

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

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

Загальний підхід до поводження з паливовмісними матеріалами і супутніми радіоактивними відходами на етапі діяльності з вилучення їх із приміщень об'єкта «Укриття»

Ключові слова:

Чорнобильська АЕС,
новий безпечний конфайнмент,
об'єкт «Укриття»,
система основних кранів,
дистанційно керований робот-
маніпулятор,
паливовмісні матеріали,
високоактивні відходи,
вилучення,
супутні радіоактивні відходи

Після введення в експлуатацію комплексу «новий безпечний конфайнмент — об'єкт «Укриття»» (комплекс НБК-ОУ) діяльність щодо поводження з радіоактивними відходами (РАВ) під час вилучення паливовмісних матеріалів (ПВМ) із приміщень об'єкта «Укриття» має здійснюватися із залученням систем НБК, включно з системою основних кранів, а також систем та обладнання технологічної будівлі як складової НБК. Доведено, що на етапі, який передує цій діяльності, мають бути підготовлені існуючі об'єкти інфраструктури з поводження з РАВ державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція» і навіть побудовані нові об'єкти. Наведено новий принциповий підхід до поводження з відходами, які будуть утворюватися під час вилучення ПВМ з об'єкта «Укриття». Розглянуто транспортно-технологічні ланцюжки поводження з відходами: ПВМ, високоактивні відходи та супутні РАВ. Наведено висновки щодо достатності можливостей інфраструктури з поводження з РАВ на Чорнобильській АЕС та в зоні відчуження для забезпечення загалом цієї діяльності.

Вступ

Під час поетапного перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему основним завданням є переведення паливовмісних матеріалів (ПВМ) в ядерно безпечний стан. Для його реалізації необхідно провести заходи з максимально можливого вилучення/переведення в контрольований стан ПВМ та подальшого поводження з ними, а також заходи з видалення ПВМ з об'єкта «Укриття» та організації доступу для контролю ПВМ, які залишаються всередині об'єкта.

Необхідність вилучення ПВМ обґрунтована в багатьох роботах, зокрема в документі [1]. У ньому зазначається, що при поводженні та зберіганні ядерно небезпечних матеріалів ядерна безпека забезпечується одним із таких способів:

обмеженням маси ядерно небезпечних нуклідів, речовини, матеріалу;

обмеженням концентрації ядерно небезпечних нуклідів;

обмеженням об'єму, діаметра, товщини шару (встановленням допустимих геометричних параметрів обладнання).

Розглядається вилучення як з відкритих скупчень ПВМ у приміщеннях об'єкта «Укриття», так і зі скупчень, до яких доступ на цей час відсутній. Тобто за наявності залишків ПВМ усередині об'єкта «Укриття» в неконтрольованому стані об'єкт взагалі не зможе бути звільнений від ядерного регулювання та контролю [2]. Результати проведеного аналізу вказують на необхідність вилучення ПВМ, у першу чергу найбільш ядерно небезпечних скупчень.

© О. В. Балан, Л. І. Павловський, В. М. Рудько, С. С. Підберезний, 2023

У процесі вилучення, крім самих ПВМ, буде утворюватися велика кількість супутніх радіоактивних відходів (РАВ). Згідно з [3] кількість відходів із вмістом ядерного палива більше 1 % (мас.) становить понад 1 315 т, із вмістом ядерного палива менше 1 % (мас.) — більше 41 000 т, радіоактивно забруднених будівельних конструкцій та матеріалів — більше 240 000 м³. За даними державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція» (ДСП «ЧАЕС») [4], прогнозований обсяг РАВ під час зняття з експлуатації енергоблоків ЧАЕС та перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему становить 177 255 м³. Частина рідких РАВ становить 36 148 м³, а твердих — 141 107 м³.

Слід зазначити, що не всі РАВ, кількість яких була задекларована, будуть вилучатися з об'єкта «Укриття», проте їхня кількість буде надзвичайно велика. Тобто номенклатура та характеристики РАВ, що будуть вилучатися разом із ПВМ, будуть мати надто широкий спектр. Для розробки схеми поводження з відходами під час вилучення ПВМ розглянуто їхні основні види.

ПВМ:

а) свіжі тепловидільні збірки (ТВЗ), відпрацьовані тепловидільні збірки, з яких велика частина пошкоджена;

б) уламки тепловидільних елементів (ТВЕЛ);

в) окремі паливні пігулки;

г) коричневі і чорні лавоподібні паливовмісні матеріали (ЛПВМ).

Високоактивні відходи (ВАВ):

а) фрагменти активної зони;

б) графіт;

в) технологічні канали;

г) інші уламки конструкцій та матеріалів активної зони.

Супутні РАВ:

а) радіоактивно забруднені металеві конструкції (РЗМК);

б) радіоактивно забруднені бетонні конструкції (РЗБК);

в) фрагменти та уламки будівельних конструкцій;

г) різні будівельні матеріали.

