

О. В. Балан, Л. І. Павловський, В. М. Рудько, С. Г. Брилка, С. С. Підберезний

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

Особливості розбирання завалів на перекритті деаераторної етажерки об'єкта «Укриття» Чорнобильської АЕС

Ключові слова:

новий безпечний конфайнмент, об'єкт «Укриття», нестабільні конструкції, оборотна ємність, система основних кранів, мобільна інструментальна платформа, дистанційно керований механізм, поводження з радіоактивними відходами

Наведено пропозиції щодо технології розбирання завалів на перекритті деаераторної етажерки включно з необхідним обладнанням для виконання цих робіт. Підкреслюється, що розбирання завалів в обсягах демонтажу нестабільних конструкцій є однією з найскладніших робіт в рамках реалізації цього проекту. Основною причиною є наявність у зоні розбирання безлічі різних за видами, розмірами та інтенсивністю джерел іонізуючого випромінювання. Це обумовлює технологічні проблеми, що в першу чергу пов'язані зі складністю забезпечення радіаційної безпеки. Аналізуючи рекомендації в частині методів демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», що наведені в попередніх розробках, запропоновано сценарії щодо можливого безпечного розбирання матеріалів завалів та подальшого поводження з ними. Відзначається необхідність впровадження безпечних технологій, основаних на застосуванні технічних засобів і пристосувань, що дають змогу виключити повністю або звести до мінімуму залучення персоналу для виконання цих робіт.

Вступ

Спорудження об'єкта «Укриття» на зруйнованих конструкціях 4-го енергоблоку й у надзвичайно важких радіаційних умовах не дозволило створити об'єкт відповідно до правил і норм проектування не тільки ядерних установок чи об'єктів для поводження з радіоактивними відходами (РАВ), а й звичайних промислових споруд. Отже, будівельні конструкції вже на початку спорудження об'єкта «Укриття» не відповідали вимогам нормативно-технічних документів у частині структурної цілісності та надійності.

Упродовж 1988–1994 рр. були реалізовані протиаварійні заходи з підсилення окремих будівельних конструкцій об'єкта «Укриття», технічний стан яких був оцінений як аварійний.

Починаючи з 1988 р., у рамках міжнародного проекту «План здійснення заходів на об'єкті «Укриття» було проведено системні дослідження стану будівель-

них конструкцій, за результатами яких було виявлено конструкції, імовірність обвалення яких неприпустимо велика (так звані нестабільні конструкції).

Реалізовані у 2004–2008 рр. невідкладні стабілізаційні заходи забезпечили прийнятний рівень безпеки об'єкта «Укриття» з огляду на 15-річний термін експлуатації стабілізованих конструкцій (до кінця 2023 р.) з урахуванням завершення будівництва і введення в експлуатацію нового безпечного конфайнмента (НБК) у вказаний період [1]. Надалі проблема нестабільних конструкцій (НК) повинна вирішуватися шляхом їхнього демонтажу або підсилення всередині НБК.

Незважаючи на завершення терміну безпечної експлуатації стабілізованих конструкцій, їхній демонтаж не було здійснено через військову агресію Російської Федерації. Упродовж 2022–2024 рр. було виконано додаткові дослідження НК з метою переоцінки їхньої надійності та структурної цілісності. За результатами проведених досліджень період безпеч-

ної експлуатації НК об'єкта «Укриття» було продовжено до 31.10.2029 р. [2].

Перелік НК, що підлягають демонтажу, визначено в документах [3, 4]. З урахуванням технологічних аспектів та технічного стану НК, їхній демонтаж запропоновано виконати послідовно у два етапи: «ранній» та «відкладений» демонтаж.

До переліку конструкцій для «раннього» демонтажу включено металоконструкції, які формують зовнішню оболонку об'єкта «Укриття», а також трубний накат, балку «Восьминіг», балку «Мамонт», опори балки «Мамонт», завали на деаераторній етажерці (ДЕ) та аварійні плити перекриття ДЕ.

Решта НК, зокрема блоки балок Б1 і Б2 по осях Ж і П, завали та плити перекриття над приміщенням 805/3, об'ємний блок «Собачий дім» та інші конструкції віднесено до «відкладеного» демонтажу.

Демонтаж НК в умовах радіаційно та ядерно небезпечного об'єкта «Укриття» є надзвичайно складним та унікальним завданням, що потребує ухвалення обґрунтованих технічних рішень і забезпечення безпеки на кожному з етапів діяльності.

Метою цієї роботи є розробка пропозицій щодо впровадження методів безпечного розбирання завалів на перекритті ДЕ та подальшого поводження з РАВ, що утворюються в результаті розбирання завалів.

Стан проблеми

Після вибуху на 4-му енергоблоці будівля ДЕ вище позначки 38,600 була зруйнована, колони кар-

каса пошкоджені та нахилені в бік машинного залу, а на плитах перекриття між осями Б–В, 41–51 утворилися завали у вигляді уламків конструкцій та інших складових будівлі. Крім того, частина фрагментів активної зони вибухом була викинута на верхні позначки енергоблоку і з високою ймовірністю знаходяться в завалах. Під час ліквідації аварії в завали ДЕ додатково потрапили матеріали, скинуті з гелікоптерів для гасіння пожежі. У подальшому завали на перекритті ДЕ були частково забетоновані для влаштування платформи західної опори (між осями 49–52) та східної опори (між осями 40–43) балки «Мамонт». Крім того, опори балки «Восьминіг» (мішки з бетонною сумішшю) також обпираються на завали ДЕ вздовж осі В (рис. 1). Виконане бетонування в місцях опор балок «Мамонт» і «Восьминіг» та «свіжий» бетон, що потрапив у завали в процесі ліквідації аварії, створює додаткові складності для розбирання завалів.

Відомо, що завали на перекритті ДЕ мають висоту 1,0–4,0 м; ширину до 13,0 м і довжину 66,0 м. За результатами експертних оцінок загальна маса матеріалів завалів понад 2200 т.

Завали на перекритті ДЕ в основному містять: радіоактивно забруднені залізобетонні конструкції (РЗБК) — великі елементи бетонних і залізобетонних конструкцій 4-го енергоблоку, що були зруйновані й обвалилися на перекриття;

сипкі РАВ — дрібні фрагменти будівельних конструкцій, систем і комунікацій, що утворилися в результаті аварії 1986 р., матеріали, що утворилися внаслідок ліквідації наслідків аварії (матеріали за-

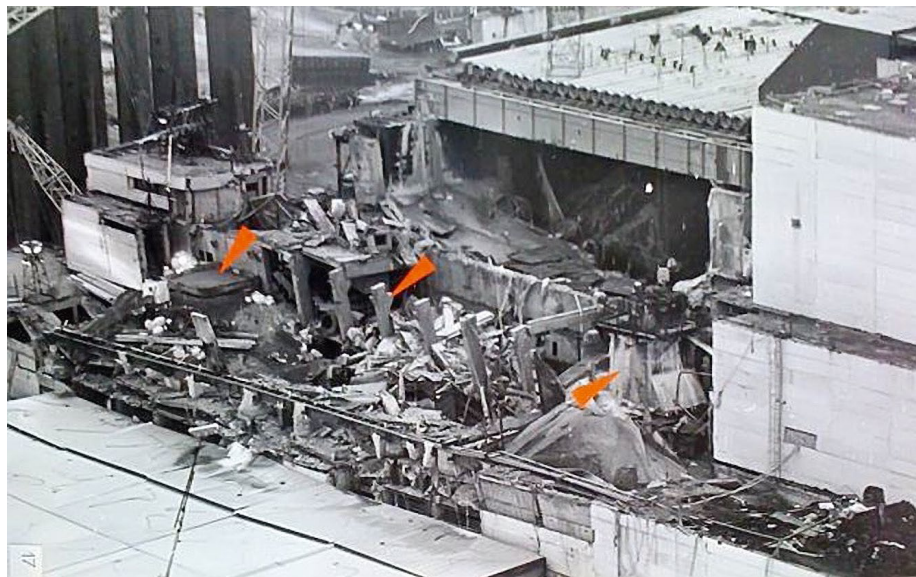


Рис. 1. Загальний вигляд завалів на перекритті ДЕ

сипки, що скидались з гелікоптерів, «свіжий» бетон і мішки з бетонною сумішшю, що використовувались під час будівництва об'єкта «Укриття»).

