

М. В. Пашинов, С. С. Підберезний, С. А. Паскевич, О. В. Балан, Ф. В. Ланських*

*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна
*Чорнобильський центр з проблем ядерної безпеки, радіоактивних відходів та радіоекології,
вул. 77-ї Гвардійської дивізії, 11, Славутич, 07100, Україна*

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ HVRC VRDOSE PLANNER ДЛЯ ОЦІНКИ ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ПЕРСОНАЛУ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ У РАДІАЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ УМОВАХ

Представлено результати тривимірного моделювання умов роботи персоналу в радіаційно-небезпечних умовах об'єкта «Укриття», виконаного за допомогою програмного комплексу HVRC VRdose Planner. Оцінено дозові навантаження на персонал при здійсненні робіт із демонтажу металеві ферми підсилення на покрівлі об'єкта «Укриття». Отримані дані моделювання показали добру збіжність із даними, що були отримані при розробці робочого проекту демонтажу цієї конструкції.

Ключові слова: HVRC VRdose Planner, 3D моделювання, металева ферма.

Вступ

Об'єкт «Укриття» є радіаційно-небезпечним об'єктом на якому здійснюється великий об'єм робіт із перетворення його на надійну, екологічно безпечну систему. Проміжним етапом в забезпеченні довкілля від негативного впливу об'єкта «Укриття» є спорудження нового захисного укриття – нового безпечного конфайнмента (НБК). Час існування НБК розраховано на 100 років. За цей період необхідно демонтувати конструкції об'єкта «Укриття», що можуть обвалитися [1], а також провести вилучення найбільш небезпечних скупчень, що містять ядерне паливо [2]. Відповідно до проектних критеріїв [3] необхідно провести демонтаж 18 нестабільних будівельних конструкцій об'єкта «Укриття» впродовж періоду раннього демонтажу, що має закінчитися до 2023 р., та 10 конструкцій відкладеного демонтажу до 2027 р.

Демонтування нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» є складним технологічним процесом, що передбачає перебування персоналу як у небезпечних радіаційних умовах, так і в умовах, де доступ до зон виконання робіт (ЗВР) ускладнений. Крім того, покрівлі об'єкта «Укриття» є похилими, що ускладнює не тільки пересування персоналу, а й ускладнює доступ до місць виконання операцій (різання, стропування тощо). Усе це несе великі ризики ушкоджень та травм працівників, що вимагає посиленої уваги до забезпечення заходів безпеки. З огляду на це, проектування робіт із демонтажу має враховувати всі негативні чинники та базуватися на оптимальних проектних рішеннях.

Сьогодні існує ефективний інструмент оцінки доз опромінення людини - HVRC VRdose Planner (далі – програмний комплекс), розроблений Інститутом енергетичних технологій (Норвегія). Він дає змогу інтерпретувати радіологічну інформацію на основі тривимірних моделей радіаційно-небезпечних об'єктів, де планується здійснюватися діяльність людини. Програмний комплекс дозволяє створювати віртуальні моделі кожного робітника та відтворити детальний технологічний процес демонтажу конструкцій за участю людини. При цьому створюється візуальне зображення поведінки персоналу на всіх етапах проведення робіт. Програмний комплекс створений для планування та здійснення робіт у складних радіаційних умовах, дозволяє провести оптимізацію радіологічного захисту [<http://www2.hrp.no/vr/vrdose/readme.txt>] та вибрати найбезпечніші сценарії виконання операцій.

У 2015 р., за ініціативи ДСП ЧАЕС, було розроблено проект демонтажу однієї з конструкцій, що входить до переліку «раннього» демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття». Інститутом проблем безпеки АЕС НАН України (ІПБ АЕС) було виконано розробку звіту з аналізу безпеки (ЗАБ) [4], в якому виконано аналіз радіаційних умов у ЗВР, запропоновано технології проведення демонтажних робіт металеві ферми (включаючи способи фрагментації конструкцій, доставки персоналу в ЗВР та ін.) та обчислено дози опромінення персоналу, який буде залучено до робіт із демонтажу. Правильність проведених розрахунків підтверджено результатами експертизи проекту, які виконані державними регулюючими органами.

