

**О. В. Балан, В. Г. Батій, С. І. Глебкін, О. С. Лагуненко,  
С. С. Підберезний, В. М. Рудько, В. М. Щербін**

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

## **ПРИНЦИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З ВИЛУЧЕННЯ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВЕРХНІХ ВІДМІТОК ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**

Розроблено загальну послідовність проведення робіт та принципові технологічні рішення з урахуванням технічних особливостей дистанційно керованих агрегатів та системи основних кранів нового безпечного конфайнмента по вилученню паливовмісних матеріалів і супутніх радіоактивних відходів з верхніх відміток об'єкта «Укриття». Запропоновано критерії первинного сортування паливовмісних матеріалів і супутніх радіоактивних відходів при вилученні з верхніх відміток об'єкта «Укриття». Запропоновано під час вилучення паливовмісних матеріалів і супутніх радіоактивних відходів застосовувати оборотні ємності в контейнерах із різними ступенями захисту.

*Ключові слова:* об'єкт «Укриття», паливовмісні матеріали, радіоактивні відходи, сортування паливовмісних матеріалів і радіоактивних відходів, технологічні рішення із застосуванням дистанційно керованих агрегатів.

### **Вступ**

На даний час проводиться практична діяльність з перетворення об'єкта «Укриття» ЧАЕС на екологічно безпечну систему у відповідності з вимогами законів України [1, 2] та Стратегії перетворення об'єкта «Укриття» [3]. Наразі на об'єкті «Укриття» завершено роботи в рамках міжнародного проекту "План здійснення заходів на об'єкті "Укриття" (ПЗЗ), пов'язані зі стабілізацією будівельних конструкцій об'єкта «Укриття», проводиться будівництво нового безпечного конфайнмента (НБК), розробляється проект демонтажу нестабільних конструкцій.

Головним джерелом небезпеки об'єкта «Укриття» є скупчення паливовмісних матеріалів (ПВМ) [4] у зруйнованому 4-му блоці. На жаль, у ході практичної реалізації ПЗЗ питання, що стосуються розробки стратегії та технологій вилучення ПВМ, було виключено з розгляду.

Наразі в ІПБ АЕС НАН України проводяться роботи по обґрунтуванню принципових технологічних рішень вилучення ПВМ за допомогою технічних систем та інфраструктури НБК. Як було показано в [5], найбільш критичним і першочерговим завданням є вилучення ПВМ з верхніх відміток об'єкта «Укриття», тому що ці скупчення будуть вносити основний вклад у колективну дозу персоналу при експлуатації НБК [5, 6]. Крім того, подальша наявність цих ПВМ стане причиною подальшого радіоактивного забруднення конструкцій об'єкта «Укриття», що характеризуватиметься максимальними ризиками забруднення навколишнього середовища у випадку можливої аварії [5].

Характерні особливості, які впливають на вибір методів і технологій поводження з радіоактивними відходами (РАВ), що знаходяться в об'єкті «Укриття», наведено в роботі [7]. Основні проблеми, які необхідно враховувати при плануванні вилучення ПВМ із зони центрального залу (ЦЗ), наведено в роботі [5]. У даній роботі розроблено принципові технологічні рішення з вилучення ПВМ та супутніх РАВ із верхніх відміток об'єкта «Укриття», що дасть змогу з часом підійти до практичної реалізації ідеї перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему.

### **ПВМ і супутні РАВ у підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття» та басейнах витримки відпрацьованого палива**

Оцінка загальної кількості палива, що залишилось в об'єкті «Укриття», становить близько 180 т (U) опроміненого ядерного палива завантаження активної зони реактора. Крім того, під час аварії 129 тепловиділяючих збірок (ТВЗ) з відпрацьованим ядерним паливом (14,8 т (U)) знаходились у південному басейні витримки (БВ) та 48 ТВЗ зі свіжим ядерним паливом (5,5 т (U)) на вузлі розвішування свіжого палива [4]. Ядерне паливо на верхніх відмітках об'єкта «Укриття» наразі знаходиться у вигляді:

- ТВЗ зі свіжим ядерним паливом та їхніх фрагментів;
- ТВЗ з відпрацьованим ядерним паливом та їхніх фрагментів;
- лавоподібних ПВМ (ЛПВМ);
- диспергованого ядерного палива.

© О. В. Балан, В. Г. Батій, С. І. Глебкін, О. С. Лагуненко,  
С. С. Підберезний, В. М. Рудько, В. М. Щербін, 2015

Фрагменти активної зони знаходяться практично на всіх ділянках ЦЗ [8]. У приміщеннях об'єкта «Укриття» знаходиться понад 30 т (U) диспергованого ядерного палива [9], при цьому від 1 до 5 т (U) [4, 9] – у просторі під покрівлею об'єкта «Укриття» (на поверхні розвалу) [9].

Супутні РАВ у зоні вилучення ПВМ на верхніх відмітках об'єкта «Укриття» представлені такими матеріалами:

- фрагментами металевих та залізобетонних конструкцій;
- фрагментами активної зони реактора та допоміжних систем;
- блоками графітової кладки, кільцями і пилом із графіту;
- матеріалами, що скидалися гелікоптерами у 1986 р.;
- напливами «аварійного» бетону під час будівництва об'єкта «Укриття».

У ЦЗ (рис. 1 і 2) знаходяться масивні металоконструкції, такі як схема «Е» (масою приблизно 2700 т), розвантажувально-завантажувальна машина (РЗМ, 450 т), мостовий кран ЦЗ (121 т), балки покриття ЦЗ тощо.



Рис. 1. ЦЗ 4-го блока ЧАЕС – схема «Е», РЗМ.



Рис. 2. Завали ЦЗ 4-го блока ЧАЕС (вид зверху).