Принципова схема поводження з ПВМ та супутніми РАВ під час виконання робіт з видалення ПВМ з об'єкта «Укриття»

Проведений аналіз матеріалів у частині поводження з РАВ об'єкта «Укриття» (зокрема роботи [5–7])

показує, що напрацьовані раніше пропозиції щодо поводження з РАВ під час вилучення ПВМ з об'єкта «Укриття» проводилися без урахування функціонування комплексу НБК-ОУ та використання наявного технологічного обладнання НБК, включно з системою основних кранів (СОК) НБК, та обладнання технологічної будівлі (ТЕБ) НБК.

Принципова блок-схема поводження з відходами під час вилучення ПВМ із приміщень об'єкта «Укриття» (рис. 1) була розроблена на підставі даних аналізу матеріалів щодо експлуатації комплексу НБК-ОУ, за проектними рішеннями пускових комплексів (ПК-1 і ПК-2), а також технічними пропозиціями, наведеними у документах [1, 8]. Схема поводження розроблена для трьох груп РАВ: ПВМ, ВАВ і супутніх РАВ.

Перед початком діяльності з вилучення ПВМ із приміщень об'єкта «Укриття» мають бути підготовлені відповідні об'єкти інфраструктури з сортування, переробки та захоронення або проміжного зберігання відходів, що будуть видалятися. Слід зазначити, що проведення цієї діяльності буде здійснюватися не раніше 2040 р. На той час частина наявних об'єктів інфраструктури поводження з РАВ ДСП «ЧАЕС» і тих, що знаходяться в зоні відчуження, будуть на межі закінчення терміну експлуатації. Тобто потрібно провести низку технічних та організаційних заходів щодо продовження терміну експлуатації об'єктів інфраструктури.

Наводимо основні підходи до поводження з відходами, що будуть утворюватися під час вилучення ПВМ із приміщень об'єкта «Укриття».

Поводження з ПВМ і ВАВ. Поводження з ПВМ та ВАВ об'єкта «Укриття» є надзвичайно складним інженерним завданням. Передусім це виконання робіт у дуже складних радіаційних умовах, де величини ПД можуть досягати 10 Зв/год [1]. У таких умовах залучення персоналу до фізичних робіт має бути повністю виключено, а робототехніка, задіяна в технологічних операціях, підготовлена до робіт у високих полях іонізуючого випромінювання. Крім того, обов'язково мають бути реалізовані заходи щодо протирадіаційного захисту персоналу та навколишнього середовища для забезпечення високого рівня радіаційної безпеки всередині НБК. Як уже було зазначено, величини ПД у багатьох зонах виконання робіт в об'єкті «Укриття» можуть досягати 10 Зв/год, отже й величини ПД у зонах розташування ПВМ, що вилучаються, будуть мати аналогічні або навіть більші значення. Таким чином, вилучені ПВМ не можуть бути направлені для перероблення в ТЕБ НБК,