Отже, верифікація результатів, що отримані при проектуванні демонтажу ферми за допомогою програмного комплексу, є нагодою для оцінки придатності застосування для інших проектних робіт, що будуть виконуватися як у рамках робіт із перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну

© М. В. Пашинов, С. С. Підберезний, С. А. Паскевич, О. В. Балан, Ф. В. Ланських, 2018

систему, так і в проектах виведення енергоблоків ЧАЕС з експлуатації. Основною метою моделювання було:

провести адаптацію тривимірних моделей конструкцій об'єкта «Укриття», які були розроблені в ІПБ АЕС для програмного комплексу;

візуалізувати дані потужностей ефективної дози (ПЕД), що сформувалися на покрівлі об'єкта «Укриття» та на поверхнях металеві ферми підсилення при проведенні обстежень. Оволодіти технікою створення тривимірних радіаційних полів;

розробити віртуальні сценарії виконання всього комплексу робіт із демонтажу металеві ферми підсилення та провести обчислення накопиченої дози кожного з віртуальних учасників роботи;

порівняти дані щодо опромінення персоналу, використані при розробці ЗАБ «Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС у частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі», з даними, отриманими за допомогою програмного комплексу.

Методи досліджень

Програмний комплекс дає змогу інтерпретувати радіологічну інформацію на основі тривимірних моделей радіаційно-небезпечних об'єктів, на яких планується робота людини. Дане програмне забезпечення у своєму коді має математичний апарат, який здатен розраховувати накопичені дози персоналу в режимі реального часу.

Формування карти радіаційного забруднення можливе за допомогою самої програми, в інтерфейсі якої є база даних із вибором типу джерела та можливості задання фізичних параметрів (активність, густина, маса тощо). Також є можливість формувати радіаційну обстановку використовуючи точні дані вимірювань на об'єктах – режим «Dose Map».

У базі даних програми є віртуальні образи персоналу та присутня можливість оснащати персонал різними типами приладів, що унаочнює робочий процес, моделювати рух персоналу по заданих маршрутах.

Програмний комплекс передбачає можливість імпортувати 3D моделі будь-яких об'єктів і будь-якої складності.

Точність розрахунків програмного комплексу була неодноразово перевірена на реальних об'єктах. Так, у 2008 р. за допомогою програмного комплексу було оцінено можливість вивантаження відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) у бухті Андрєєва [6]. В інших [7, 8] також наводиться використання даного програмного комплексу для моделювання накопичення доз опромінення персоналом.

Результати проведених розрахунків

Для виконання моделювання процесу демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі використовувалася 3-вимірна модель покрівлі, на якій будуть проводитися роботи.

Конструкція металеві ферми підсилення південної покрівлі

Південна покрівля об'єкта «Укриття» є складним технічним елементом, яка утворена з плоских щитів та щитів-ключок. Причиною демонтажу цих елементів стали результати аналізу [5], де встановлено, що ймовірність відмови щитів-ключок при екстремальному вітровому навантаженні була надзвичайно високою і неприйнятною. Тому у 2006 р. була виконана стабілізація південної покрівлі (стабілізаційний захід № 8) шляхом об'єднання плоских щитів і щитів-ключок в єдину конструктивну систему за допомогою металеві ферми.

Положення металоконструкції ферми підсилення збіглося з місцем розташування трубопроводів МСПП південної зони та трапів шляхів доступу до її вхідних форсунок. У зв'язку з цим для переходу через металоконструкції ферми до трапів шляхів доступу МСПП (між осями 49 - 50 та 40 - 41) були закріплені спеціальні містки.

Моделювання радіаційних умов у зоні демонтажу металеві ферми

Для оцінки доз опромінення персоналу під час виконання радіаційно-небезпечних робіт співробітниками ІПБ АЕС було розроблено документ – ЗАБ 301503.201.006-ЗАБ/ІПБ АЕС НАНУ [4]. У ньому описується весь процес демонтажу, включаючи розробку маршрутів руху персоналу на всіх етапах виконання робіт, і оцінено час, протягом якого всі роботи по демонтажу будуть виконуватися.

Програмний комплекс дозволяє візуалізувати весь сценарій демонтажу кожного фрагмента металевої ферми. Але якщо у випадку [4] для розрахунку величини опромінення персоналу використовувалися консервативні величини потужності дози, то у програмному комплексі є можливість використовувати реальні значення ПЕД на південній покрівлі об'єкта «Укриття».