Для локалізації наслідків Чорнобильської аварії 26 квітня 1986 р. на зруйнований реактор протягом квітня - травня 1986 р. було скинуто близько 15 тис. т твердих матеріалів, об'єм яких оцінюється від 8000 до 10000 м<sup>3</sup> [10]. Значна частина цих матеріалів потрапила в приміщення на верхніх відмітках об'єкта «Укриття».

Роботам по вилученню ПВМ з об'єкта «Укриття» має передувати безпосередньо будівництво і введення в експлуатацію НБК та роботи по демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», враховуючи і їхню переробку. Передбачається, що у ході демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» будуть відпрацьовані основні технології, пов'язані з різанням, переміщенням великогабаритних конструкцій та розбиранням завалів за допомогою системи основних кранів (СОК) НБК з мобільною інструментальною платформою (МПП), оснащеною рукою-маніпулятором. Аналогічні роботи будуть виконуватись і на етапі вилученні ПВМ.

Основним найбільш небезпечним фактором впливу на персонал НБК при виконанні робіт із вилучення ПВМ ЦЗ є гамма-випромінювання. Найбільший вклад у потужність дози (ПД) на верхніх відмітках об'єкта «Укриття» вносять джерела іонізуючого випромінювання, що знаходяться на верхніх ходових містках вузла розвішування свіжого палива, у районі південного і північного басейнів витримки (ПД на 2015 р. приблизно 1000 Р/год) і навколо схеми «Е» (ПД на 2015 р. вище 400 Р/год) [6]. Дози від інгаляційного надходження радіоактивних аерозолів будуть істотно нижчими за рахунок застосування ефективних засобів індивідуального захисту органів дихання.

Необхідність вилучення ПВМ з об'єкта «Укриття» визначається багатьма факторами, одним з яких є суттєве поліпшення радіаційної обстановки в об'єкті «Укриття» після переміщення з нього ПВМ. Тому для початку вирішення цієї проблеми необхідне більш детальне вивчення місць розташування основних джерел іонізованого випромінювання та розподілу ПД в ЦЗ об'єкта «Укриття». Це можна буде зробити після демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» за допомогою обладнання МПП, яка буде працювати з одним із кранів СОК НБК.

### Загальна схема вилучення ПВМ та супутніх РАВ

Загальна схема вилучення ПВМ та супутніх РАВ з об'єкта «Укриття» передбачає такі етапи:

проведення підготовчих робіт (видалення зруйнованого устаткування, пошкоджених будівельних конструкцій тощо);

розробка детальних планів вилучення ПВМ для кожної зони і підзони (ділянки зони). Зокрема, з вузла розвішування свіжого палива, покрівлі барабан-сепараторів, басейнів витримки, завалів ЦЗ, схеми «Е»;

проведення постійного відеоспостереження та радіаційного контролю у процесі вилучення, а також внесення відповідних коректив у план вилучення ПВМ. При цьому буде дотримуватись принцип першочергового видалення найбільш інтенсивних джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) з метою постійного поліпшення радіаційної обстановки та запобігання її тривалому погіршенню в процесі видалення екрануючих матеріалів і оголення екранованих ДІВ;

максимально можливе первинне сортування ПВМ і супутніх РАВ у процесі вилучення (фрагменти, ТВЗ, графітові блоки, сипучі відходи, забруднені залізобетонні і металеві конструкції відповідних категорій);

фрагментація (за необхідністю) та завантаження в контейнери відповідного типу РАВ різних категорій;

транспортування РАВ для подальшого переміщення в технологічну будівлю або до розташованого поруч з нею блока «гарячих» камер (БГК) – залежно від категорії РАВ;

переміщення для складування у звільнених від ПВМ та інших високоактивних відходів (ВАВ) приміщеннях об'єкта «Укриття» конструкцій і матеріалів відповідної категорії, у разі прийняття рішення про перетворення об'єкта «Укриття» у сховище низькоактивних та середньоактивних відходів (НСАВ).

Вилучення ПВМ буде здійснюватись із залученням технічних систем та інфраструктури НБК, яка буде укомплектована обладнанням, що буде постачатись у рамках ПК-1 (будівництво НБК), у рамках ПК-2 (демонтаж нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття») та перебудовуватись і доукомплектовуватись безпосередньо для робіт з вилучення ПВМ. Для виконання робіт із вилучення ПВМ буде необхідно не тільки збільшити об'єм існуючих систем НБК (наприклад, систем вентиляції, керування та контролю, спецканалізації та ін.), а й здійснити будівництво нових екранованих приміщень для оперативного персоналу, а також додаткових дільниць і обладнання, включно з БГК, для поводження з ВАВ і безпосередньо з ПВМ.

Використання комп'ютерної графіки та моделювання є необхідною передумовою для забезпечення радіаційної безпеки та оптимізації процесу виконання робіт у важких радіаційних умовах.

В ІПБ АЕС розроблено інженерну модель об'єкта «Укриття» і НБК та імітаційну модель процесу вилучення ПВМ за допомогою СОК НБК та дистанційно керованих агрегатів (ДКА) [11]. Ці моделі було використано при розробці принципових рішень по організації робіт із розбирання завалів і видалення ПВМ у зоні вилучення ЦЗ з використанням систем НБК.

### Загальні принципи організації робіт

Після етапу демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», включаючи балки Б1 і Б2, будуть створені умови для організації робіт із вилучення ПВМ і розбирання завалів в зоні ЦЗ з використанням систем та інфраструктури НБК.

Проведення цих робіт повинно ґрунтуватись на застосуванні комплексного підходу з використанням ДКА і СОК НБК. Роботи з видалення ПВМ із зони ЦЗ будуть проводитись дистанційно за відсутності персоналу безпосередньо в зоні виконання робіт для виключення значних індивідуальних та колективних доз при нормальному проведенні робіт та при можливих аваріях.