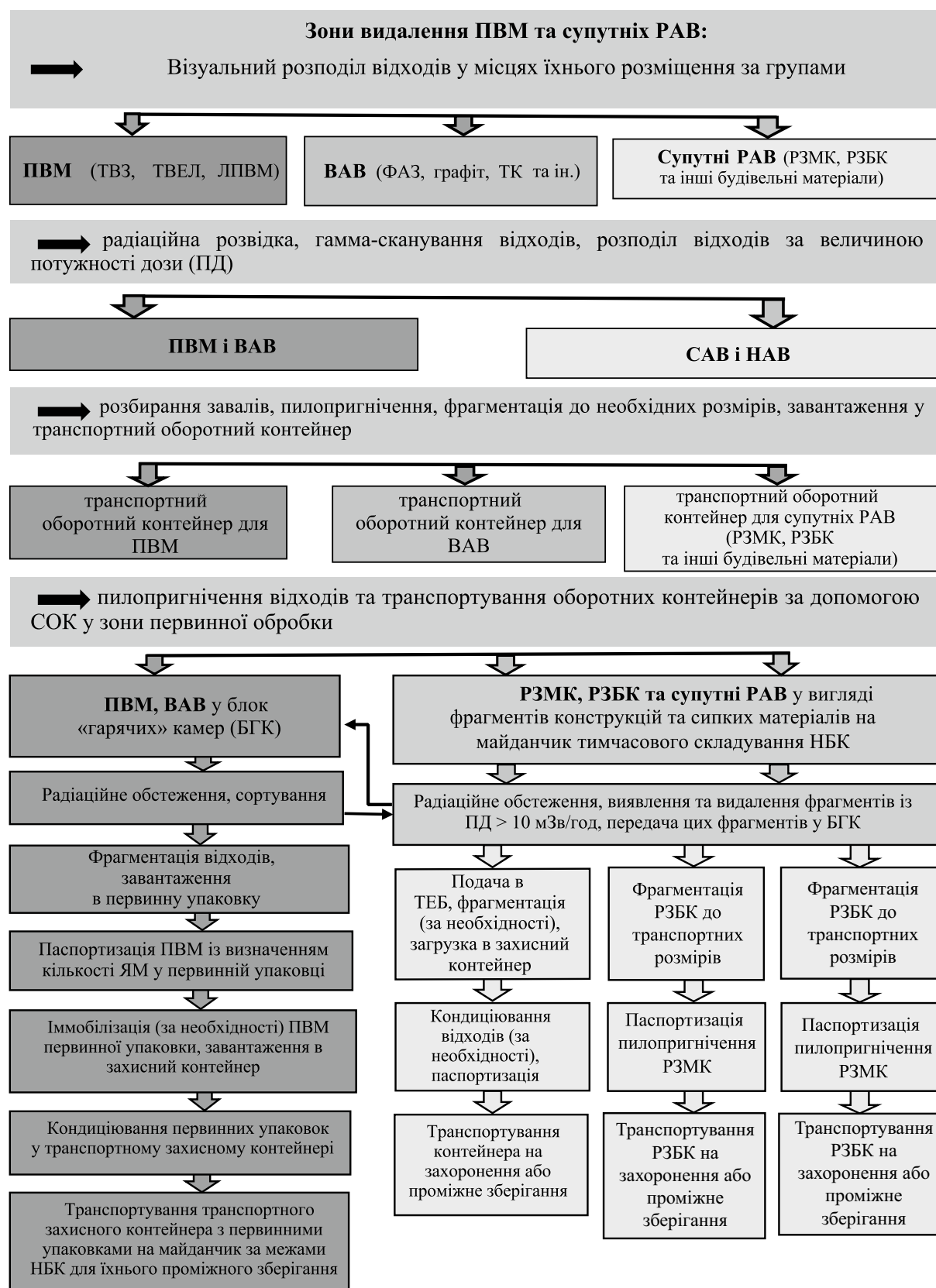


Рис. 1. Принципова блок-схема поводження з ПВМ та супутніми РАВ (ФАЗ — фрагменти активної зони, ТК — технологічні канали, САН і НАВ — середньо- і низькоактивні відходи, ЯМ — ядерні матеріали)

як це могло відбуватися з іншими РАВ (САВ і НАВ), що вилучались із приміщень об'єкта «Укриття» раніше. Тобто роботи щодо поводження з ПВМ будуть виконуватися в герметичних захисних блоках (БГК). Такі камери мають бути побудовані в просторі НБК у складі нового виробничого корпусу (рис. 2).



Рис. 2. Розміщення виробничого корпусу з БГК на майданчику тимчасового складування НБК

Враховуючи можливий вплив радіаційних факторів на радіоактивне забруднення конструкцій і простір під аркою НБК у період виконання робіт з вилучення ПВМ, головною умовою цієї діяльності є мінімізація впливів за рахунок максимальної локалізації технологічних процесів. Фактично мінімізація радіаційного впливу досягається за рахунок поводження з вилученими ПВМ із залученням технології БГК. Тобто процес поводження з ПВМ локалізується в закритому виробничому корпусі. Але під час виконання технологічних операцій з ПВМ, а саме розбирання завалів, що виконуються в місцях їхнього скупчення в об'єкті «Укриття» (наприклад, у центральному залі), локалізація неможлива.

Таким чином, ланцюжок поводження з ПВМ розпочинається з діяльності з вилучення, що проводиться в місцях їхнього скупчення в приміщеннях об'єкта «Укриття». Перед початком робіт з розбирання завалів за допомогою відеоспостереження здійснюється обстеження завалів та радіаційна розвідка зони проведення робіт включно з можливим проведенням візуального розподілу за видами ПВМ: ТВЗ, ТВЕЛ, ЛПВМ.

Роботам з видалення ПВМ і РАВ завжди має передувати пілопригнічення, що виконується за допомогою СОК і мобільної установки. Пілопригнічення має здійснюватися по всій ділянці, на якій має проводитися вилучення.

Роботи з розбирання завалів, вилучення ПВМ та завантаження в контейнери виконуються із залученням СОК НБК і парку дистанційно керованих механізмів (ДКМ), оснащених спеціальним обладнанням для здійснення цієї діяльності. Завантаження в оборотні контейнери бажано здійснювати окремо за різними видами ПВМ. Виходячи з заходів безпеки, контейнери, що завантажуються, мають знаходитися на максимально близькій відстані від місць розбирання. Такий підхід дасть змогу мінімізувати можливе розповсюдження радіоактивних аерозолів за межі зони виконання робіт.

Роботи з вилучення відходів мають проводитися за допомогою системи з мобільної інструментальної платформи (МІП) на крані НБК та закріпленням до неї дистанційно керованим роботом-маніпулятором (ДКРМ) (рис. 3), а також окремих мобільних ДКМ (рис. 4) на власному ході, залежно від зони робіт та технології їх проведення.