Для описання радіаційних умов використовувалися вихідні дані, що відповідають розрахованим значенням вимірних величин ПЕД у місцях виконання робіт. Дослідження південної покрівлі проводилося у 2000 р., а величини доз опромінення за допомогою коефіцієнтів перераховувалися (рис. 1).

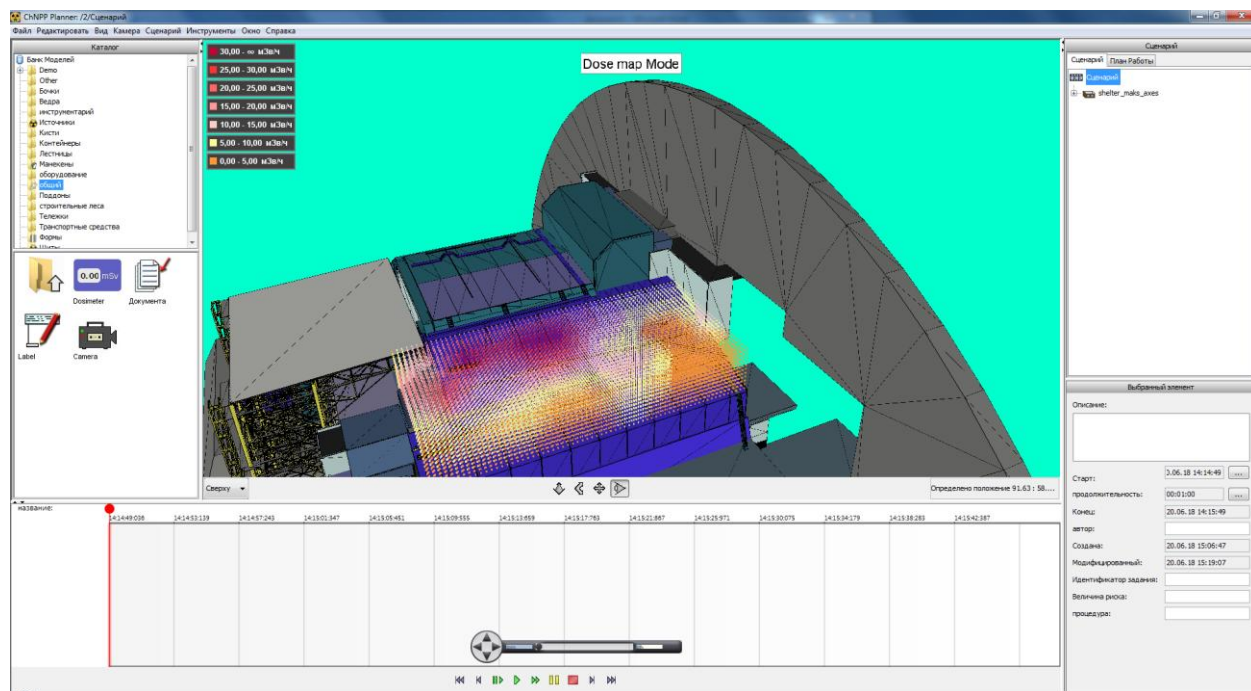


Рис. 1. Загальний вигляд моделі для проведення моделювання демонтажу південної покрівлі.

Наступним етапом є моделювання поведінки персоналу в ЗВР відповідно до сценаріїв виконання радіаційно-небезпечних робіт. У програмному комплексі вже реалізована можливість використовувати віртуальні образи персоналу за допомогою спеціальної бази даних та забезпечувати їх певним обладнанням (гайковими ключами, інструментами для різання, щітками тощо).

Для моделювання руху персоналу в ЗВР (рис. 2) необхідна траєкторія руху персоналу під час виконання радіаційно-небезпечних робіт, а також час на виконання цих робіт. Маючи вихідні дані, можливо розрахувати накопичену дозу, яку отримає кожен член бригади або група людей під час проведення робіт. Крім чисельного значення накопиченої дози, програмний комплекс дає можливість отримати карту дозового навантаження за весь час роботи (рис. 3).



Рис. 2. Віртуальні образи персоналу, який буде виконувати процес механічної різки металу за допомогою «болгарок».