При проведенні робіт у зоні вилучення ЦЗ необхідно насамперед видалити ПВМ і супутні РАВ з найбільш високих відміток об'єкта «Укриття», а також ПВМ з найбільшим впливом на радіаційні умови в підарочному просторі НБК (ходові площадки вузла розвішування свіжого палива, покрівлі приміщень барабан-сепараторів, район ЦЗ біля БВ тощо). Це необхідно для запобігання пошкодження та аварійного забруднення обладнання, що працює на нижчих відмітках ЦЗ, і для зменшення доз персоналу, який обслуговує НБК. Масивні нестабільні конструкції та обладнання (РЗМ, мостовий кран ЦЗ) повинні бути видалені в першу чергу.

У процесі проведення робіт з видалення ПВМ і супутніх РАВ необхідно періодично проводити радіаційну розвідку для виявлення найбільш радіаційно небезпечних ділянок, їхнього детального обстеження та видалення. Доцільно встановити на найвищій доступній конструкції ЦЗ гамма-візор і постійно контролювати хід робіт для своєчасного виявлення зміни радіаційної обстановки.

Завали будівельних конструкцій і сипучі матеріали в ЦЗ будуть видалятися не відразу з усієї площі зони робіт, а ділянками, щоб істотно не погіршити радіаційну обстановку в НБК за рахунок оголення інтенсивних ДІВ. Після поділу зони робіт на ділянки (за радіаційними і технологічними критеріями) буде прийнято пошаровий метод видалення завалів і скупчень ПВМ/ВАН. Для підвищення продуктивності робіт можна впроваджувати паралельне видалення ПВМ і супутніх РАН на різних ділянках декількома комплектами ДКА.

Для забезпечення вилучення РАН та ПВМ у зонах розбирання завалів необхідно передбачити майданчики для встановлення змінних ємностей із нержавіючої сталі. Майданчики повинні знаходитись у зоні дії ДКА або СОК НБК і бути відповідним чином підготовлені. Габарити майданчиків повинні забезпечити можливість одночасного розміщення принаймні змінної ємності у протипиловому контейнері для НСАН та змінної ємності у протипиловому захисному контейнері для ВАН.

При цьому на максимально можливій відстані від місця вилучення будуть організовані майданчики для встановлення захисних контейнерів (різного розміру і ступеня захисту) для розміщення в них уже заповнених змінних ємностей, для переміщення на переробку. Такий спосіб транспортування (у «чистих» захисних контейнерах) вилучених РАН до місць переробки дасть змогу зменшити можливе радіаційне забруднення споруд НБК на шляху переміщення та радіаційний вплив на обслуговуючий НБК персонал.

Для розподілу наявних РАН по ступеню активності та відповідного переміщення до технологічної будівлі або до БГК НБК у процесі виконання робіт необхідно максимально ефективно проводити первинне сортування ПВМ і супутніх РАН, а саме:

фрагменти твелів і ТВЗ із відпрацьованим паливом (візуальне сортування і контроль ПД у процесі завантаження);

фрагменти твелів і ТВЗ зі свіжим паливом (місце розміщення – на вузлі розвішування і поблизу нього, візуальне сортування і контроль ПД у процесі завантаження);

графіт (візуальне сортування і контроль ПД у процесі завантаження);

металеві конструкції (візуальне сортування і контроль ПД);

залізобетонні конструкції (візуальне сортування і контроль ПД);

сипучі РАН різних категорій (пошарове видалення для розподілу РАН різних категорій, візуальне сортування і контроль ПД у процесі завантаження);

«аварійний» бетон (візуальне сортування і контроль ПД у процесі завантаження).

### **Способи вилучення ПВМ із верхніх відміток**

Система основних кранів НБК складається з двох кранів вантажопідйомністю 100 т кожний. Виходячи з технічних даних, крани НБК мають невелику швидкість пересування (як мости самих кранів, так і вантажні візки на них), а також невелику швидкість підйому/опускання гака при виконанні технологічних операцій. Наприклад, для заміни інструменту на маніпуляторі МПП при виконанні робіт у районі майданчиків вузла розвішування свіжого палива (з огляду на швидкість переміщення вантажного візка з МПП та моста крана НБК, а також підйому/опускання платформи) необхідно близько 34 хв без урахування часу суто на заміну інструмента.

Наведені розрахунки свідчать, що використання тільки кранів НБК (з навісним обладнанням та інструментами МПП) для робіт з вилучення ПВМ із приміщень об'єкта «Укриття» не ефективно і можливе лише в поєднанні з іншими механізмами. Наприклад, основний обсяг робіт з вилучення ПВМ у ЦЗ об'єкта «Укриття» може виконуватись за допомогою ДКА, а СОК НБК буде використовуватись як для доставки ДКА до місця робіт і транспортування контейнерів з РАН, так і для виконання окремих операцій за допомогою інструментів МПП на верхніх відмітках ЦЗ об'єкта «Укриття», наприклад при вилученні ВАН із містків вузла розвішування свіжого палива, покриттів приміщень барабансепараторів та ін. Крім того, СОК НБК та інструменти МПП можуть використовуватись при обладнанні майданчиків для ДКА та контейнерів, а також для подачі в зону робіт додаткового обладнання або допоміжних механізмів.

Роботи з видалення ПВМ і РАН можуть здійснюватись паралельно на декількох майданчиках, при цьому для попередження значного погіршення радіаційної обстановки у просторі під аркою НБК матеріали завалів та засипки не будуть одночасно видалятися з усієї площі.

За допомогою ДКА також можна здійснювати попереднє сортування РАН. Робочі органи ДКА повинні бути оснащені спеціальними захищеними приладами для контролю та вимірювання показників радіаційного забруднення демонтованих конструкцій (для прийняття рішення щодо подальшого поводження з ними) та системою відеоспостереження (для контролю за технологічним процесом).