Радіаційний контроль здійснюється гамма-сканерами або іншим дозиметричним обладнанням, яке буде доставлено в зону робіт за допомогою МІП-ДКРМ, або вже розміщене на їхніх маніпуляторах. Перед завантаженням у контейнер матеріали завалів фрагментуються до транспортних розмірів. У процесі цієї роботи вид, радіаційні характеристики ПВМ та розміри їхніх фрагментів оцінюються окремо в кожному конкретному випадку. Роботи виконуються за проектними рішеннями згідно з узгодженими програмами безпечного виконання робіт.

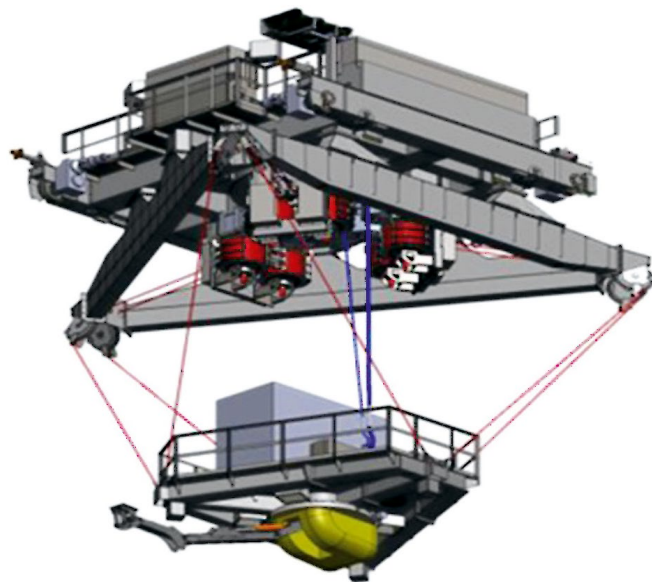


Рис. 3. Загальний вигляд системи МІП-ДКРМ на крані НБК



Рис. 4. Загальний вигляд ДКМ на власному ходу із пристроєм для швидкого роз'єднання і дистанційної заміни навісного обладнання

У місцях вилучення, крім ПВМ, є висока ймовірність знаходження радіоактивних матеріалів, що характеризуються як ВАВ. Заходи з забезпечення радіаційної безпеки за їхньої фрагментації та завантаження в контейнер є аналогічними, як і для робіт з ПВМ. Єдиною відмінністю є те, що ВАВ після візуального розподілу, що проводиться за допомогою відеоспостереження зони виконання робіт, мають завантажуватися в контейнер окремо від ПВМ. Такий підхід значно зменшить трудомісткість циклу поводження з такими матеріалами.

Після наповнення контейнера проводиться пілопригнічення відходів і самого контейнера з подальшим транспортуванням його за допомогою СОК у БГК. Пілопригнічення проводиться мобільною установкою, яка транспортується на СОК.

Контейнер з ПВМ і ВАВ надходить у приймальне відділення БГК, де проводиться сортування їх за окремими видами. Під час сортування можлива їхня фрагментація, а в деяких випадках для знаходження кількості ядерних матеріалів виконується переведення відходів у сипку або напівсипку форму. Фрагментація матеріалів здійснюється штатними ДКРМ, що обслуговують приймальне відділення БГК. Після сортування, радіаційного обстеження та радіометричних вимірювань ПВМ та ВАВ переміщуються в технологічну зону БГК, де здійснюється завантаження радіоактивних матеріалів у первинні упаковки. Як первинні упаковки рекомендовано використовувати 200 л бочки [8]. На цій стадії поводження з відходами

після дозиметричних і радіометричних вимірювань виконується їхня паспортизація включно з визначенням кількості ядерних матеріалів (для ПВМ) в упаковці. Під час проведення сортування ПВМ і ВАВ велика ймовірність утворення САВ і НАВ. Ці відходи повинні бути завантажені в контейнер та передані на майданчик тимчасового складування НБК для подальшого поводження з ними в ТЕБ НБК.

Рішення про доцільність іммобілізації відходів у первинній упаковці та застосування для цього конкретних хімічних реагентів має бути прийнято на етапі виконання цих робіт. Враховуючи, що ці роботи будуть виконуватися після 2040 р., доцільність іммобілізації упакованих РАВ у першу чергу має регламентуватися вимогами існуючого на той період законодавства у сфері ядерної та радіаційної безпеки, а також наявними інноваціями в майбутньому виробництві.

У технологічній зоні первинні упаковки встановлюються в попередньо підготовлений захисний контейнер, який переміщується у шлюзову камеру БГК. Спеціальний транспортер забирає підготовлений контейнер зі шлюзової камери та транспортує його на майданчик тимчасового складування НБК. Далі за допомогою вантажного крану здійснюється завантаження контейнера у спецавтотранспорт, який переміщує його до місця проміжного зберігання за межами НБК. Рекомендується місце проміжного зберігання контейнерів з ПВМ організувати на майданчику, що був побудований для збирання металоконструкцій арки НБК (рис. 5).