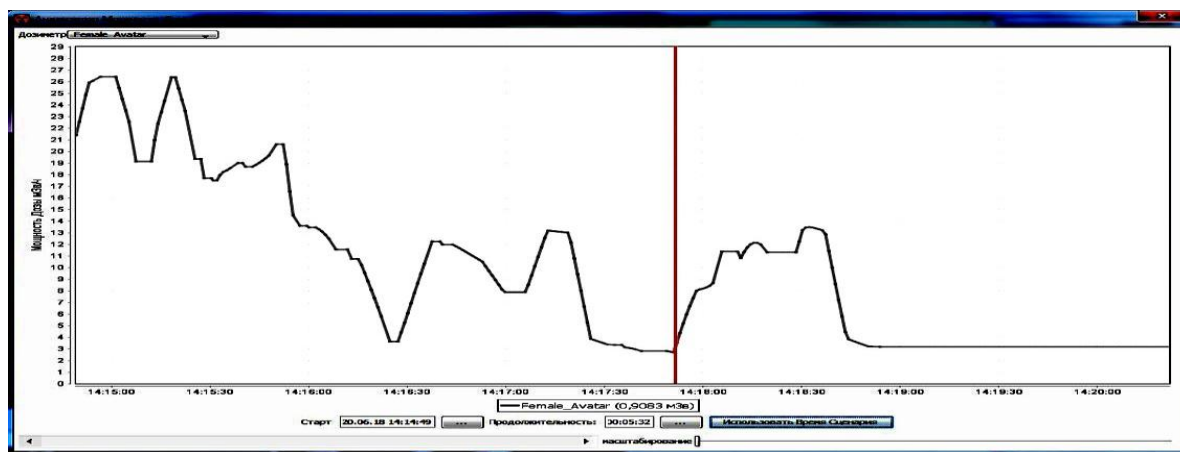


Рис. 3. Зразок карти радіаційного навантаження для члена бригади під час виконання радіаційно-небезпечних робіт.

Проведення моделювання процесу демонтажу фрагмента металевої ферми Ф1

Фрагмент ферми Ф1 є першим етапом демонтажу металевої ферми підсилення південної покрівлі об'єкта «Укриття» (див. рис. 3). Згідно з [4] після проведення всіх підготовчих робіт, таких як прокладання кабелів з розетками, монтаж світильників, вантаження контейнерів із конструкціями та матеріалами тощо, будуть проводитися безпосередньо самі роботи в умовах високого радіаційного навантаження. Для демонтажу ферми Ф1 на південній покрівлі будуть виконуватися такі роботи:

- закриття гнучких трубопроводів мобільної системи пилопридушення (МСПП);
- проведення маркування фарбою кронштейнів С1 – С4;
- зрізання за допомогою механічної різки кріплень ходових містків до щитів покрівлі об'єкта «Укриття»;
- стропування вузлів С1 – С4;
- розрізання кронштейнів С1 – С4 ручним апаратом повітряно-плазмового різання.

Проведення маркування фарбою кронштейнів С1 – С4

Згідно з [4] на виконання цього процесу потрібно 0,3 год на маркування фарбою ланок північних ходових трапів (ПнХТ) та 0,2 год на маркування південних ходових трапів (ПдХТ).

Розрахунок часу на виконання маркування ПдХТ. На маркування 6 ланок – С1, С2, С5, С6, С9, С10 – витрачається 12 хв. Тоді на одну ланку витрачається 2 хв, або 120 с. Якщо врахувати, що 20 % часу персонал витрачає на шлях до кожної ланки, тобто 24 с, то сумарний час, який необхідний одній людині для нанесення фарби на один кронштейн, становитиме 96 с, або 1 хв 36 с.

Оскільки групі, яка буде наносити фарбу на ПнХТ потрібно 0,3 год на фарбування семи кронштейнів – С3, С4, С7, С8, С11, С12, С13, то для нанесення фарби на один кронштейн потрібно $18/7 = 2,57$ хв, або 155 с. Оскільки верхня група виконує нанесення фарби за 96 с, а 24 с витрачає на шлях до наступної ланки, то сумарний час, який витрачає група, щоб перейти від місця виходу до місця виконання роботи, $155 - 120 = 35$ с. Тобто час, який необхідний кожному з персоналу для подолання відстані між ПдХТ та ПнХТ, становить по 17,5 с на кожну із сторін. Після подолання цього шляху час, який витрачає персонал на роботу та подолання шляху до наступного кронштейна, такий самий, що й у першій групі.