Переміщення РАВ і ПВМ із зони виконання робіт у ЦЗ об'єкта «Укриття» до місця їхньої переробки буде здійснюватись у захисних контейнерах, які будуть містити змінні ємності з нержавіючої сталі, що виймаються для завантаження та знову встановлюються в контейнери. Первинне сортування РАВ і ПВМ здійснюється методом складання фрагментів будівельних конструкцій (матеріалів завалів або фрагментів, що містять ПВМ) у змінні ємності з нержавіючої сталі. Ємності будуть розташовуватись на підготовлених майданчиках у зоні роботи ДКА або МПП СОК НБК. При цьому самі захисні контейнери будуть розташовуватись за межами зони виконання робіт для запобігання їхнього забруднення при завантаженні. В якості місця для встановлення захисних контейнерів можливе використання існуючих металоконструкцій підсилення (МКП) стіни об'єкта «Укриття» по осі 50'. Після підсилення деяких конструкцій покрівлі МКП та організації майданчика там можуть бути встановлені декілька захисних контейнерів із різними ступенями захисту. Таким чином, змінні ємності з РАВ (залежно від складу РАВ і ПЕД) можуть встановлюватись у захисний контейнер із відповідним ступенем захисту та транспортуватись на майданчик тимчасового складування НБК, для перевантаження і переміщення в технологічну будівлю НБК або транспортуватись до БГК.

Будуть використовуватись захисні оборотні контейнери двох типів, а саме:

1-й тип – захисні контейнери для транспортування змінних ємностей з великогабаритними фрагментами, а також сипкими і змішаними матеріалами;

2-й тип – контейнери з підвищеним ступенем захисту для транспортування змінних ємностей з ВАВ або ПВМ.

Вилучення ПВМ із важкодоступних для ДКА місць (завали на барабан-сепараторах, із ходових містків вузла розвішування свіжого палива та ін.) залежно від конкретних умов можуть здійснюватись декількома способами.

**1. Робота з двома кранами СОК НБК.** Вантажний візок, оснащений МПП і розміщений на першому (східному) мосту крана НБК, за допомогою змінних інструментів МПП виконує фрагментацію РАВ. Навішений на гак стандартного вантажного візка спеціальний захват, який знаходиться на мосту цього ж крана, здійснює завантаження РАВ у ємність і виконує при цьому первинне сортування (наприклад, навантажує лише уламки залізобетону або тільки фрагменти металу). Для прискорення процесу завантаження (з урахуванням малої швидкості агрегатів СОК) ємність повинна розташовуватись на мінімально можливій відстані (технічно і безпечно допустимій) від місця проведення робіт із фрагментації. Для утримання ємності в зоні завантаження може використовуватись балансірна траверса, що підвішується на гак спеціального безпечного візка, який розміщується на мосту другого (західного) крана НБК. Під час розробки балансірної траверси необхідно передбачити можливість автоматичного збалансування маси при поступовому заповненні закріпленої ємності.

**2. Робота з одним краном СОК НБК.** Вантажний візок, оснащений МПП з маніпулятором, розміщений на мосту крана НБК. За допомогою змінних інструментів МПП виконує захват фрагментів РАВ різних розмірів та навантажує їх у ємність, що навішена на гак стандартного вантажного візка, що знаходиться на мосту цього ж крана. В якості змінного інструмента передбачається використання спеціально розроблених інструментів подвійної дії, які утримуються рукою-маніпулятором МПП. Інструменти подвійної дії передбачають поєднання двох або декількох функцій, що виконуються послідовно, без зміни положення руки-маніпулятора. Наприклад, одна частина робочого органа на руці-маніпуляторі спочатку захватчує й утримує конструкцію, а друга частина виконує різання. Частина конструкції, що утримувалась рукою-маніпулятором, переміщується в ємність. Таке поєднання функцій особливо важливе при видаленні ВАВ, що знаходяться у зонах, важкодоступних для ДКА, наприклад із ходових містків вузла розвішування свіжого палива, покриттів приміщень барабан-сепараторів та ін., де роботи можуть виконуватись лише СОК НБК.

**3. Робота з одним краном СОК НБК і ДКА.** Вантажний візок, оснащений МПП і розміщений на мосту крана НБК, за допомогою змінних інструментів МПП виконує захват фрагментів РАВ різних розмірів. А навішений на гак стандартного вантажного візка спеціальний захват, що знаходиться на мосту цього ж крана, здійснює подачу РАВ у зону дії ДКА, який знаходиться на майданчику в ЦЗ об'єкта «Укриття». Перший ДКА за допомогою змінних інструментів здійснює фрагментацію поданих РАВ, а другий ДКА вантажить фрагменти в ємність і виконує при цьому первинний радіаційний контроль та сортування.

Передбачається, що для усіх способів кран НБК зі спеціальним безпечним візком здійснює переміщення навантаженої ємності до місця стоянки захисних контейнерів, а після установки ємності в захисний контейнер переміщує захисний контейнер у напрямку технологічної будівлі або в напрямку БГК для подальшого поводження.

У випадку використання контейнерів 2-го типу технологія транспортування ВАВ та ПВМ буде здійснюватись таким чином:

контейнер 2-го типу подається з БГК краном НБК та встановлюється на майданчик на покрівлі МКП, верхня захисна кришка контейнера відкривається;

внутрішня ємність з нержавіючої сталі виймається із захисного контейнера і переміщується краном НБК в зону виконання робіт з вилучення ПВМ і встановлюється на підготовленому майданчику в зоні роботи ДКА шляхом розміщення у протипиловому контейнері;

здійснюється завантаження внутрішньої ємності високоактивними фрагментами РАВ. Різання довгомірних твелів, ТВЗ, технологічних каналів (за необхідністю) відбувається над ємністю для запобігання розсипання ПВМ;

заповнена ємність фіксується захватом крана НБК, переміщується та встановлюється у захисний контейнер 2-го типу, який стоїть на майданчику на покрівлі МКП. Верхня кришка контейнера закривається;

захисний контейнер фіксується захватом крана НБК та переміщується в БГК для подальшого поводження з ВАВ.