Крім того, враховуючи масштаб руйнувань енергоблоку включно з його реактором, є висока ймовірність знаходження в цих завалах істотної кількості паливовмісних матеріалів (ПВМ) у вигляді різного роду фрагментів активної зони (ФАЗ).

Для демонтажу НК і для подальших робіт з перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему було здійснено проектування, будівництво і введення в експлуатацію першого пускового комплексу (ПК-1) НБК [1]. У складі ПК-1 була створена відповідна інфраструктура та виконано монтаж зовнішніх та внутрішніх мереж і систем включно із системою основних кранів (СОК) для безпосереднього проведення робіт з демонтажу НК. Крім того, було здійснено будівництво внутрішніх майданчиків і ділянок для поводження з РАВ, що будуть утворюватися під час виконання демонтажних робіт.

На рис. 2 показано об'єкти (майданчики) у межах НБК, де буде здійснюватися демонтаж НК, розбирання завалів та подальше поводження з РАВ, а саме:

в основному об'ємі НБК — зона демонтажу, майданчик тимчасового складування, майданчик тимчасового зберігання (південно-західний сектор НБК) та шлюз доступу пожежних підрозділів (заїзд у південно-західний сектор НБК);

у технологічній будівлі — майданчик первинної обробки, майданчик підготовки, майданчик завантаження автомобілів, північний шлюз і контрольно-пропускний пункт, південний шлюз.

У 2016 р. було розроблено проектні рішення з демонтажу з'єднувальної ферми південної частини покрівлі об'єкта «Укриття» [1, 5]. Була запропонована технологія її демонтажу із застосуванням крана НБК з мобільною інструментальною платформою (МІП), що була поставлена в межах ПК-1. У складі ПК-2 МІП повинна бути оснащена дистанційно керованим механізмом (ДКМ) з маніпулятором, який у свою чергу за допомогою змінних навісних інструментів зможе виконувати різні технологічні операції. Отже, усі роботи з демонтажу щитів покрівлі та основних балок об'єкта «Укриття», а також видалення фрагментів завалів на перекритті ДЕ мають здійснюватися за допомогою СОК і системи МІП-ДКМ з маніпулятором і необхідними навісними інструментами (рис. 3).

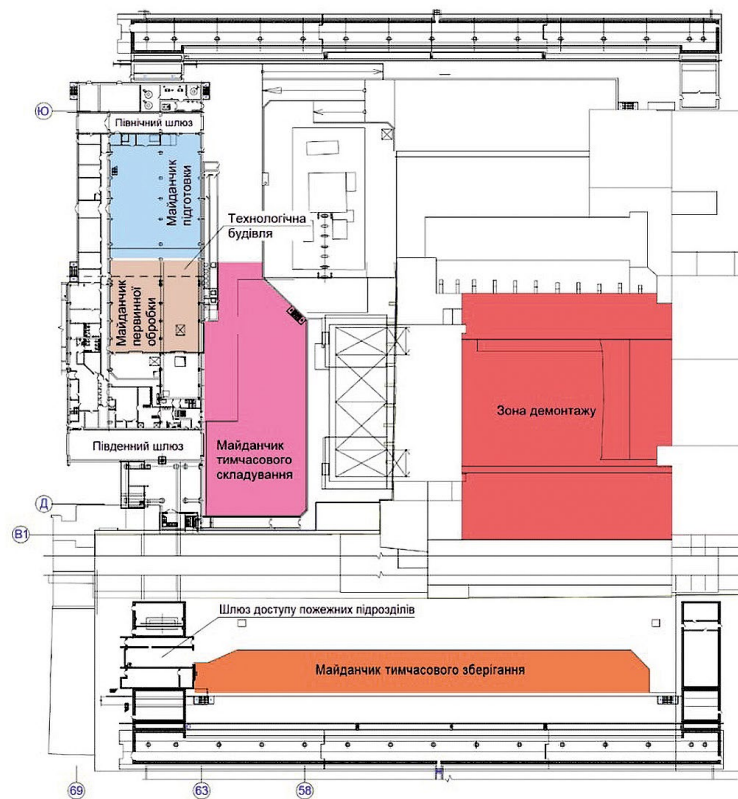


Рис. 2. Схема розташування майданчиків і приміщень з поводження з РАВ усередині НБК

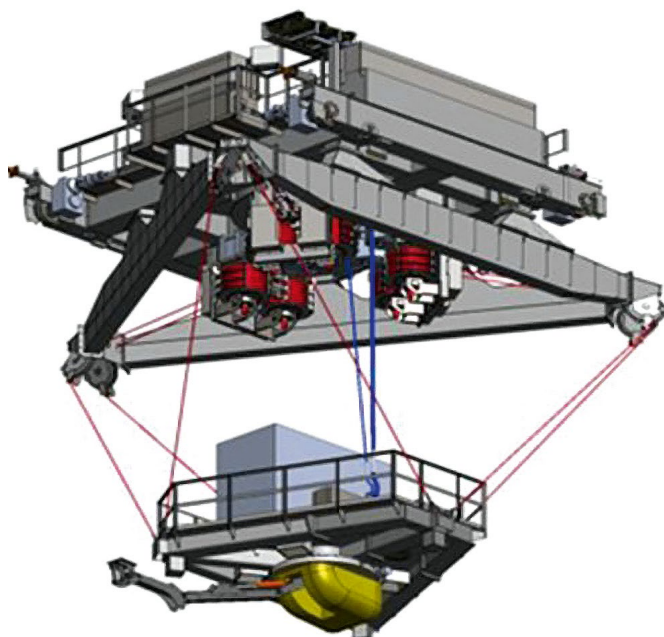
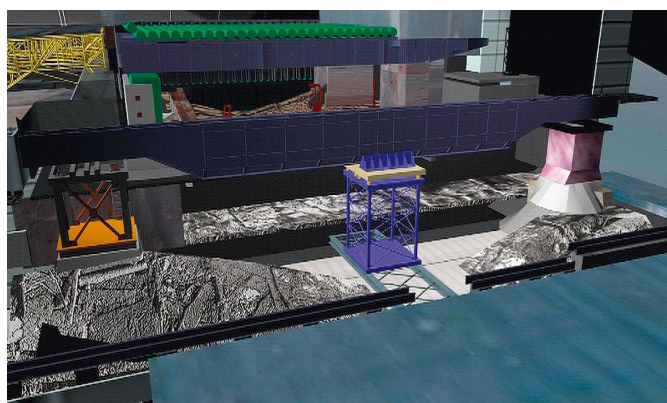


Рис. 3. Загальний вигляд МІП з ДКМ і маніпулятором (система МІП-ДКМ)

Таким чином, основою безпечного виконання робіт з демонтажу НК, розбирання завалів має бути застосування ДКМ.

