исследование* влияния изменений свойств топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» на его ядерную, радиационную и радиоэкологическую безопасность. Т. 1 «Анализ процессов образования и поведения лавообразных топливосодержащих материалов при аварии на ЧАЭС»: отчет о НИР (заключительный) / ИПБ АЭС НАН Украины. – Инв. № 4003. – Чернобыль, 2011. – 124 с.
5. *Пазухин Э. М.* Новые количественные оценки ядерного топлива в помещении 305/2 объекта «Укрытие» / Э. М. Пазухин, А. С. Лагуненко, С. А. Довыдьков // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2010. – Вип. 14. – С. 85 – 94.
6. *Техническое обоснование* ядерной безопасности объекта "Укрытие" (ТОЯБ) / ИАЭ им. И. В. Курчатова. – М., 1990. – 130 с. – (Архив МНТЦ «Укрытие» НАН Украины, № 1605).
7. *Анализ* текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: отчет / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины, выполнен по соглашению № 3, по теме № 4 генерального договора № 1/95 между ПО ЧАЭС и МНТЦ «Укрытие». – Отв. исп. А. Боровой. – Арх. № 3601. – Чернобыль, 1996. – 272 с.
8. *Пазухин Э. М.* Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования, влияние на окружающую среду: дис. на соискание степени доктора техн. наук: 21.06.01 / Пазухин Э. М.; защищена 25.11.99; утверждена 01.09.2001. – Чернобыль, 1999. – 293 с.
9. *Анализ* текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: отчет о НИР / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. – Арх. № 3836. – Чернобыль, 2001. – 337 с.
10. *Лагуненко А. С.* Поиск и исследование скрытых скоплений топливосодержащих материалов разрушенного 4-го блока Чернобыльской АЭС: дис. на соискание степени кандидата техн. наук: 21 / Лагуненко А. С. – Киев, 2008. – 148 с.
11. *Справка* о количестве ядерного топлива на 4-м энергоблоке ЧАЭС в момент аварии, утвержденная главным инженером ПО ЧАЭС 30 января 1996 г. – 1 с.
12. *Арутюнян Р. В.* Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС / Р. В. Арутюнян, Л. А. Большов, А. А. Боровой и др. – М.: Наука, 2010. – 240 с.
13. *Моделирование* массовых и геометрических параметров скопления топливосодержащих материалов в юго-восточной части помещения 305/2 разрушенного 4-го блока ЧАЭС / В. А. Бабенко и др. // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2008. – Вип. 9. – С. 36 – 42.
14. *Ядерно-опасные* скопления топливосодержащих материалов в разрушенном четвертом блоке Чернобыльской АЭС / Е. Д. Высотский и др. // Радиохимия. – 2011. – Т. 53, № 2. – С. 178 – 183
15. *Лагуненко А. С.* Топливо в помещении 305/2. Возможный сценарий образования ядерно-опасных зон / А. С. Лагуненко, В. А. Краснов, С. А. Довыдьков // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2010. – Вип. 24. – С. 51 – 61.
16. *Образование* и растекание чернобыльских лав / С. А. Богатов и др. // Радиохимия. – 2008. – Т. 50, № 6. – С. 565 – 568.
17. *Техническая* оценка применения для объекта «Укриття» перечня нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов по ядерной и радиационной безопасности. Реферат № 023611-КНК, ГКЯРУ, 2001. – 13 с.
18. *Заявление* о политике регулирования ядерной и радиационной безопасности объекта "Укрытие" ПО Чернобыльская АЭС: приказ Министра Украины № 49 от 08.04.98.
19. *О статусе* объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС: решение Коллегии Государственного Комитета Украины по ядерной и радиационной безопасности, № 31 от 22.12.93.
20. *Модельные* и экспериментальные исследования эффективности нейтронного контроля топливосодержащих материалов в зонах критмассового риска: отчет о НИР (заключит.) / ИПБ АЭС НАН Украины. – Инв. № 3950. – Чернобыль, 2006. – 115 с.
21. *Исследование* ядерно-физических параметров и разработка методов и способов контроля и управления подкритичностью в зонах критмассового риска: отчет о НИР (заключит.) / ИПБ АЭС НАН Украины. – Инв. № 3998. – Чернобыль, 2010. – 127 с.

22. *Исследование* нейтронно-физических и физико-химических характеристик ядерно-опасных скоплений и разработка способов подавления их параметров критичности : отчет о НИР (заключит.) / ИПБ АЭС НАН Украины. – Инв. № 4021. – Чернобыль, 2015. – 127 с.
23. *Глоссарий* МАГАТЭ по вопросам безопасности : терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. – Вена : МАГАТЭ, 2007. – 295 с.
24. *Гражданская защита* : понятийно-терминологический словарь ; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. – М. : Флайст. Информ.-изд. центр «Геополитика», 2001, – 240 с.