Оскільки ширина ферми 10 м, для подолання цієї відстані один член бригади витрачає 17,5 с. Для консервативного врахування всіх перепон, які можуть бути на шляху кожного з членів персоналу, середня швидкість, якою буде пересуватися персонал під час виконання всіх видів робіт, буде 0,75 м/с.

Після виконання індивідуальних робіт кожен із персоналу має повернутися до захисної kabіни, що знаходиться біля осі 49, що забезпечує фізичний захист від випромінювання. Вважається, що в захисній kabіні вплив радіації на персонал буде мінімальним.

Для випадку Ф1 нанесення фарби виконувється для чотирьох кронштейнів, чотирма особами, кожна з яких нанесе маркування на один кронштейн. Час перебування в ЗВР для кожного різний – відповідно і величина опромінення буде відрізнятись. Людина, яка буде розташовуватися якнайдалі від місця виходу і в умовах найгіршої радіаційної обстановки, матиме найбільшу шкоду. Загальний вигляд процесу нанесення маркування фарби на кронштейни фрагмента ферми Ф1 наведено на рис. 4.

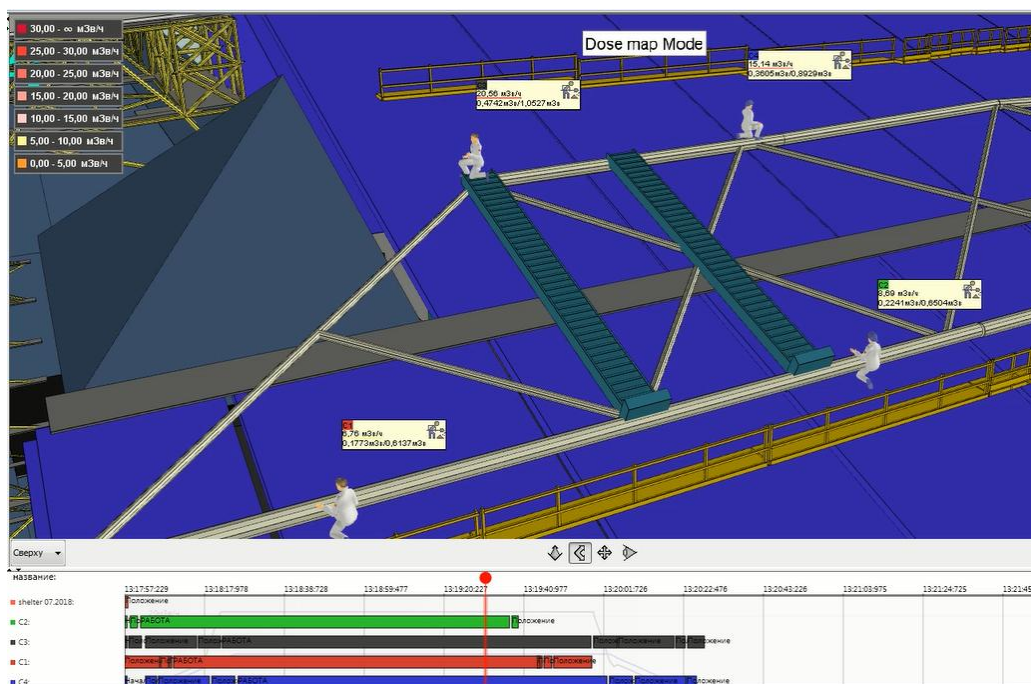


Рис. 4. 3Д модель процесу нанесення маркування фарбою кронштейнів фрагмента ферми Ф1.

Результати моделювання для кожного з робітників наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Дози опромінення при нанесенні маркування фарбою на фрагмент Ф1

Місце нанесення	Час виконання роботи, с	Накопичена доза, мЗв
C1	122	0,24
C2	102	0,25
C3	150	0,578
C4	152	0,74

Як видно з результатів моделювання, то практично всі робітники мали схожий із попередніми розрахунками час виконання робіт. Єдиний робітник C2 виконав всю роботу на 18 с швидше. Це, насамперед, пов'язано з подоланням найкоротшого шляху до зони виконання робіт.

Аналіз результатів моделювання

Після моделювання всіх ланок процесу демонтажу фрагмента ферми Ф1, використовуючи [4], є можливість перевірити відповідність величин доз опромінення персоналу.