Проект демонтажу металевої ферми є першим проектом демонтажу НК, що підлягають «ранньому» демонтажу. Одне із завдань розробки та реалізації цього проекту полягає в тому, щоб продемонструвати можливість та ефективність використання інфраструктури, створеної в рамках ПК-1, а також обґрунтування необхідності додаткового оснащення ділянок/систем НБК для здійснення робіт з демонтажу НК об'єкта «Укриття» у складі ПК-2.

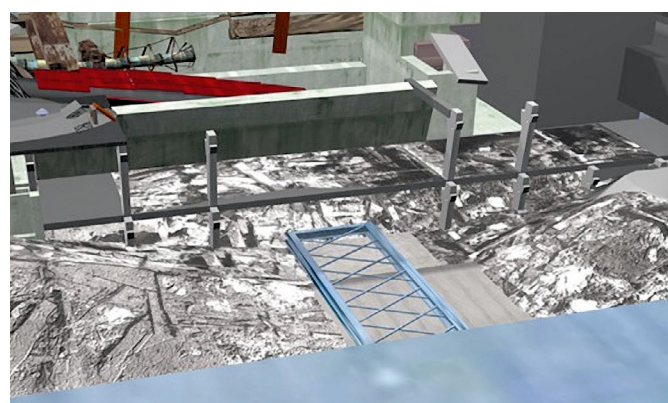


Спирання додаткової (проміжної) опори балки «Мамонт» на металеву платформу

У 2024 р. фахівцями «ЮТЕМ-ІНЖИНІРИНГ», ПБ АЕС НАН України та ДП «НДІБК» виконувались передпроектні роботи щодо об'єкта «Новий безпечний конфайнмент (НБК). Пусковий комплекс 2 (ПК-2). Демонтаж нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» ДСП «ЧАЕС» у частині «раннього» демонтажу». Одним з основних результатів цієї роботи була розробка документа «Проектні критерії та вимоги до інфраструктури НБК для демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» [6]. У цьому документі розглянуті й обґрунтовані проектні критерії та вимоги, необхідні для розробки робочого проекту демонтажу НК об'єкта «Укриття», включаючи роботи з демонтажу, створення додаткової інфраструктури, необхідної для здійснення демонтажу, поводження з РАВ, захисту персоналу та довкілля від шкідливих факторів цієї діяльності.

Пропозиції щодо безпечних методів розбирання завалів на ДЕ

Відповідно до концептуальних рішень [7], процесу розбирання завалів на перекритті ДЕ має передувати досить значна й довготривала робота, пов'язана з демонтажем об'ємних блоків, щитів і несучих балок та опор південної зони покрівлі об'єкта «Укриття». Слід зазначити, що для демонтажу балки «Мамонт» між осями Б–Г, 45–46 мають бути виконані роботи з монтажу платформи для спирання додаткової (проміжної) опори [8]. Оскільки встановлення платформи опори було визначено з технологічних міркувань, то це спричинило необхідність часткового переміщення або вилучення фрагментів завалів між осями Б–В, 44–46 (рис. 4).



Стан завалів на перекритті ДЕ після демонтажу балки «Мамонт» і додаткової опори

Рис. 4. Розбирання завалів для встановлення платформи додаткової опори балки «Мамонт»

Таким чином, роботи з розбирання завалів на перекритті ДЕ будуть проводитись у два етапи. Перший етап — часткове видалення або переміщення фрагментів завалів до демонтажу балки «Мамонт», а другий етап (остаточний) — видалення фрагментів завалів після демонтажу балки «Мамонт». Важливо зазначити, що наявність балки «Мамонт» у своєму проектному положенні на першому етапі істотно ускладнить роботу механізмів, що будуть задіяні в технологічному процесі розбирання завалів.

Не дивлячись на те, що роботи з демонтажу передбачається виконувати в основному ДКМ, персонал може бути задіяний для епізодичних робіт, що потребує впровадження заходів із радіаційного захисту. Особливо невиправданими є дозовитрати, які персонал може отримати на шляхах доступу до зон виконання робіт і на зворотному шляху.

Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати екрановану кабінку, яка буде транспортуватися одним із кранів НБК з місця посадки в зону виконання робіт (ЗВР) і назад (рис. 5).

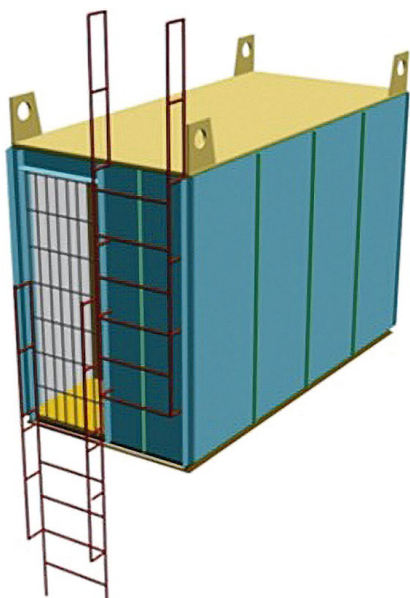


Рис. 5. Загальний вигляд екранованої кабінки для переміщення персоналу в ЗВР

Таким чином, застосування екранованої кабінки для транспортування персоналу повністю виключить необхідність організації шляхів доступу до будь-яких ЗВР в об'єкті «Укриття», а саме переміщення персоналу буде швидким і, головне, безпечним. Детально шляхи доступу із застосуванням екранованої кабінки для транспортування персоналу розглянуто в роботі [9].

Видалення матеріалів завалів на перекритті ДЕ буде полягати у виконанні таких операцій:

зламаних і заблокованих РЗБК (за потреби) та видалення фрагментів або сипких РАВ із завалу за допомогою змінних інструментів системи МІП-ДКМ;

завантаження РЗБК або сипких РАВ у спеціальні оборотні ємності. У разі виявлення фрагментів ПВМ, вилучення їх та подальше поводження з ними повинно здійснюватися за окремою процедурою;

переміщення оборотних ємностей із РЗБК і сипкими РАВ на майданчик тимчасового складування НБК за допомогою СОК.

Весь масив завалів (фрагменти РЗБК та сипучі РАВ) має видалятися до поверхні плит перекриття на позначці 38,600.

До початку робіт з розбирання завалів мають бути організовані майданчики для встановлення певної кількості оборотних ємностей. Тобто в певних місцях поверхня завалів за можливості має бути звільнена від громіздких та виступаючих фрагментів і мати поверхню, близьку до горизонтальної. Після демонтажу балки «Мамонт» і її західної опори як майданчик для оборотних ємностей може бути задіяна забетонувана основа західної опори балки «Мамонт» між осями 49–52 та платформа між осями Б–В, 44–46 для встановлення проміжної опори (рис. 6).