В. А. Краснов, Р. Л. Годун

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

СОСТОЯНИЕ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ВНУТРИ НБК «АРКА» И ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ИХ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

По результатам ранее проведенных исследований выполнен анализ состояния и классификация скоплений топливосодержащих материалов (ТСМ) с точки зрения их ядерной безопасности. Обосновывается целесообразность проведения новых расчетно-экспериментальных исследований, необходимых для эффективного контроля потенциально ядерно-опасных скоплений в условиях комплекса «НБК–ОУ», а также разработка и внедрение превентивных мер по исключению рисков опасных изменений уровня подкритичности внутри этих скоплений ТСМ. Решение текущих проблем по обеспечению ядерной и радиационной безопасности комплекса «НБК–ОУ» возможно в рамках «Программы мониторинга ТСМ объекта "Укрытие"», которая предусматривает разработку новых подходов и методов при обращении с ТСМ, радиоактивно загрязненной водой и радиоактивной пылью при преобразовании объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Ключевые слова: топливосодержащие материалы, объект «Укрытие», новый безопасный конфайнмент, программа мониторинга топливосодержащих материалов, переоценка состояния и классификация топливосодержащих материалов.

V. A. Krasnov, R. L. Godun

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

THE STATE OF FUEL-CONTAINING MATERIALS INSIDE THE NSC "ARKA" AND PROBLEMS WHICH CONNECTED WITH THE ENSURING OF THEIR NUCLEAR AND RADIATION SAFETY

According to the results of previous studies, an analysis of the state and classification of FCM clusters (from the point of view of their nuclear safety) was performed. It justifies the expediency of conducting new computational and experimental studies that necessary for the effective control of potentially nuclear-dangerous clusters inside the NSC-SO's complex, as well as the development and implementation of preventive measures to eliminate the risks of dangerous changes of subcriticality's level of these FCM clusters. The solution of current problems regarding the ensuring of nuclear and radiation safety of NSC-SO is possible within the framework of implementation of the "Program of monitoring of the FCM inside SO", which provides for the development of new approaches and methods for FCM's management, radioactive contaminated water and radioactive dust at all stages of operation of the NSC-SO's complex.

Keywords: fuel-containing materials, Shelter object, New Safe Confinement, FCMs' monitoring program, reassessment of status FCM and their classification

REFERENCES

1. *Investigation* of the effect of changes in the properties of fuel-containing materials of the Shelter on its nuclear, radiation and radio-ecological safety. V. 2 "Study of the behavior of fuel-containing materials of the Shelter as a factor of nuclear, radiation and radio-ecological hazards under the influence of external and internal factors": Research Report (final) / IPA NPP NAS of Ukraine. – Inv. No. 4003. – Chernobyl, 2011. – P 216. (Rus)
2. *Awareness* of technical work on the subject of technical training and technical support of the SO area on the theme of NSC technical training and technical assistance on the subject of technical and technical support. – Arch. No. 4018. – Chernobyl, 2014. – P 450. (Rus)
3. *Bogatov S. A.* Database on the location and state of nuclear fuel of the 4th power unit of the ChNPP before and after the accident. Project No. 2916 "Development of a model of nuclear fuel behavior during the active stage of an accident" / S. A. Bogatov et al. – Moskva, 2007. – 147 p. – (Preprint / RRC Kurchatov Institute; № 130–11/2). (Rus)
4. *Investigation* of the effect of changes in the properties of fuel-containing materials of the Shelter on its nuclear, radiation and radioecological safety. T.1 "Analysis of the processes of formation and behavior of lava-like fuel-containing materials in the Chernobyl accident": Report on research (final) / IPA NPP NAS of Ukraine. – Inv. No. 4003. – Chernobyl, 2011. – P 124. (Rus)