Варто зазначити, що використовуючи дані розрахунків з таблиці 3.28 [4], в якості порівняльних параметрів використовуються такі величини:

$N_{\text{лан}}$ – кількість робітників в одній ланці;

t_p – час, який необхідний одній ланці на виконання роботи;

E_0 – сумарна індивідуальна ефективна доза опромінення персоналу;

t_p – час, який витрачено на виконання роботи під час моделювання;

E_0 , мЗв – сумарна індивідуальна ефективна доза опромінення персоналу.

Аналіз відповідності змодельованих значень порівнювався з [4] і наведений у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльний аналіз відповідності значень доз опромінення

Вид роботи (пункт ЗАБ)	N _{ЛАН}	t _p [4], с	E ₀ [4], мЗв	t _p модель, с	E ₀ модель, мЗв
1. Закриття гнучких трубопроводів МСПП, верхнього поясу (2.12). Точка 1	2	690	4,83	690	2,53
					1,85
2. Закриття гнучких трубопроводів МСПП, верхнього поясу (2.12). Точка 2	2	690	4,83	690	2,85
					2,58
3. Закриття гнучких трубопроводів МСПП, верхнього поясу (2.13). Точка 3	2	648	4,94	648	3,8
					3,55
4. Закриття гнучких трубопроводів МСПП, нижнього поясу (2.13). Точка 4	2	648	4,94	648	4,48
					3,78
5. Проведення маркування фарбою кронштейна С1 (2.10)	1	120	0,4	122	0,24
6. Проведення маркування фарбою кронштейна С2 (2.10)	1	120	0,4	102	0,25
7. Проведення маркування фарбою кронштейна С3 (2.9)	1	155	0,494	150	0,578
8. Проведення маркування фарбою кронштейна С4 (2.9)	1	155	0,494	152	0,74
9. Зрізання кріплень ходових містків верхнього поясу ферми (2.7)	2	720 (кожний)	4,92 (кожний)	680	1,62
				670	1,5
10. Зрізання кріплень ходових містків нижнього поясу ферми (2.8)	1	823	4,18	706	2,72
11. Стропування вузла С1 (2.14-2)	2	720	1,85	678	1,26
				682	1,42
12. Стропування вузла С2 (2.14-4)	2	720	2,16	685	1,74
				716	1,78
13. Стропування вузла С3 (2.14-1)	2	720	4,81	683	3,9
				693	3,43
14. Стропування вузла С4 (2.14-3)	2	720	4,36	692	2,9
				696	2,67
15. Розрізання кронштейнів С1 (2.18-1)	2	1080	2,36	1045	2,18
				1044	1,93
16. Розрізання кронштейнів С2 (2.18-2)	2	1080	2,84	1047	2,28
				1049	2,83
17. Розрізання кронштейнів С3 (2.20-1)	2	1080	4,14	1045	6
				1049	5,3
18. Розрізання кронштейнів С4 (2.20-2)	2	1080	4,14	1054	4,4
				1053	3,9

Варто додати, що для останніх трьох пунктів виконання робіт порівняння результатів моделювання розділено на 2 значення – це результати для кожного члена бригади, який працює в парі, тобто дози опромінення двох осіб.

Результати моделювання

Результати моделювання для пунктів 5, 6 не перевищують значення розрахованих у [4] величин.

Що стосується місць маркування С3, С4, то при нанесенні маркування на кожному з місць персонал отримає дозу опромінення більшу, ніж та, що прийнята в [4].

Результати моделювання показують, що для пункту 2.9 нанесення маркування для кронштейнів С3, С4 – спостерігається перевищення розрахованої в [4] дози опромінення. Це, насамперед, пов'язано з недостатнім визначення максимальної потужності дози. Згідно з [4], величина ПЕД, взята при розрахунку, 18 мЗв. Під час моделювання спостерігалися ділянки, на яких ПЕД досягала значень 21 мЗв. Такі відхилення від проектних значень можуть призводити до того, що бригада персоналу може отримати не очікувано вищі дози опромінення.

Для кронштейна С4 спостерігається перевищення отриманої дози на 33 % порівняно з [4].

Подібний ефект спостерігається при остаточному відділенні (розрізанні) кронштейнів С3 та С4. Персонал під час виконання цих робіт знаходиться у вищому радіаційному навантаженні порівняно з прийнятим у [4].