Габарити майданчиків для розміщення оборотних ємностей/контейнерів повинні забезпечити можливість одночасного розміщення оборотної ємності для РЗБК, оборотної ємності для сипких РАВ та мати ще резервну площу для встановлення додаткового контейнера в разі необхідності.

У зв'язку з тим, що між осями Б–В, 44–46 ДЕ побудована платформа для проміжної опори балки «Мамонт», завали будуть розбиратися частинами. У першу чергу повинно проводитися розбирання фрагментів між осями Б–В, 41–44 (східна частина), а в другу — між осями Б–В, 46–51 (західна частина). Таким чином, роботи з розбирання завалів з перекриття ДЕ будуть здійснюватися зі сходу на захід, і при цьому оборотні ємності з РАВ не будуть проноситися над уже розчищеними ділянками перекриття.

Окремо слід зазначити, що маніпулятор системи МІП-ДКМ повинен мати можливість працювати з різними інструментами й виконувати операції з різання, захоплення та переміщення фрагментів, завантаження сипких РАВ грейферним або прямим ковшем.

Процес захвату й утримування змінних інструментів має бути автоматизований. Заміну інстру-

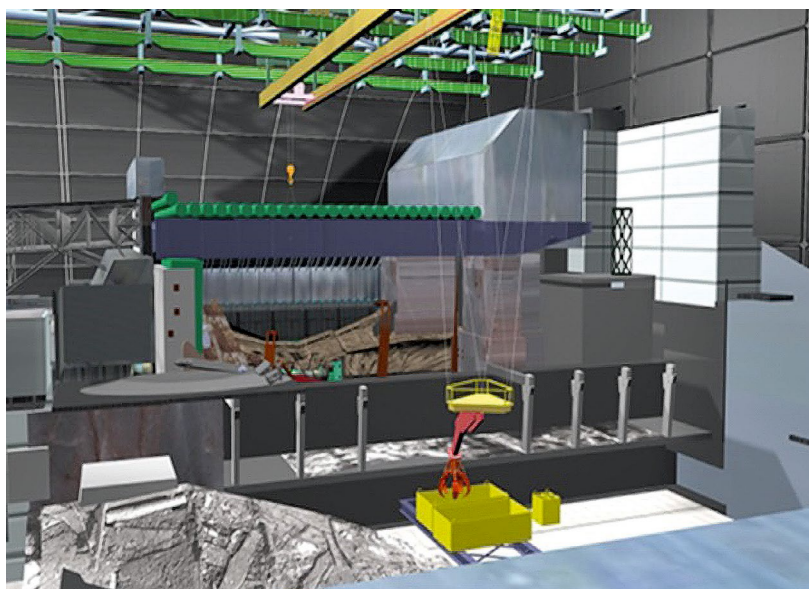


Рис. 6. Установлення оборотних ємностей у місці розташування платформи між осями Б–В, 44–46

ментів планується виконувати із застосуванням спеціальної платформи, що буде розташовуватися на майданчику тимчасового складування. Роботи з розбирання завалів повинні виконуватись зверху вниз, щоб не порушувалися існуючі відкоси завалів та їхня стабільність.

У розбиранні завалів повинні бути задіяні східний і західний крани НБК. Східний кран призначений для виконання технологічних операцій і має бути обладнаний візком з МПП, до якої буде кріпитися ДКМ з маніпулятором. ДКМ з маніпулятором повинен бути радіаційно захищеним у заводському виконанні й мати системи дистанційного керування, відеоспостереження, радіаційного контролю, а також систему автоматизованого захоплення й утримання робочого інструмента. Для виконання технологічних операцій маніпулятор може оснащуватися гідравлічними ножицями, бетоноломом, дисковими пилами по металу і бетону, 2-палім і 4-палім захватами, прямим ковшем, грейфером тощо. Західний кран, оснащений вантажним або спеціальним візком з гаками, призначений для транспортування оборотних ємностей або контейнерів з РАВ із ЗВР на майданчик тимчасового складування, а також виконання окремих монтажних і демонтажних робіт. Спеціальний візок для транспортування екранованої кабіни з персоналом може використовуватися як східним, так і західним краном залежно від поставлених завдань.

З огляду на подані обґрунтування наведемо загальні пропозиції щодо методів безпечного розбирання завалів.

Видалення РЗБК:

східний кран НБК із системою МПП-ДКМ, маніпулятор якого оснащений гідравлічним захватом, подається в ЗВР, де після огляду робочої ділянки за допомогою відеокамер і сканування гамма-візором для виявлення високоактивних джерел буде ухвалено рішення щодо видалення фрагмента РЗБК, наприклад ригеля;

система МПП-ДКМ з маніпулятором наводиться на фрагмент, де буде здійснено захоплення конструкції і виконуватиметься операція з його підйому на безпечну висоту. У разі блокування і неможливості його вилучення із завалу кран із системою МПП-ДКМ буде переміщений до платформи з інструментами, де відбудеться зміна захвату на ножиці для різання арматури. Далі кран переміщується у ЗВР;

після усунення перешкоди і від'єднання фрагмента східний кран перемістить систему МПП-ДКМ до платформи з інструментами, де знову відбудеться заміна ножиць на захват. Східний кран з системою МПП-ДКМ, оснащений захватом, буде переміщений у ЗВР до фрагмента, що вилучається;

за допомогою маніпулятора із захватом фрагмент вилучається та піднімається на безпечну висоту, після чого східний кран переміщує систему МПП-ДКМ до платформи з ємностями, де відбудеться розвантаження фрагмента. Залежно від габаритів і маси в ємності може бути розміщено від одного до декількох фрагментів;

західний кран НБК з вантажним візком транспортує заповнену ємність з РАВ на майданчик тимчасового складування.

Видалення сипких РАВ:

східний кран із системою МІП-ДКМ і маніпулятором із ковшем грейферного типу подається в ЗВР, де після огляду робочої ділянки за допомогою відеокамер і сканування гамма-візором було зафіксовано скупчення малорозмірних уламків і сипких матеріалів. Як правило, до сипких матеріалів будуть належати й залишки наявних у завалі напливів бетону після роботи бетоноломного або подрібнювального інструменту ДКМ;

система МІП-ДКМ з маніпулятором наводиться на зону скупчення сипких матеріалів, після чого буде виконуватися операція з заповнення ковша грейферного типу сипкими матеріалами і підйом його на безпечну висоту. Під час заповнення ковша гамма-візор, який знаходиться на стрілі маніпулятора, проводить сканування матеріалу, що заповнює ківш з метою недопущення потрапляння високоактивних фрагментів. У разі, якщо під час сканування показники гамма-візора будуть вказувати на наявність ПВМ, необхідно припинити забір матеріалів у ківш. Подальше поводження з можливими ПВМ повинно здійснюватися за окремою процедурою;

після заповнення ковша східний кран НБК переміщує систему МІП-ДКМ до платформи з ємностями, де відбудеться розвантаження матеріалів з ковша в ємність. Під час вилучення дрібних уламків і сипких матеріалів оптимальним буде варіант, коли ємність для завантаження буде розташовуватися в зоні дії маніпулятора ДКМ, що виключає витрати часу на додаткове переміщення крана.

Захват конструкцій, що знаходяться в завалах, їхнє транспортування, заміна навісних інструментів, сканування робочої ділянки, заповнення ковшів матеріалами, завантаження конструкцій і матеріалів в оборотні ємності — усі ці операції будуть виконуватися безліч разів з метою розбирання завалів до поверхні плит перекриття (рис. 7).