Цей майданчик знаходиться поруч з НБК, що зменшує радіаційні ризики під час транспортування захисних контейнерів з НБК на майданчик. Крім того, існуючий майданчик має надійне бетонне покриття та розгалужену систему необхідних інженерних мереж.

Поводження із супутніми РАВ. Об'єм супутніх РАВ, що будуть утворюватися під час вилучення ПВМ з об'єкта «Укриття», буде надзвичайно великий. Провести кількісну оцінку РАВ, які будуть вилучатися, практично неможливо. Проте за будь-якої кількості РАВ, що будуть утворюватися у процесі цієї діяльності, має бути підготовлена інфраструктура для їхнього збирання, сортування, переробки та захоронення або проміжного зберігання.

Роботи з поводження із супутніми РАВ здійснюються аналогічно до робіт із видалення ПВМ, тобто перед початком робіт за допомогою відеоспостереження виконується обстеження, радіаційна роз-

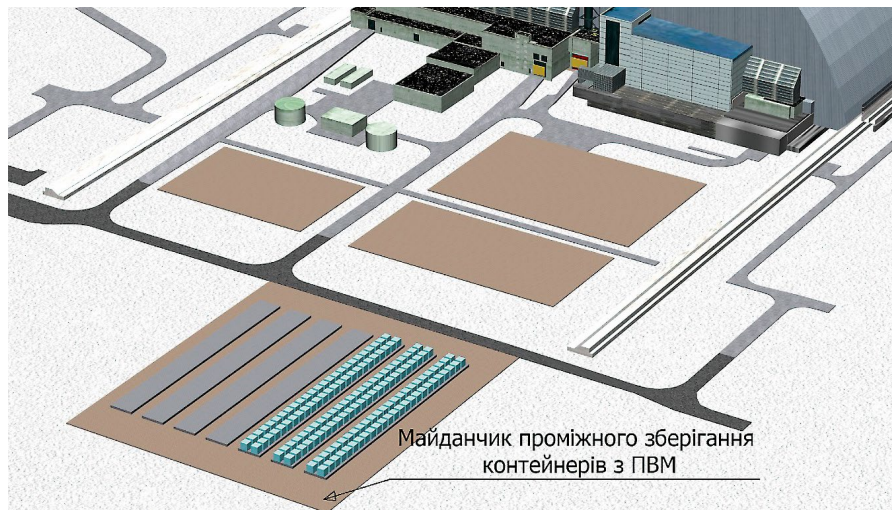


Рис. 5. Місце проміжного зберігання контейнерів з ПВМ на майданчику збирання арки НБК

відка з візуальним сортуванням за видами: уламки будівельних конструкцій і матеріалів, радіоактивно забруднені металеві та бетонні конструкції. У разі необхідності за допомогою мобільної установки здійснюється пилопригнічення ділянки, на якій проводяться роботи. За можливості розбирання матеріалів завалів та завантаження у транспортний оборотний контейнер різних видів РАВ виконується окремо. Роботи проводяться за допомогою системи МІП-ДКРМ СОК НБК та ДКМ на власному ходу. Радіаційний контроль виконується за допомогою гамма-сканерів та іншого дозиметричного обладнання, яке або доставлено в зону робіт за допомогою МІП-ДКРМ СОК, або розміщено на його маніпуляторі. Виявлені високоактивні фрагменти на габаритних конструкціях за можливості вирізаються, а виявлені вкраплення ВАВ у будівельних матеріалах завантажуються в оборотний контейнер для ВАВ із подальшим його передаванням у БГК. Решта РАВ включно з РЗМК і РЗБК завантажуються в контейнер для суміжних РАВ. При цьому перед завантаженням РЗБК і РЗМК, за можливості, фрагментуються до транспортних розмірів. Роботи виконуються за проектними рішеннями згідно з узгодженими програмами безпечного виконання робіт.

Після наповнення контейнера проводиться пилопригнічення відходів і самого контейнера з подальшим транспортуванням його за допомогою СОК на майданчик тимчасового зберігання НБК для переміщення в ТЕБ.

На майданчику тимчасового складування НБК виконуються такі технологічні операції щодо поводження з відходами:

сортування за видами відходів: уламки будівельних конструкцій і матеріалів, РЗМК і РЗБК;

кантування демонтованої конструкції (за необхідності), щоб забезпечити можливість вільного доступу по периметру конструкції та стійкість її після видалення строп;

радіаційний контроль з метою виявлення високоактивних радіоактивних забруднень (>10 мЗв/год) конструкції або інших змішаних РАВ;

вирізання місць із високоактивними забрудненнями конструкції або видалення виявлених локальних інтенсивних джерел іонізуючого випромінювання у складі РАВ;

завантаження виявлених та/або вирізаних ВАВ у первинну упаковку з передачею їх у БГК;

завантаження уламків будівельних конструкцій і матеріалів у контейнер із пересуванням його в зону первинної обробки та підготовки в ТЕБ;

фрагментація РЗМК і РЗБК до транспортних розмірів кузова спецавтотранспорту;

пилопригнічення фрагментованих РЗМК і РЗБК за допомогою мобільної установки;

завантаження РЗМК у кузов спецавтотранспорту з подальшим транспортуванням через південні шлюзові ворота на майданчик проміжного зберігання за межами НБК;

завантаження РЗБК у кузов спецавтотранспорту з подальшим транспортуванням через південні шлюзові ворота на захоронення або тимчасове зберігання.