5. *Pazukhin E. M.* New quantitative estimates of nuclear fuel in the 305/2 Shelter room / Pazukhin E. M., Lagunenکو A. S., Dovydkov S. A. / Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly). – 2010. – Iss. 14. – P. 85 – 94. (Rus)
6. *Technical rationale for the nuclear safety of the Shelter Object (TOYAB) / IAE them. I. V. Kurchatov*, – Moskva, 1990. – 130 p. – (Arch. ISTC "Shelter" № 1605). (Rus)
7. *Analysis of the current safety of the Shelter and forecast estimates of the development of the situation: (Report) / ISTC Shelter of the National Academy of Sciences of Ukraine. Ed. isp. A. Borovoy*. – Arch. No. 3601. – Chernobyl, 1996. – P 272. (Rus)
8. *Pazukhin E. M.* Lavalike fuel-containing masses of the 4th unit of the Chernobyl nuclear power plant: topography, physical and chemical properties, educational scenario, environmental impact : Thesis for the co-search for the degree of doctor tehn. Sciences: 21.06.01. – Protected on November 25, 1999; Approved 01.09.2001. – Chernobyl, 1999. – P 293. (Rus)
9. *Analysis of the current safety of the Shelter object and projected estimates of the development of the situation: Report on the research / ISTC Shelter*. – Arch. No. 3836. – Chernobyl, 2001. – P 337. (Rus)
10. *Lagunenکو A. S.* Search and study of hidden accumulations of fuel-containing materials of the destroyed 4th block of the Chernobyl NPP: Thesis for the degree of candidate tehn. Sciences : 21.06.01 / Lagunenکو A. S. – Kiev, 2008. – P 148. (Rus)
11. *Information on the amount of nuclear fuel at the 4th power unit of the ChNPP at the time of the accident*, approved by the chief engineer of the ChNPP production association on January 30, 1996 – P 1. (Rus)
12. Arutyunyan R. V. Nuclear fuel in the Shelter of the Chernobyl NPP / R. V. Arutyunyan, L. A. Bolshov, A. A. Borovoy et al. – Moskva : Nauka, 2010. – P 240. (Rus)
13. *Modeling mass and geometrical parameters of accumulation of fuel-containing materials in the south-eastern part of the room 305/2 of the destroyed 4th block of the Chernobyl Nuclear Power Plant / V. A. Babenko et al. / Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly).. – 2008. – Iss. 9. – P 36 – 42. (Rus)*
14. *Nuclear-hazardous accumulations of fuel-containing materials in the destroyed fourth unit of the Chernobyl NPP / Ye. D. Vysotsky et al. // Radiochemistry*. – 2011. – Vol. 53, No. 2. – P. 178 – 183 (Rus)
15. *Lagunenکو A. S.* Fuel in the room 305/2. A possible scenario for the formation of nuclear-hazardous zones / A. S. Lagunenکو, V. A. Krasnov. A. S. Dovydkov // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly). – 2010. – Iss. 24. – P. 51 – 61. (Rus)
16. *Formation and spreading of Chernobyl lavas / S. A. Bogatov et al. // Radiochemistry*. – 2008. – T. 50, No. 6. – P. 565 – 568. (Rus)
17. *Technical assessment of the application for the Shelter object of the list of normative legal acts and normative and technical documents on nuclear and radiation safety. Abstract No. 023611 – KNK, NCRU, 2001. – P 13. (Rus)*
18. *Policy Statement on the Regulation of Nuclear and Radiation Safety of the Shelter of the Chernobyl Nuclear Power Plant : order of the Minister of Ukraine No. 49 of 04/08/1998. (Rus)*
19. *On the status of the “Shelter” object of the Chernobyl NPP : Decision of the Board of the State Committee of Ukraine on Nuclear and Radiation Safety, No. 31, 12/22/93. (Rus)*
20. *Model and experimental studies of the effectiveness of neutron control of fuel-containing materials in critical mass risk zones : research report (conclude) / IPA NPP of the National Academy of Sciences of Ukraine. – Inv. No. 3950. – Chernobyl, 2006. – P 115. (Rus)*
21. *Investigation of nuclear – physical parameters and development of methods and methods for monitoring and managing subcriticality in critical mass risk zones: research report (conclude) / IPA of NPPs of the NAS of Ukraine. – Inv. No. 3998. – Chernobyl, 2010. – P 127. (Rus)*
22. *Investigation of neutron-physical and physic-chemical characteristics of nuclear-hazardous clusters and development of methods for suppressing their criticality parameters : research report (conclude) / IPA NPP of NAS of Ukraine. – Inv. No. 4021. – Chernobyl, 2015. – P 127. (Rus)*
23. *IAEA Safety Glossary : Terminology used in the field of nuclear safety and radiation protection. – Vienna : IAEA, 2007. – P 295. (Rus)*
24. *Civil protection : conceptual and terminological dictionary ; under total ed. Yu. L. Vorobyova. – Moskva : Flyst. Inform. – Ed. Center "Geopolitics", 2001. – P 240. (Rus)*

Надійшла 26.02.2019
Received 26.02.2019