Описана технологія вилучення РЗБК і сипких РАВ буде пов'язана з роботою маніпулятора ДКМ і навісних інструментів, що мають бути передбачені в комплекті ДКМ відповідно до рішень проекту демонтажу НК об'єкта «Укриття» в обсягах ПК-2.

Основні принципи поводження з РЗБК і сипкими РАВ під час розбирання завалів

Під час розбирання завалів на перекритті ДЕ будуть утворюватися відходи, характеристика та об'єми яких наведено в документі [7].

У цій роботі розглянуті основні принципи поводження з фрагментами РЗБК і сипкими РАВ. РЗБК в основному можуть мати поверхнєве забруднення та знаходитися як на своїх проєктних місцях, так і в завалах. Сипкі РАВ, що утворилися під час аварії та ліквідації її наслідків, мають як поверхнєве, так і об'ємне радіоактивне забруднення.

Поводження з РЗБК і сипкими РАВ у межах НБК буде проводитися із залученням інфраструктури НБК у таких зонах:

зона демонтажу — розташована у ЗВР із розбирання завалів;

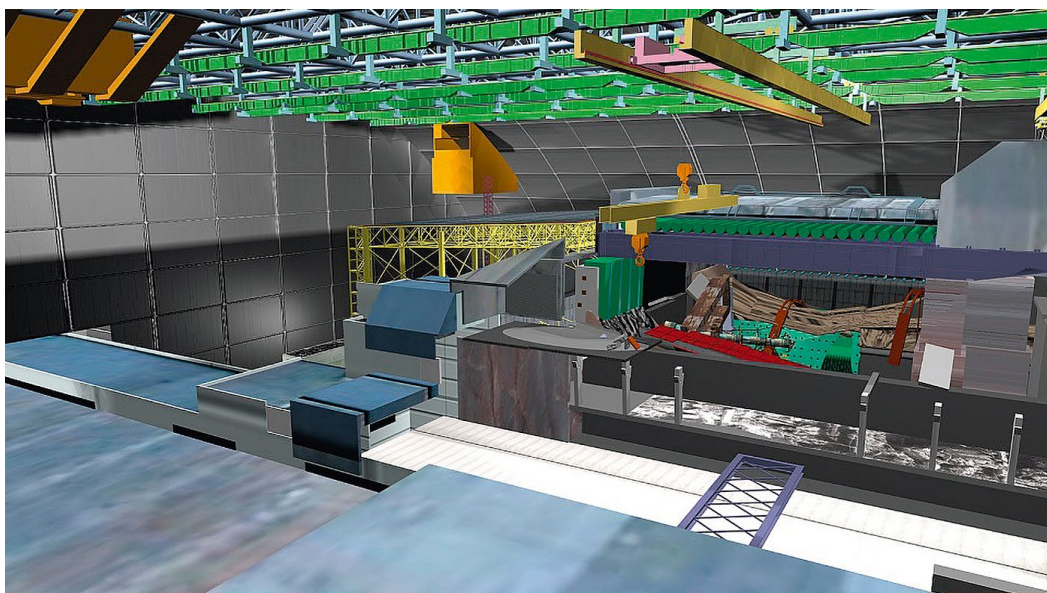


Рис. 7. Загальний вигляд перекриття ДЕ після закінчення робіт із розбирання завалів

зона поводження з матеріалами завалів — розташована в західній частині НБК, що складається з ряду виробничих майданчиків, оснащених відповідним обладнанням.

Основні роботи з поводження з матеріалами завалів на перекритті ДЕ будуть проводитися в технологічній будівлі (ТЕБ) НБК, яка є виробничим комплексом, призначеним для поводження з залізобетонними фрагментами конструкцій та матеріалами, які будуть видалятися із ЗВР, і який буде введений у експлуатацію в межах ПК-2. Виробничі потужності ТЕБ повинні включати технічно оснащені майданчики: первинної обробки, підготовки і завантаження автотранспорту. Заїзд/виїзд із НБК буде здійснюватися через північний і південний шлюзи. Оснащення виробничих майданчиків ТЕБ відповідним обладнанням, включно з ДКМ, мають бути запроектовані й поставлені в ТЕБ відповідно до рішень проекту з демонтажу НК в обсягах ПК-2. Зокрема відомо, що майданчики ТЕБ будуть обслуговувати два мостові крани вантажопідйомністю 20 т кожний. В'їзд на майданчик первинної обробки ТЕБ буде здійснюватися через відкотні ворота, що в свою чергу оснащуються повітряним шлюзом. Роботи на майданчику первинної обробки будуть забезпечуватися таким обладнанням:

- захватами і траверсами для перевантаження матеріалів демонтажу або робіт з контейнерами та ємностями за допомогою мостового крана;

- дистанційно керованим вантажним візком вантажопідйомністю 15 т для транспортування ємностей з матеріалами демонтажу;

- ДКМ на власному ходу (спільний для ТЕБ і майданчика тимчасового складування) для різання, навантаження РАВ і радіаційних вимірювань матеріалів при їхньому сортуванні;

- установкою дезактивації;

- навісним обладнанням для різання залізобетону; щоквою установкою дроблення залізобетону.

Також на площі майданчика первинної обробки має бути передбачений захисний бокс для тимчасової витримки незаповнених повністю контейнерів під час технологічних перерв.

Роботи на майданчику підготовки ТЕБ будуть забезпечуватися за допомогою мостового крана та захватів і траверс для перевантаження контейнерів. Також на площі майданчика підготовки має бути передбачене захищене місце для тимчасової витримки заповнених контейнерів під час очікування подачі спецтранспорту на майданчик завантаження ТЕБ.

У ТЕБ буде проводитися тільки первинна обробка (сортування, контейнеризація) та підготовка РАВ в обсязі, необхідному для їхнього подальшого транспортування за межі НБК.

Відеоспостереження та радіаційна розвідка зони виконання робіт з метою первинного сортування повинна здійснюватися за допомогою камер і вимірювальних приладів, закріплених на МІП і маніпуляторі ДКМ. Особливо приділяється увага виявленню та ідентифікації матеріалів, що класифікуються як ПБМ. Поводження з ПБМ і ВАР (високоактивними відходами) здійснюється із залученням інфраструктури НБК за спеціальною процедурою (у цій роботі не розглядається).

Після вилучення РЗБК або сипких матеріалів оборотна ємність за допомогою крана переміщується на майданчик тимчасового складування НБК, а після перевантаження її на дистанційно керований вантажний візок транспортують у ТЕБ.

Слід зазначити, що фрагменти РЗБК і сипкі матеріали, що повинні потрапляти на переробку в ТЕБ, являють собою середньо- і низькоактивні РАВ. У ТЕБ можуть потрапляти і великогабаритні РЗБК, що на підставі проведених радіометричних досліджень не підлягали вивезенню за межі НБК на захоронення в такому вигляді.