Комп'ютерну модель можливого розташування механізмів під час поводження з фрагментами РАВ на майданчику тимчасового складування НБК представлено на рис. 5.

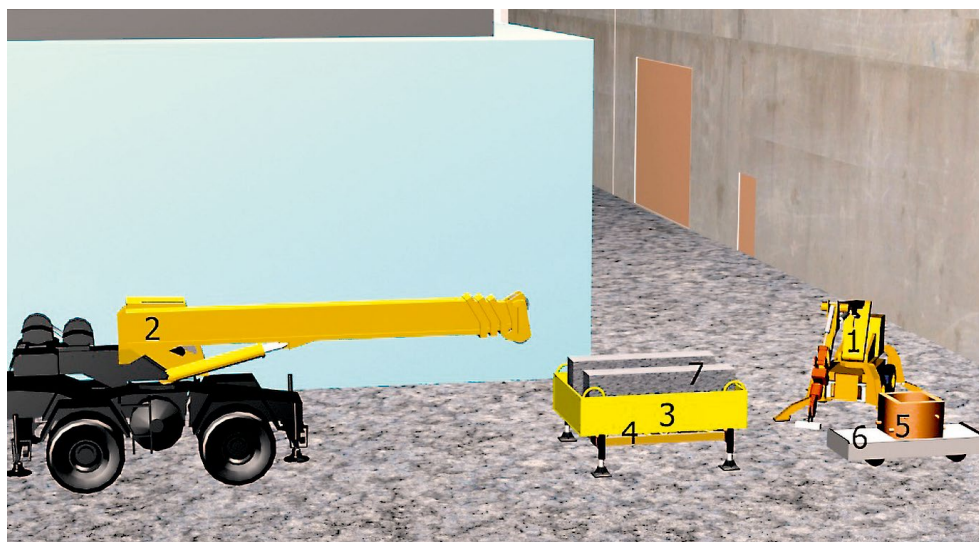


Рис. 5. Варіант компоновання розташування механізмів під час поводження з фрагментами РАВ на майданчику тимчасового складування НБК: 1 — ДКМ; 2 — мобільний вантажопідіймний кран; 3 — контейнер із фрагментами РАВ; 4 — стенд для проведення досліджень; 5 — контейнер для знятих проб забруднення з поверхні фрагмента РЗБК; 6 — дистанційно керований візок для транспортування контейнера з пробами до лабораторії ТЕБ; 7 — фрагменти РЗБК

На майданчику тимчасового складування роботи щодо поводження з радіоактивними фрагментами й матеріалами проводяться за допомогою ДКМ на власному ходу. У перелік робіт входить проведення радіометричних досліджень та відбір проб і переміщення їх у лабораторію ТЕБ для досліджень. Отримані лабораторні дані готуються для паспортизації партії РАВ. У приміщеннях ТЕБ виконується первинна обробка відходів, радіаційний контроль та радіометричні вимірювання, контейнеризація та оформлення паспорта на відходи з подальшим транспортуванням контейнерів з РАВ на захоронення або довгострокове зберігання. Для транспортування та зберігання цих РАВ можна рекомендувати захисний контейнер КТЗ-3,0, який зараз використовується під час поводження з РАВ на ДСП «ЧАЕС». Проте вибір контейнера та його захисні характеристики будуть прийматися згідно з проектними рішеннями з урахуванням часу виконання цих робіт (після 2040 р.).

Підготовка необхідних об'єктів інфраструктури поводження з відходами

Система поводження з твердими радіоактивними відходами (ТРВ) НБК була запроектована і введена в обсягах ПК-1 під час зведення НБК. З початку експлуатації НБК і в поточний період існуюча система поводження з РАВ НБК повністю інтегрована

в систему переробки РАВ ДСП «ЧАЕС» і в повному обсязі забезпечує безпечне поводження з ТРВ і рідкими радіоактивними відходами (РРВ).

Після закінчення робіт з демонтажу нестабільних конструкцій в обсязі ПК-2 (до початку робіт з вилучення ПВМ) наявна система поводження з РАВ ДСП «ЧАЕС» пройде достатній період експлуатації і вже буде перевірена за всіма параметрами і деталями. Потреба в модернізації системи поводження з РАВ може виникнути у зв'язку з необхідністю зведення додаткових об'єктів усередині НБК. У такому випадку наявної потужності об'єктів поводження з ТРВ може виявитися недостатньо.