Використовуючи детальну карту радіаційного забруднення, вдалося отримати більш точну оцінку доз опромінення персоналу, який виконує радіаційно-небезпечні роботи. Отримані значення для деяких процесів роботи перевищили величини доз опромінення, прораховані за допомогою концептуального методу. Маючи детальніше уявлення про радіаційний стан на майданчику виконання робіт, є можливість збільшити рівень захисту персоналу та зменшувати час перебування в умовах високих радіаційних полів.

Результати моделювання для пунктів 9 і 10 дають цілком задовільні результати при моделюванні цього процесу. Ні один із робітників не отримав дозу опромінення, вище розрахованої.

Результати моделювання:

для пунктів 11 - 14 для всіх місць стропування мають задовільні показники. Ні один із робітників не отримав дозу опромінення понад норми;

для пунктів 15 і 16 для кронштейнів С1 та С2 мають задовільні показники, для місця різки С2 другий робітник майже добрав розрахований в [4] показник дози опромінення – 2,84 мЗв;

для пунктів 17 і 18 для кронштейнів С3 та С4 спостерігається суттєве перевищення значень доз опромінення. Для місця С3 – перший робітник отримує майже на 30 % дози більше, ніж розраховано. Єдине значення, що лежить нижче прорахованих в [4], – це доза опромінення для місця С4 другим робітником 3,9 мЗв, при дозволений 4,14 мЗв.

Висновки

1. Уперше проведено тривимірне моделювання радіаційно-небезпечних умов на покрівлях об'єкта «Укриття» для роботи персоналу, який буде задіяний у роботах із демонтажу нестабільних конструкцій.

2. За допомогою програмного комплексу створено цифрові моделі кожного з працівників, який буде брати участь у демонтажних роботах, та проведено віртуальне моделювання виконання основних етапів та операцій із демонтажу металеві ферми. Моделювання проведено на основі розроблених детальних сценаріїв операцій з обґрунтуванням витрат часу на виконання операції.

3. За допомогою програмного комплексу проведено розрахунки доз опромінення персоналу при виконанні основних операцій із демонтажу металеві ферми та порівняння з ЗАБ. Дані, отримані у програмному комплексі, добре корелюються з даними проекту. Для операцій, що за радіаційними умовами подібні, рівні опромінення також однакові. Однак програмний комплекс дає змогу більш точно моделювати дози опромінення у просторі й саме тому для певних операцій рівні опромінення на 20 – 30 % вищі від проектних. Це пояснюється більш точними оцінками радіаційних умов порівняно з розрахунками, виконаними консервативними методами. При використанні реальних радіаційних умов ПЕД на місці виконання робіт є не постійною величиною, а динамічною, таким чином сумарна накопичена за весь час роботи доза опромінення вираховується з більшою точністю. Маючи детальніше уявлення про радіаційний стан на майданчику виконання робіт, є можливість збільшити рівень захисту персоналу та зменшувати час перебування в умовах високих радіаційних полів.

4. Програмний комплекс є зручним та наочним засобом для проведення як розрахунків оцінених доз опромінення в радіаційно-небезпечних умовах, так і уможливорює швидке та наочне моделювання альтернативних варіантів виконання робіт, тобто дає змогу проводити оптимізацію процесу виконання робіт та поведінки персоналу в радіаційно-небезпечних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Отчет* о переоценке состава нестабильных конструкций ОУ, подлежащих «раннему» демонтажу. SIP 09-2-001 NI 03 RPT 037 05.
2. *Стратегія* перетворення об'єкта «Укриття», 2001.
3. *Проектные критерии и требования к инфраструктуре НБК для демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие»* // SIP 03 1 003 07 DCR 001 03 . ГУП ПОМ. 2008.
4. *ЗАБ 301503.201.006-ЗАБ/ПБ АЕС НАНУ. Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі*, 2016.
5. *Интегрированный отчет стабилизационных мероприятий*. Пакет А «Гражданское проектирование», Задача А1 «Интеграция и мобилизация проектов стабилизации и экранирования (WBS A01 14100 – Doc. 1.6a, ред. 0 от 15.09.99)/ ICC (МК)JV. Киев – Чернобыль, 1999.
6. *3D simulation as a tool for improving the safety culture during remediation work at Andreeva Bay* / К. Chizhov, M. K. Sneve. – Society for Radiological Protection, 2014.