Поводження з РЗБК у ТЕБ в основному полягає в переведенні фрагментів у сипкий стан за допомогою дробарки з подальшою контейнеризацією. Враховуючи, що в завалах на ДЕ є значний обсяг великогабаритних РЗБК, то поводження з ними є досить складним завданням. У разі контейнерного зберігання таких РАВ знадобляться суттєві витрати як на переведення РЗБК у сипку форму, так і на проведення дозиметричних та радіометричних вимірювань під час завантаження відходів у контейнери. У роботі [10] обґрунтована доцільність зменшення загальних витрат цього процесу за рахунок захоронення великогабаритних РЗБК у приповерхневих сховищах методом «навалу» з подальшою іммобілізацією рідким бетонним розчином.

Принципова блок-схема поводження з НСАВ (низько-, середньоактивними відходами) при здійсненні діяльності з розбирання завалів на перекритті ДЕ розроблена з урахуванням порядку виконання демонтажних робіт і наведена на рис. 8.

Отже, після завантаження великогабаритних РЗБК в оборотні ємності в ЗВР вони транспортуються на майданчик тимчасового складування, де ухвалюється рішення і здійснюється підготовка їх для тран-

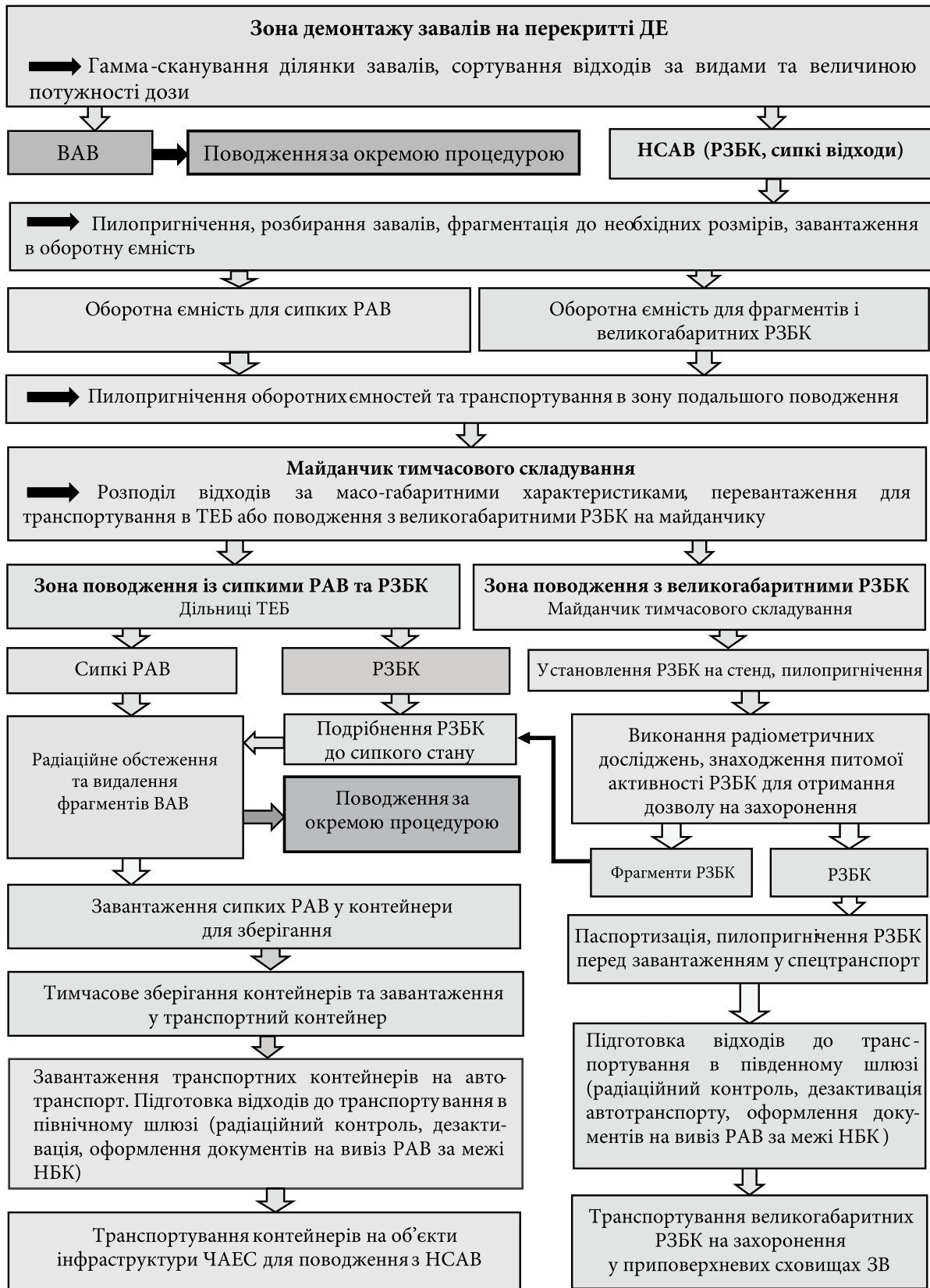


Рис. 8. Принципова блок-схема поводження з відходами при розбиранні завалів на перекритті ДЕ (ЗВ — зона відчуження)

спортування за межі НБК. РЗБК розвантажуються на спеціальний стенд, де виконуються такі технологічні операції з поводження:

- пилопригнічення фрагментів РЗБК за допомогою мобільної установки;

- радіаційний контроль з метою виявлення високоактивних радіоактивних забруднень (>10 мЗв/год);

- вирізання місць (вкраплень) із високоактивними радіоактивними забрудненнями або видалення з поверхні виявлених локальних інтенсивних джерел іонізуючого випромінювання;

- завантаження вирізаних джерел випромінювання в первинну упаковку з передачею їх у ТЕБ;

- фрагментація РЗБК до транспортних розмірів кузова спецавтотранспорту (за необхідності);

- проведення прямих радіометричних вимірювань та забір зразків поверхневого забруднення для лабораторних та спектрометричних досліджень з метою визначення величини потужності дози і поверхневого забруднення, а також характеристики фрагмента РЗБК з оформленням паспорта на його захоронення або проміжне зберігання;

- завантаження РЗБК у кузов спецавтотранспорту з подальшим транспортуванням на захоронення або тимчасове зберігання.

Виїзд спецавтотранспорту з великогабаритними РЗБК за межі НБК здійснюється через південний шляз.

З огляду на сформульоване вище функціональне призначення виробничих майданчиків ТЕБ та враховуючи факт, що остаточна комплектація їх технологічним обладнанням відбудеться в обсягах ПК-2, наводимо загальні пропозиції щодо методів безпечного поводження з матеріалами завалів ДЕ.