Етапу поводження з ПВМ та супутніми РАВ повинна передувати діяльність з підготовки наявних об'єктів поводження з РАВ. Така діяльність має бути направлена на модернізацію, реконструкцію існуючих об'єктів або на побудову нових об'єктів поводження та захоронення РАВ.

Така діяльність може бути спрямована на: продовження терміну експлуатації об'єктів поводження з ТРВ ЧАЕС, перш за все заводу з переробки ТРВ (ЗПТРВ);

продовження терміну експлуатації об'єктів та систем поводження з РРВ ЧАЕС, включно з заводом з переробки РРВ (ЗПРРВ);

введення в експлуатацію ділянки з відповідним обладнанням і системами для очищення РРВ від

трансуранових елементів та іншої органічної сполуки з метою передачі цих відходів на діючі установки очищення РРВ ЧАЕС;

проектування та введення в експлуатацію виробничого корпусу, а саме БГК для поводження з ПВМ;

організацію проміжного зберігання захисних контейнерів з ПВМ;

модернізацію підприємства і сховищ комплексу виробництва (КВ) «Вектор»;

реконструкцію пункту захоронення РАВ (ПЗРВ) «Буряківка» з організацією додаткових траншей;

побудову нових приповерхневих сховищ (за необхідності);

побудову сховищ для захоронення ВАР (далека перспектива).

З наближенням закінчення термінів експлуатації об'єктів, обладнання та елементів систем поводження з ТРВ і РРВ ЧАЕС має бути виконаний комплекс заходів щодо визначення їхнього технічного стану з метою виконання всіх необхідних заходів для продовження термінів експлуатації. У разі виявлення недоліків, які неможливо виправити, виконується модернізація об'єкта із частковою заміною обладнання та удосконаленням систем і процесів, базуючись на новітніх розробках та технологічних можливостях. За необхідності мають бути побудовані та введені в експлуатацію нові об'єкти для поводження з РАВ, їхнього зберігання або захоронення.

Найбільш складною в інженерному плані та достатньо затратною є діяльність із забезпечення можливості захоронення низько- і середньоактивних ТРВ.

Сьогодні в зоні відчуження функціонують сховища КВ «Вектор» і ПЗРВ «Буряківка», які призначені для захоронення НАВ і САВ. Захоронення ТРВ у цих сховищах проводиться в контейнерах (КВ «Вектор») і траншеях «навалом» (ПЗРВ «Буряківка»). Для за-

хоронення контейнерів на КВ «Вектор» побудовані приповерхневі сховища модульного типу (рис. 6), що мають заповнюватись контейнерами послідовно з наступним заливанням (імобілізацією) секцій рідким розчином та влаштуванням спеціальних плит покриття.

Зважаючи на те, що значну частину фрагментів РАВ об'єкта «Укриття» складають залізобетон і бетон, існує можливість захоронення їх «навалом» без додаткових затрат на подрібнення й переведення в сипкий стан для контейнеризації. Тобто рекомендується проводити захоронення великогабаритних фрагментів РАВ об'єкта «Укриття» «навалом» у приповерхневих сховища модульного типу, які вже існують або будуть побудовані додатково в зоні відчуження ЧАЕС. Технологія захоронення великогабаритних фрагментів має передбачати імобілізацію їх рідким розчином та надійну ізоляцію від навколишнього середовища за рахунок влаштування спеціального покриття.

Щодо стану ПЗРВ «Буряківка», то на сьогодні можливості проводити захоронення на пункті практично вичерпані, але все ж є можливість проведення реконструкції цього об'єкта. Існують проєктні рішення, що передбачають улаштування шести нових траншей загальною місткістю 120 000 м³. Передбачається, що нові траншеї будуть розташовані на площі, що зайнята наявними траншеями, велика частина з яких уже заповнена РАВ та законсервована. Цього можна досягти, якщо влаштувати нові траншеї між уже існуючими. Кожна нова траншея має розташовуватися між двома суміжними траншеями (рис. 7). Дно нової поверхневої траншеї буде на рівні планувальної позначки майданчика, а боковими сторонами будуть укуси суміжних траншей.

Проєкт розширення ПЗРВ погоджено з регулюючими органами України [9]. Цей документ обґрун-



Рис. 6. Побудоване приповерхнєве сховище модульного типу на КВ «Вектор»