Віддалення місця стоянки захисного контейнера 2-го типу (із внутрішньою ємністю) від зони виконання робіт дасть змогу уникнути його зовнішнього радіаційного забруднення, що зменшить імовірність розповсюдження забруднення на шляху транспортування контейнера з ВАВ до БГК. Застосування допоміжного протипилового контейнера (при завантаженні ємності з нержавіючої сталі) зменшить забруднення внутрішніх стінок захисного контейнера та забруднення приймального приміщення БГК у процесі сортування. При вилученні скупчень, в яких є різні види ВАВ (графітові блоки, фрагменти твелів, фрагменти високоактивних металевих конструкцій тощо), доцільно використовувати внутрішні ємності такого ж розміру, але розділені на 2 або 3 відсіки для первинного сортування.

### Послідовність вилучення ПВМ із ЦЗ

При проведенні робіт із видалення ПВМ і супутніх РАВ у ЦЗ можна виділити такі ділянки (рис. 3), для яких, з урахуванням їхньої специфіки, необхідно буде розробляти окремі підпроекти:

вузол розвішування свіжого палива та ходові містки ЦЗ;

покриття та приміщення барабан-сепараторів;

РЗМ, мостовий кран ЦЗ, ферми та інші масивні металоконструкції;

північний і південний басейни витримки, інші приміщення, до яких є доступ із ЦЗ;

схема «Е»;

завали ЦЗ.

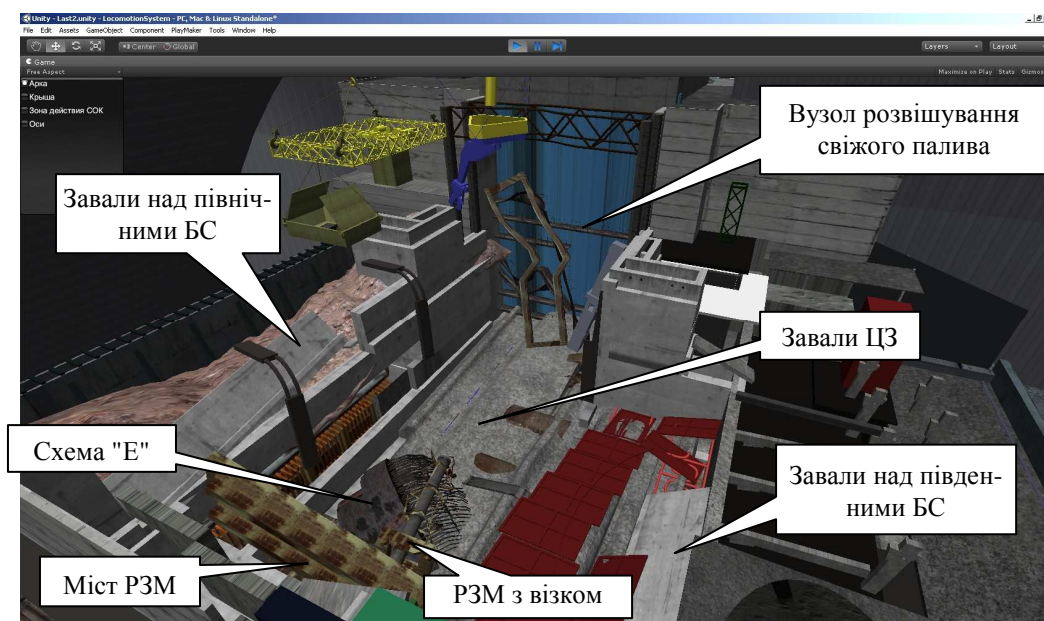


Рис. 3. Інтерактивна модель ділянки проведення робіт у ЦЗ до початку вилучення (вид із південного заходу).

Відповідно до викладених вище принципів і підходів рекомендується наступна загальна послідовність виконання робіт з видалення ПВМ і супутніх РАВ із зони вилучення з верхніх відміток об'єкта «Укриття».

На першому етапі проводитиметься фрагментування і видалення мостового крана ЦЗ, РЗМ та інших габаритних металокопункцій, що перешкоджають подальшому вилученню ПВМ і супутніх РАВ.

На другому етапі будуть видалятися завали з перекриттів приміщень барабан-сепараторів.

На третьому етапі буде проведений демонтаж перекриття приміщень південних і північних барабан-сепараторів (рис. 4).

Якщо в барабан-сепараторах та під ними будуть виявлені скупчення ПВМ, то на четвертому етапі будуть видалені й самі барабан-сепаратори.

На п'ятому етапі будуть видалятися фрагменти активної зони і свіже паливо з містків вузла розвішування свіжого палива.



Рис. 4. Вигляд ЦЗ після демонтажу перекриття приміщень південних та північних барабан-сепараторів.

На шостому етапі виконується демонтаж вузла розвішування свіжого палива і підготовка майданчика для роботи ДКА в ЦЗ (рис. 5). В якості «піонерного» майданчика для розміщення ДКА і навісного обладнання необхідно вибрати місце без люків у підлозі, оскільки металокопункції деяких з них могли бути пошкоджені під час аварії. Крім того, на «піонерному» майданчику для роботи ДКА необхідно мати можливість підведення енергопостачання і/або систему заправки паливом для ДКА з двигунами внутрішнього згорання. Таким майданчиком може бути місце біля операторської ЦЗ (приміщення 1005/2). Приміщення 1005/2 може бути використано для організації енергопостачання, заправки паливом та технічного обслуговування ДКА. Можлива подача енергопостачання в ЦЗ також через свердловину з приміщення 2016/2.