7. *Human-centred radiological software techniques supporting improved nuclear safety* / István Szöke, JOHNSEN Terje. – Nuclear Safety and Simulation, 2013.
8. *Comprehensive support for nuclear decommissioning based on 3D simulation and advanced user interface technologies* / Michael N. Louka, Tom-Robert Bryntesen. – Journal of Nuclear Science and Technology, 2017.

М. В. Пашинов, С. С. Подберезный, С. А. Паскевич, О. В. Балан, Ф. В. Ланских*

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, ул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна
**Чернобыльский центр по проблемам ядерной безопасности, радиоактивных отходов и радиэкологии,*
ул. 77-й Гвардейской дивизии, Славутич, 07100, Украина

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ HVRC VRDOSE PLANNER ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ В РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты трехмерного моделирования условий работы персонала в радиационно-опасных условиях объекта «Укрытие», выполненного с помощью программного комплекса HVRC VRdose Planner. Оценены дозовые нагрузки на персонал при выполнении работ по демонтажу металлической фермы на кровле объекта «Укрытие». Полученные данные моделирования показали хорошую сходимость с данными, которые были получены при разработке рабочего проекта демонтажа этой конструкции.

Ключевые слова: HVRC VRDose Planner, 3D моделирование, металлическая ферма.

M. V. Pashynov, S. S. Pidbereznyy, S. A. Paskevych, O. V. Balan, F. V. Lanskyh*

Institute for safety problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine
**Chernobyl Center with problems of nuclear safety, radioactive waste and radioecology,*
77-th Gvardiis'ka Dyviziya str., 11, Slavutych, 07100, Ukraine

RESULTS OF THE USE OF THE HVRC VRDOSE PLANNER FOR ASSESSING EXPOSURE DOSES OF PERSONNEL WHEN PERFORMING WORK IN RADIATION HAZARDOUS CONDITIONS

The results of 3D modeling of personnel's working conditions in radiation hazardous conditions of the "Ukrytya" object performed with the HVRC VRdose Planner software. Dose loads were assessed for personnel during the dismantling of the metal frame on the roof of the "Ukrytya" object. The obtained modeling data showed good convergence with the data that was obtained during the development of a working design for the dismantling of this construction. These simulations are very well correlated to the results of the safety analysis report. For operations with similar radiation conditions, radiation levels are also the same. However, the HVRC VRdose Planner software allows for more accurate modelling of radiation doses in space, and for this reason, for certain operations, exposure levels are 20 – 30 % higher than the design levels. This is explained by more precise estimates of radiation conditions compared to calculations performed by conservative methods. With a more detailed understanding of the radiation situation at the work site, it is possible to increase the level of personnel protection and reduce the time spent in high radiation fields. The values of radiation doses, which are calculated not by the conservative, but by the actual method, may be used for further activity on the "Ukrytya" object.

Keywords: HVRC VRDose Planner, 3D modelling, metal farm.

REFERENCES

1. *Report on the reassessment of the composition of unstable OS structures subject to "early" dismantling.* SIP 09-2-001 NI 03 RPT 037 05. (Rus)
2. *The strategy of re-inventing the "Ukrytya" object,* 2001. (Ukr)
3. *Design criteria and requirements for the NSC infrastructure for dismantling the unstable structures of the «Ukrytya» object // SIP 03 1 003 07 DCR 001 03.* ГУП ПОМ. 2008. (Rus)
4. *SAR 301503.201.006-3АБ/ISP NPP NASU – Reconstruction of the "Ukrytya" object of the Chornobyl NPP in connection with the dismantling of the southern roof reinforcement of a metal farm,* 2016. (Ukr)
5. *Integrated report of stabilization measures. Package A "Civil Engineering", Task A1 "Integration and mobilization of stabilization and screening projects (WBS A01 14100 – Doc. 1.6a, 15.09.99)/ ICC (MK)JV.* Kyiv – Chornobyl, 1999. (Rus)
6. *3D simulation as a tool for improving the safety culture during remediation work at Andreeva Bay / K. Chizhov, M. K. Sneve.* – Society for Radiological Protection, 2014.
7. *Human-centred radiological software techniques supporting improved nuclear safety* / István Szöke, JOHNSEN Terje. – Nuclear Safety and Simulation, 2013.
8. *Comprehensive support for nuclear decommissioning based on 3D simulation and advanced user interface technologies* / Michael N. Louka, Tom-Robert Bryntesen. – Journal of Nuclear Science and Technology, 2017.

Надійшла 11.09.2018
Received 11.09.2018