Майданчик первинної обробки. Дистанційно керований візок транспортує оборотну ємність із РЗБК або із сипкими РАВ з майданчика тимчасового складування в ТЕБ. Заїзд у ТЕБ здійснюється через відкотні ворота;

- радіаційний контроль з метою виявлення високоактивних джерел, не виявлених у зоні демонтажу та на майданчику тимчасового складування, їхнє вилучення та переміщення в захисний контейнер;

- мостовий кран перевантажує великогабаритний РЗБК на стенд, де здійснюється його розрізання на фрагменти, дозволені для завантаження в щоківку установку дроблення;

- ДКМ на власному ходу за допомогою навісного інструмента (дискової або тросової пилки) здійснює різання РЗБК на фрагменти;

- подрібнені фрагменти та РЗБК невеликих розмірів за допомогою захвату на маніпуляторі ДКМ або мостового крана перевантажуються в щоківку установку дроблення для переведення в сипкий стан. Установка розміщена у спеціальному кесоні для запобігання розповсюдженню пилу;

- подрібнені до рівня щебеню матеріали висипаються в підготовлений піддон, де розгортаються тонким шаром. ДКМ за допомогою гамма-візора, розташованого на маніпуляторі, проводить послідовне сканування відходів з метою знаходження високоактивних джерел та проводить завантаження відходів у контейнер для зберігання. У разі виявлення високоактивного джерела проводиться його вилучення та переміщення в первинну упаковку і захисний контейнер;

- сипкі РАВ в оборотній ємності подаються в ТЕБ, де здійснюється зовнішній радіаційний контроль з метою виявлення високоактивних джерел, не виявлених у зоні демонтажу та на майданчику тимчасового складування, їхнє вилучення та переміщення в захисний контейнер для ПБМ;

- за допомогою ДКМ з маніпулятором, оснащеним ковшем, здійснюється розвантаження з переміщенням матеріалів демонтажу в підготовлений піддон з розгортанням тонким шаром;

- ДКМ за допомогою гамма-візора, розташованого на маніпуляторі, проводить сканування відходів у піддоні з метою знаходження високоактивних джерел та роботою ковша проводить послідовне завантаження відходів у контейнер для зберігання. У разі виявлення аномалії здійснюється вилучення і переміщення джерела в первинну упаковку й далі в захисний контейнер для ПБМ, що подається в зону дії маніпулятора ДКМ;

- після заповнення контейнера для зберігання РАВ мостовий кран за допомогою траверси проводить закривання контейнера захисною кришкою та, здійснивши захоплення, переміщує його на майданчик підготовки.

На проміжних етапах на майданчику первинної обробки відбувається дезактивація спеціальними розчинами піддонів, контейнерів, траверс, обладнання, інструментів і робочих органів механізмів за допомогою мобільної установки високого тиску. Також відбувається процес збирання вторинних твердих РАВ та трапних вод для утилізації.

Майданчик підготовки. За допомогою мостового крана на майданчик підготовки переміщуються транспортний контейнер і постачаються порожні

контейнери для зберігання РАВ, що мають передаватися на майданчик первинної обробки. Транспортування контейнерів здійснюється спецавтотранспортом через північний шлюз;

здійснюється дезактивація та підготовка контейнерів зберігання РАВ для можливості завантаження у транспортний контейнер та переміщення на суміжний майданчик завантаження автотранспорту для подальшого транспортування за межі НБК;

за допомогою мостового крана з траверсою заповнені контейнери для зберігання РАВ, що накопичувалися на майданчику підготовки, завантажуються в транспортний контейнер. Тимчасове витримання заповнених контейнерів з РАВ здійснюється на майданчику підготовки у спеціально виділеному захищеному місці. На цьому етапі поводження з відходами після дозиметричних і радіометричних вимірювань виконується їхня паспортизація;

за допомогою мостового крана з траверсою підготовлений транспортний контейнер переміщується на суміжний майданчик завантаження автотранспорту для подальшого транспортування через північний шлюз НБК;

на майданчику підготовки відбувається процес збирання вторинних твердих РАВ та трапних вод для подальшої утилізації.

Північний шлюз НБК. Підготовка для транспортування на об'єкти ЧАЕС має відбуватися в північному повітряному шлюзі НБК таким чином:

здійснюється радіаційний контроль потужності дози, поверхневого забруднення захисних контейнерів та автотранспорту;

виконується дезактивація автотранспорту та захисних контейнерів (за необхідності);

оформляються документи на вивезення контейнерів з кондиційованими матеріалами демонтажу на об'єкти поводження з РАВ на ЧАЕС.

Висновки

Захисна споруда НБК разом із технологічними системами і приміщеннями (майданчиками), створеними в обсягах ПК-1, надає необхідні, але недостатні умови для здійснення діяльності з демонтажу НК, розбирання завалів об'єкта «Укриття». До початку проведення таких робіт необхідно створити додаткову інфраструктуру, а саме:

забезпечити наявність і працездатність загальної системи дистанційного керування, контролю і телекомунікації НБК;

укомплектувати МІП СОК ДКМ із маніпулятором; забезпечити наявність змінного навісного обладнання для системи МІП-ДКМ;

забезпечити наявність ДКМ на власному ході з маніпулятором для ТЕБ;

укомплектувати приміщення і виробничі майданчики ТЕБ необхідним вантажопідйомним, технологічним, лабораторно-дослідним обладнанням, механізмами і пристроями;

забезпечити наявність необхідної кількості контейнерного парку та ємностей для поводження з РАВ;

завершити комплектацію додаткових систем та інфраструктури НБК, що підлягають введенню в експлуатацію в обсягах ПК-2, включно із системами побутового забезпечення персоналу.

Обладнання для поводження з РАВ, яке було поставлене та введенне в експлуатацію, а також сама діяльність із вилучення РЗБК і змішаних РАВ із завалу на перекритті ДЕ в поєднанні з безлюдними технологіями демонтажу, буде здійснюватися вперше.

Розбирання завалів на перекритті ДЕ із залученням СОК НБК розпочнеться після демонтажу з'єднальної ферми, щитів південної зони об'єкта «Укриття», основних несучих балок «Мамонт» і «Восьминіг», а також західної і східної опор балки «Мамонт». Тобто на практиці будуть випробувані можливості обладнання, яке було розроблене, поставлене й введенне в експлуатацію в межах ПК-1 і ПК-2.

До початку робіт із розбирання завалів на перекритті ДЕ основні шляхи доступу, які розташовувалися на щитах покрівлі об'єкта «Укриття», будуть розірвані, а безпечний доступ персоналу в ЗВР і у зворотному напрямку може здійснюватися лише за допомогою екранованої кабіни, яку буде транспортувати один із кранів НБК.

Обґрунтована технологічна необхідність двоетапного (до демонтажу балки «Мамонт» і після) порядку розбирання завалів на перекритті ДЕ, а також сформульовані основні методи технології розбирання та запропоновано застосування ДКМ, необхідних для здійснення діяльності з безпечного виконання демонтажних робіт на перекритті ДЕ та поводження з ними на майданчику тимчасового складування і в технологічній будівлі НБК.

Основні роботи з безпечного поводження з РЗБК і сипкими РАВ будуть здійснюватися на ділянках ТЕБ з метою контейнеризації їх для подальшого зберігання/захоронення за межами НБК. Поводження з великогабаритними РЗБК може здійснюватися на майданчику тимчасового зберігання з метою здешев-

лення процесу підготовки для довгострокового зберігання за межами НБК або захоронення на об'єктах зони відчуження.

Пропозиції щодо методів виконання робіт із розбирання завалів на перекритті ДЕ, що викладені в цій роботі, можуть знайти своє відображення під час виконання проекту з демонтажу НК об'єкта «Укриття» в обсягах ПК-2.

Досвід виконання робіт із розбирання завалів та поведіння з відходами повинен бути застосований у подальшому і бути врахований під час планування вилучення ПВМ та інших нагромаджень матеріалів і конструкцій, що наразі знаходяться на верхніх, проміжних і нижніх позначках об'єкта «Укриття».