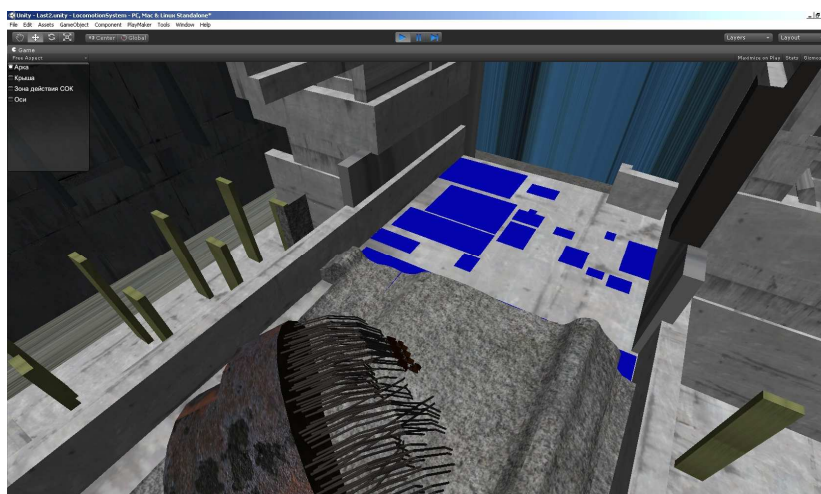


Рис. 5. Вигляд ЦЗ після демонтажу вузла розвішування свіжого палива і підготовки майданчика для роботи ДКА.

На сьомому етапі виконуються роботи з очищення ЦЗ за допомогою ДКА, починаючи від східної стіни у бік БВ і далі у бік схеми «Е». Паралельно виконується видалення інших інтенсивних джерел випромінювання, що впливають на радіаційні умови в ЦЗ, відкрито лежачих фрагментів твєлів, ТВЗ, графітових блоків.

У зв'язку з тим, що люки більшості шахт ЦЗ були зірвані зі штатних місць під час аварії, потрібний уважний підхід при виборі типу ДКА в частині габаритів для можливості вільного переміщення по ЦЗ. Відкриті отвори шахт у ЦЗ необхідно захистити металевими щитами, що здатні витримати навантаження від працюючого ДКА, і закривати їх по мірі розбирання завалів. У подальшому при видаленні завалів і звільненні доступу в приміщення, що з'єднуються з ЦЗ, виконуються дослідження на наявність у них ПВМ та їхнього видалення (у випадку виявлення). Після звільнення приміщень вирішується питання щодо використання їх для завантаження короткоіснуючих НСАВ (у першу чергу великогабаритних фрагментів обладнання та залізобетонних і металевих конструкцій).

На восьмому етапі виконуються роботи по стабілізації схеми «Е» для можливості видалення фрагментів технологічних каналів з ТВЗ за допомогою ДКА і/або МПП. Для стабілізації схеми «Е» можливе використання чотиригранної металеві рамної конструкції, яка буде зібрана окремо і змонтована над шахтою реактора об'єкта «Укриття» за допомогою СОК НБК. Металоконструкція схеми «Е» буде розкріплена до рамної конструкції за допомогою домкратів і захватів. Ноги рамної конструкції будуть встановлені на розраховані місця ЦЗ, які зможуть витримати наявні додаткові навантаження. Для збільшення надійності ноги рамної конструкції можуть бути встановлені на розподільчі балки. Для підготовки місць для встановлення рамної конструкції виконуються роботи з часткового очищення завалів за допомогою ДКА. Стабілізація схеми «Е» може здійснюватись й іншими способами, наприклад підведенням у шахту реактора додаткових опірних балок, монтажу та закріплення на обичайці схеми «Е» кронштейнів «вух» та навіть заповнення шахти реактора пористим бетоном. Після стабілізації схеми «Е» навколо неї проводиться повне очищення від матеріалів завалів за допомогою ДКА і/або МПП.

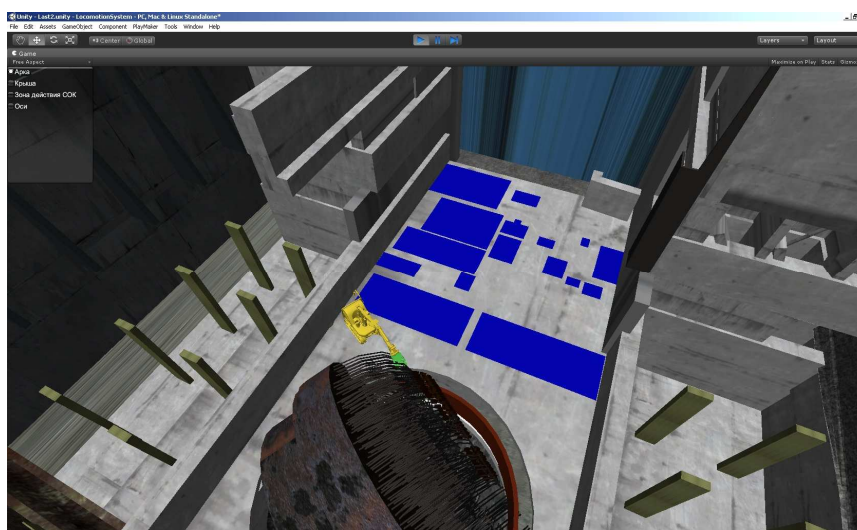


Рис. 6. Робота ДКА по видаленню технологічних каналів зі схеми «Е».

На дев'ятому етапі виконується видалення фрагментів технологічних каналів з ТВЗ зі схеми «Е» за допомогою ДКА і/або МПП (рис. 6).

Звільнення схеми «Е» від фрагментів ТК з ТВЗ у подальшому дасть змогу провести розрізання її металоконструкцій, вилучення засипки із серпентиніту та поступового її демонтажу (при необхідності). При цьому використана рамна конструкція може стати каркасом екрануючої споруди над зруйнованою шахтою реактора об'єкта «Укриття», для подальшої консервації підреакторних приміщень об'єкта «Укриття» або для контрольованого доступу в них.

При обстеженні південного БВ за допомогою оптичного приладу через похилі свердловини було виявлено, що люки БВ над свердловинами не зірвані і пенали з відпрацьованими ТВЗ висять у штатному положенні. У даний час немає достовірних відомостей про стан ТВЗ, що знаходяться в південному БВ, але можна вважати, що частина їх виявиться пошкодженою. При обстеженні ЦЗ було виявлено, що люки північного БВ зірвані зі своїх місць, а на його дні виявлено скупчення ФАЗ [8]. Про це ж свідчить і аналіз даних з ПЕД у північному БВ [6].