Список використаної літератури

1. Об'єкт «Укриття» в умовах нового безпечного конфайнмента / В. О. Краснов, А. В. Носовський, С. А. Паскевич, В. М. Рудько; під заг. ред. А. В. Носовського. – Чорнобиль : ІПБ АЕС НАН України, 2021. – 344 с.
2. Постанова Колегії ДІЯРУ від 19.10.2023 «Про результати державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки Звіту з переоцінки безпеки експлуатації локалізуючої споруди об'єкта «Укриття» (ЛС ОУ) з обґрунтуваннями можливості продовження її експлуатації до 31.10.2029 на рівні безпеки ЛС ОУ не нижче того, що був досягнутий після завершення невідкладної стабілізації».
3. Методология переоценки состава нестабильных конструкций ОУ, подлежащих «раннему» демонтажу / SIP09-2-001 NI 03 RPT 03606. – Славутич, 2013. – 13 с.
4. Отчет о переоценке состава нестабильных конструкций ОУ, подлежащих «раннему» демонтажу / SIP09-2-001 NI 03 RPT 03705. – Славутич, 2014. – 32 с.
5. Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині демонтажу металевої ферми підсилення південної покрівлі. Том 6. Звіт з аналізу безпеки (301503.201.006-ЗАБ/ІПБ АЕС НАНУ), 2016. – 144 с.
6. Проектні критерії та вимоги до інфраструктури НБК для демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» / 02-0365B-A10-DC 01, ред. 3. – 189 с.
7. Анализ концептуальных проектных решений по «раннему» демонтажу нестабильных конструкций ОУ с учетом двух вариантов «интегрированного демонтажа/обращения» и демонтажа с отложенным обращением / SIP 09-2-001 NI 03 RPT 03803. – Задача 3. – 2014.
8. Peculiarities of the Shelter Object Individual Unstable Structures Dismantling / O. V. Balan, S. H. Brylka, S. S. Pidbereznyi, V. M. Rudko // Nuclear Power and the Environment. – 2023. – Vol. 2 (27). – P. 56–66.
9. Щодо доступу персоналу в зони розташування нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», що підлягають демонтажу / О. В. Балан, Л. І. Павловський, С. С. Підберезний, В. М. Рудько // Ядерна енергетика та довкілля. – 2024. – № 2 (30). – С. 38–50.
10. Пропозиції щодо підготовки та захоронення радіоактивно забруднених бетонних конструкцій об'єкта «Укриття» у приповерхневих сховищах / О. В. Балан, Л. І. Павловський, В. М. Рудько, С. С. Підберезний // Ядерна енергетика та довкілля. – 2024. – № 1 (29). – С. 29–38.

O. V. Balan, L. I. Pavlovsky, V. M. Rudko,
S. G. Brylka, S. S. Pidbereznyi

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

Features of Debris Dismantling on the Deaerator Platform Deck of the Shelter Object at the Chornobyl NPP

The paper presents proposals for the technology of dismantling debris on the deck of the Deaerator Platform (DP), including the necessary equipment required for these operations.

It is emphasized that dismantling debris within the scope of unstable structures removal is among the most challenging tasks in the implementation of this project. The main reason is the presence of numerous sources of ionizing radiation that differ in type, size, and intensity within the dismantling zone. This leads to technological challenges primarily related to ensuring radiation safety.

The application of technologies based on the use of systems, mechanisms, and devices that allow for the complete elimination or significant minimization of personnel involvement in these operations is required. The main methods for using remotely controlled mechanisms, necessary both for debris dismantling and for subsequent waste handling, have been formulated.

A basic flowchart of waste handling during debris dismantling on the DP deck has been developed, taking into account the sequence of dismantling activities.

It is noted that operations involving large-sized reinforced concrete radiation-contaminated structures (CRCS) can be performed at the New Safe Confinement (NSC) temporary storage site, followed by transportation outside the NSC for disposal in near-surface storage fa-

cilities. Handling of loose radioactive waste (RW), as well as CRCS with above-standard radiation indicators (after conversion to a loose form), is carried out in the Process Building (PB), with subsequent transfer outside the NSC for containerized storage.

It is emphasized that the experience gained from performing debris dismantling and waste-handling operations can be applied in the future and should be taken into account when planning the removal of fuel-containing materials (FCM) and other accumulations of materials and structures currently located at the upper, intermediate, and lower levels of the Shelter object.

Keywords: New Safe Confinement, Shelter Object, unstable structures, reusable container, main crane system, mobile instrumental platform, remotely controlled mechanism, radioactive waste management.

Keywords: New Safe Confinement, Shelter object, unstable structures, revolving capacity, main crane system, mobile instrument platform, remotely controlled mechanism, radioactive waste management.

References

1. Krasnov V. O., Nosovskyi A. V., Paskevych S. A., Rudko V. M.; A. V. Nosovskyi (ed.) (2021). *Obiekt "Ukryttia" v umovakh novoho bezpechnoho konfainmenta* [The Shelter Object in Conditions of the New Safe Confinement]. Chornobyl: ISP NPP, NAS of Ukraine, 344 p. (in Ukr.)
2. Resolution of the Board of the State Nuclear and Radiation Safety Agency of Ukraine dated 10/19/2023 ["On the results of the state nuclear and radiation safety examination of the Report on the reassessment of the safe operation of the Shelter object containment structure (SO CS) with justifications for the possibility of continuing its operation until 10/31/2029 at the level of safety of the SO CS not lower than that achieved after the completion of emergency stabilization"]. (in Ukr.)
3. Methodology for re-evaluating the composition of unstable structures of the Shelter object to "early" dismantling. SIP09-2-001 NI 03 RPT 036 06. Slavutych, 2013, 13 p. (in Rus.)
4. Report on the re-evaluating the composition of unstable structures of the Shelter object subject to "early" dismantling. SIP09-2-001 NI 03 RPT 037 05. Slavutych, 2014, 32 p. (in Rus.)
5. Reconstruction of the Shelter object of the ChNPP in the part of dismantling the metal truss of the southern roof reinforcement. Volume 6. Safety analysis report (301503.201.006-ZAB/ISP NPP NASU), 2016, 144 p. (in Ukr.)
6. Design criteria and requirements for the infrastructure of the NSC for the dismantling of unstable structures of the Shelter object. 02-0365B-A10-DC01, ed. 3, 189 p. (in Ukr.)
7. Analysis of conceptual design solutions for the "early" dismantling of unstable structures of the Shelter object taking into account two options of "integrated dismantling/recycling" and dismantling with deferred recycling. SIP 09-2-001 NI 03 RPT 038 03. Task 3. 2014. (in Rus.)
8. Balan O. V., Brylka S. H., Pidberezhnyi S. S., Rudko V. M. (2023). Peculiarities of the Shelter object individual unstable structures dismantling. *Nuclear Power and the Environment*, vol. 27, no. 2, pp. 56–66.
9. Balan O. V., Pavlovsky L. I., Pidberezhnyi S. S., Rudko V. M. (2024). Regarding personnel access to the location area of the Shelter object unstable structures to be dismantled. *Nuclear Power and the Environment*, vol. 30, no. 2, pp. 38–50.
10. Balan O. V., Pavlovsky L. I., Rudko V. M. (2024). Proposals regarding the preparation and storage of radioactively contaminated concrete structures of the Shelter object in near-surface storage. *Nuclear Power and the Environment*, vol. 29, no. 1, pp. 29–38.

Надійшла / Received 13.03.2025

Рекомендована до друку / Accepted 29.05.2025