На десятому етапі виконується видалення підвішених ТВЗ з південного БВ, вилучення ПВМ із дна південного та північного БВ (рис. 7).

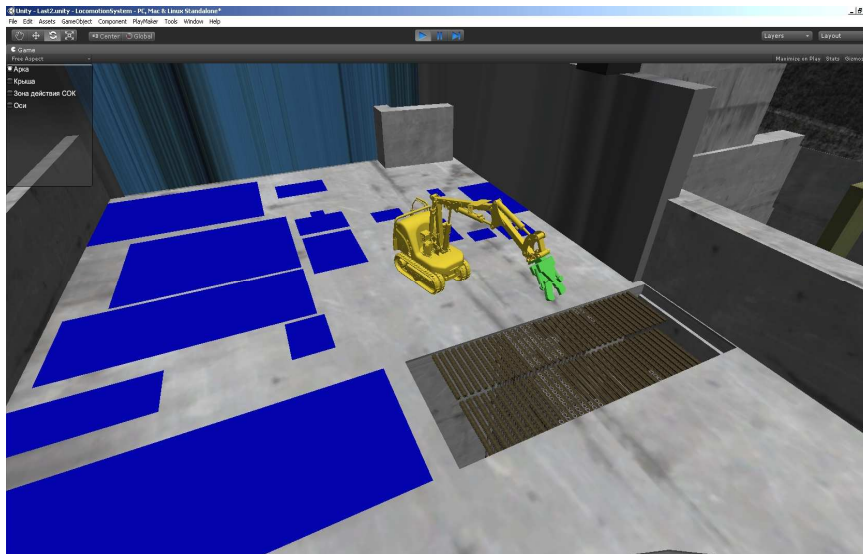


Рис. 7. Робота ДКА по вилученню відпрацьованих ТВЗ з південного БВ.

На одинадцятому етапі здійснюється уточнення радіаційної обстановки в ЦЗ, пошук і видалення ПВМ, що залишилися.

На дванадцятому етапі відбувається прийняття рішення про консервацію або видалення ПВМ з приміщень на нижніх відмітках об'єкта «Укриття».

Проведення подальшої діяльності буде проводитись залежно від рішення, прийнятого на дванадцятому етапі. Багато етапів можуть реалізовуватись паралельно.

### Висновки

1. Розроблено загальну послідовність проведення робіт у зоні ЦЗ по вилученню ПВМ і супутніх РАВ за допомогою комплексного використання ДКА та СОК НБК. Пропонується насамперед видалити масивні нестабільні конструкції та обладнання, ПВМ і супутні РАВ з найбільш високих відміток об'єкта «Укриття» і ті, що найбільше впливають на радіаційну обстановку.

2. Запропоновано послідовність вилучення ПВМ і супутніх РАВ у зоні ЦЗ, що дасть змогу під час робіт тримати під контролем й істотно не погіршити радіаційну обстановку в НБК. Обґрунтовано необхідність періодичного проведення дозиметричної розвідки для виявлення найбільш радіаційно-небезпечних ділянок, їхнього детального обстеження та видалення в першу чергу. Рекомендовано в процесі проведення робіт завали будівельних конструкцій і сипучі матеріали видаляти не відразу з усієї площі, а захватками, після розподілу зони робіт за радіаційними і технологічними критеріями. Для підвищення продуктивності робіт треба планувати паралельне видалення ПВМ і супутніх РАВ на різних ділянках.

3. Запропоновано проводити первинне сортування ПВМ і супутніх РАВ методом візуального спостереження та контролю ПД у процесі завантаження в різні змінні ємності (відсіки) різних видів РАВ (ТВЗ, твели, ЛПВМ, графіт тощо). Для цього робочі органи ДКА повинні бути оснащено системою відеоспостереження та спеціальними колімованими приладами для вимірювання показників радіаційного забруднення.

4. Запропоновано три основних способи вилучення ПВМ і супутніх РАВ з верхніх відміток ЦЗ: з двома кранами СОК НБК, з одним краном СОК НБК, з одним краном СОК НБК і ДКА. При роботі з двома кранами (видалення завалів на барабан-сепараторах, фрагментів активної зони з містків обслуговування вузла розвішування свіжого палива та ін.) для утримання оборотної ємності в зоні завантаження пропонується використовувати балансирну траверсу, яка підвішується на гак крана СОК НБК, з можливістю автоматичного збалансування маси при поступовому заповненні закріпленої ємності.

5. Запропоновано під час вилучення ПВМ і супутніх РАВ застосовувати змінні ємності, які поміщаються в захисні контейнери з різними ступенями захисту (окремо для НСАВ та ПВМ/ВАВ). У зонах виконання робіт використовувати додаткові протипилові контейнери для змінних ємностей.

Переміщення ПВМ і РАВ із зони виконання робіт у ЦЗ об'єкта «Укриття» до місця їхньої переробки здійснювати в захисних контейнерах (із змінними ємностями) двох типів: 1-й тип – захисні контейнери для транспортування змінних ємностей з великогабаритними фрагментами, а також сипкими та змішаними матеріалами; 2-й тип – контейнери з підвищеним ступенем захисту, які мають посилену дистанційно керовану захисну кришку, для транспортування змінних ємностей з ПВМ/ВАН.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України „Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблоку цієї АЕС на екологічно безпечну систему” № 309-XIV від 11.12.1998.
2. Закон України „Про Загальнодержавну програму зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему” № 886-VI від 15.01.2009.
3. Стратегія перетворення об'єкта «Укриття», ухвалена рішенням Міжвідомчої комісії з комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС. Протокол № 2 від 12 березня 2001 р.
4. Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие». – ЧАЭС, 2008. – 436 с.
5. Батий В.Г., Щербин В.Н., Шулепникова А.В. Анализ возможных путей обращения с топливосодержащими материалами после завершения строительства нового безопасного конфинмента // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2014. – Вип. 23. – С. 32 - 44.
6. Батий В. Г., Подберезный С. С., Стоянов А. И. Объемное распределение полей гамма-излучения в зоне центрального зала 4-го энергоблока ЧАЭС // Там же. – С. 66 - 73.
7. Токаревский В. В. Технологии извлечения топливосодержащих материалов из объекта "Укрытие" // Ядерная та радіаційна безпека. – № 4 (56). – 2012. – С. 48 - 52.
8. FCM atlas, classification, 2D models / Атлас, классификация, 2-D модели ТСМ. SIP-EBPD-R-0093 (Iss. № 1).
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. Бицкий А. А., Гайко В. Б., Грищенко А. В. и др. Классификация радиоактивных материалов, находящихся в объекте "Укрытие" как форм РАО : (Отчет о НИР) / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Инв. N 07/01. – Чернобыль, 1992. – 45 с.
11. Батий В. Г., Романов Д. Н., Подберезный С. С и др. Компьютерное моделирование процесса извлечения топливосодержащих материалов с верхних отметок объекта «Укрытие» // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2014. – Вип. 23. – С. 74 - 81.

**О. В. Балан, В. Г. Батий, С. И. Глебкин, А. С. Лагуненко,  
С. С. Подберезный, В. М. Рудько, В. Н. Щербин**

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

#### **ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ВЕРХНИХ ОТМЕТОК ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»**

Разработана общая последовательность проведения работ и принципиальные технологические решения с учетом технических особенностей дистанционно управляемых агрегатов и системы основных кранов нового безопасного конфинмента по извлечению топливосодержащих материалов и сопутствующих радиоактивных отходов с верхних отметок объекта «Укрытие». Предложены критерии первичной сортировки топливосодержащих материалов и сопутствующих радиоактивных отходов при извлечении с верхних отметок объекта «Укрытие». Предложено при извлечении топливосодержащих материалов и сопутствующих радиоактивных отходов применять оборотные емкости в контейнерах с различными степенями защиты.

*Ключевые слова:* объект «Укрытие», топливосодержащие материалы, радиоактивные отходы, сортировка топливосодержащих материалов и радиоактивных отходов, технологические решения с применением дистанционно управляемых агрегатов.

**O. V. Balan, V. G. Batiy, S. I. Glebkin, A. S. Lagunenکو,  
S. S. Podbereznyy, V. M. Rud'ko, V. N. Shcherbin**

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

#### **THE BASIC TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF FUEL CONTAINING MATERIALS REMOVAL FROM THE UPPER LEVELS OF THE OBJECT «UKRYTTYA»**

A general sequence of work for removal of fuel containing materials and accompanying radioactive wastes from the upper levels of the object "Ukryttya" and appropriate basic technological solutions based on technical features of remote-controlled units and the main cranes of new safe confinement were developed. Criteria of primary sorting of fuel containing materials and accompanying radioactive wastes at their removal from the upper levels of the object

"Ukryttya" have been proposed. It has been proposed to use containers with the revolving tanks with different degrees of protection at the removal of fuel containing materials and accompanying radioactive wastes.

*Keywords:* object "Ukryttya", fuel containing materials, radioactive waste, sorting of fuel containing materials and radioactive wastes, technological solutions based on use of remote-controlled units.

## REFERENCES

1. *Law of Ukraine "On General Principles of Chernobyl NPP Further Operation and Decommissioning, and Conversion of Destroyed Unit 4 into an Environmentally Safe System"*, № 309-XIV of 11.12.98. (Ukr)
2. *Law of Ukraine "On the National Program decommissioning of Chernobyl NPP and the transformation of the "Shelter" into an ecologically safe system"*, № 886-VI of 15.01.2009. (Ukr)
3. *Strategy of Shelter Conversion. Coordinated by Interdepartmental Commission on Chernobyl NPP Problems Complex Resolution. Protocol № 2 of March 12, 2001.* (Ukr)
4. *Shelter Safety Status Report.* - (Rus) – CHNPP, 2008. – 436 p. (Rus)
5. *Batiy V. G., Scherbin V. M., Shchulepnikova A. V.* Analysis of possible ways of the fuel containing materials management after completion of the new safe confinement construction // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyl).* - 2014. - Iss. 23. - P. 32 - 44. (Rus)
6. *Batiy V. G., Podbereznyi S. S., Stoyanov A. I.* Volume distribution fields of gamma radiation in the area of central hall of the 4 th unit of Chernobyl NPP // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyl).* - 2014. - Iss. 23. – P. 66 - 73. (Rus)
7. *Tokarevskiy V.V.* Technology of extraction of fuel-containing materials from the "Shelter" object // *Nuclear and radiation safety.* - 2012. – № 4 (56). - P. 48 - 52. (Rus)
8. *FCM atlas, classification, 2D models / Атлас, классификация, 2-D модели ТСМ. SIP-EBPD-R-0093 (Issue # 1).*
9. *Analysis of current safety of object "Shelter" and prognosis estimations of development of situation (Report) / NAS of Ukraine. ISTC "Shelter".* - Arkh. № 3836. - Chernobyl, 2001. – 337 p. (Rus)
10. *Bitsky A.A, Gayko V.B, Grishchenko A.V. et al.* Classification of radioactive materials in the "Shelter" as a form of radioactive waste (Report) / NAS of Ukraine. ISTC "Shelter". - Arkh. № 07/01. - Chernobyl, 1992. – 45 p. (Rus)
11. *Batiy V. G., Romanov D. N., Podbereznyi S. S. et al.* Computer simulation of the fuel containing materials removal process from the "Shelter" object upper levels // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyl).* - 2014. - Iss. 23. - P. 74 - 81. (Rus)

Надійшла 04.02.2015

Received 04.02.2015