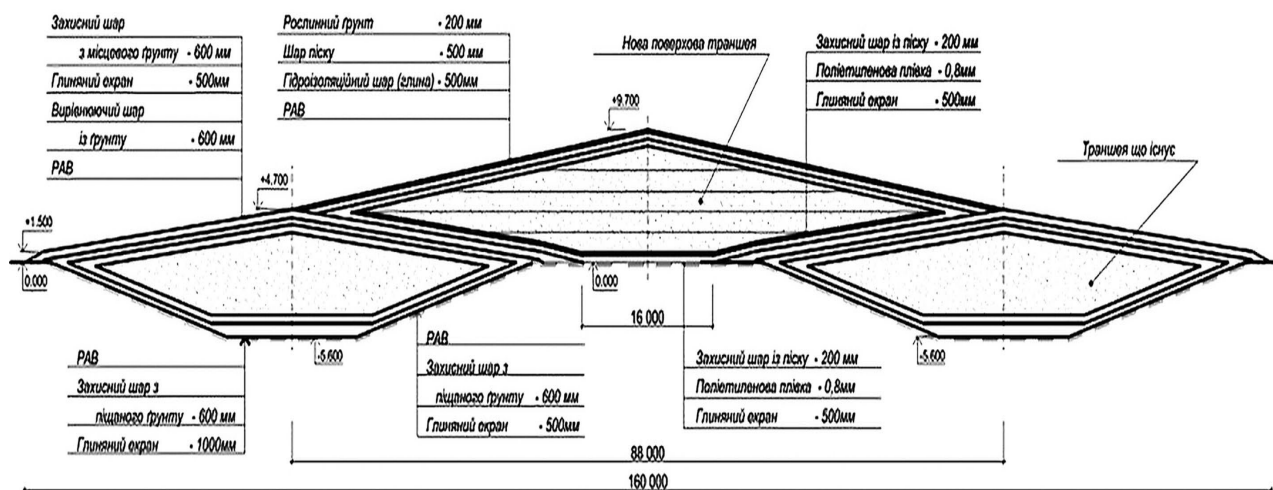


Рис. 7. Приклад влаштування нових траншей для захоронення РАВ на ПЗРВ «Буряківка» після реконструкції

товує забезпечення радіаційної безпеки персоналу, населення та навколишнього середовища під час будівництва (реконструкції), експлуатації сховища й після його закриття. Таким чином, питання захоронення НАВ і САВ у вигляді фрагментів РЗБК може бути розглянуто й у реконструйованих траншеях ПЗРВ «Буряківка».

Висновки

Наведено принципову схему поводження з відходами під час вилучення ПВМ з об'єкта «Укриття». Запропоновано максимальне використання безлюдних технологій із застосуванням систем НБК, включно з СОК. Такий підхід до поводження з ПВМ і супутніми РАВ наводиться вперше.

Розроблено ланцюжки поводження з РАВ для трьох груп: ПВМ, ВАВ і супутніх РАВ.

Аналіз системи поводження з РАВ, що існує на ЧАЕС, показує, що вона може використовуватись на подальшому етапі робіт, тобто під час демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» в обсязі ПК-2, і може забезпечувати безпечне поводження з РАВ у повному обсязі. Під час подальшої експлуатації НБК, особливо на етапі підготовки й у період вилучення та переведення в контрольований стан ПВМ об'єкта «Укриття», може виникнути необхідність модернізації цієї системи у зв'язку з можливим розширенням інфраструктури, тобто зведенням додаткових об'єктів/об'єкта всередині НБК.

Доведено, що етапу поводження з ПВМ та супутніми РАВ має передувати діяльність з підготовки існуючих об'єктів поводження з РАВ та подовження

їхніх експлуатаційних можливостей. Така діяльність має бути спрямована на визначення технічного стану об'єктів, модернізацію та реконструкцію існуючих об'єктів поводження або побудову нових об'єктів захоронення РАВ.

Враховуючи кількість ПВМ і показники радіаційного забруднення матеріалів, що будуть вилучатися з приміщень об'єкта «Укриття», рекомендується зведення на частині території майданчика тимчасового складування НБК виробничого корпусу з технологією БГК як додаткового об'єкта для технології поводження з ПВМ і ВАВ.

Список використаної літератури

1. Звіт НДР «Розробка науково-технічних засад та обґрунтування принципових технологічних рішень щодо вилучення ПВМ із об'єкта «Укриття» з використанням майбутнього безпечного конфайнмента та створення відповідної інфраструктури для подальшого поводження з ними» / ІПБ АЕС НАН України. — 2014. — 255 с.
2. Об'єкт «Укриття»: 30 років після аварії: монографія / В. О. Краснов, А. В. Носовський, В. М. Рудько, В. М. Щербін. — Розділ 9. Стратегія та принципові технологічні рішення щодо вилучення ПВМ із об'єкта «Укриття» та подальшого поводження з ними. — Чорнобиль: ІПБ АЕС НАН України, 2016. — 512 с.
3. Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие» (ОСБ ОУ-2008) / SIP-P-PM-22-460-SAR-124-05. — 04.08.2008 р.
4. Поводження з радіоактивними відходами // ДСП «Чорнобильська АЕС»: офіційний веб-сайт. — Режим

- доступу: <https://chnpp.gov.ua/ua/activity/development-of-raw/povodzhennia-z-radioaktyvnymy-vidkhodamy>.
5. Перспективы обращения с ТСМ объекта «Укрытие». Материалы для заседания Общественного Совета, при ГИЯР Украины. — 18 декабря 2014 г.
 6. Обращение с высокоактивными отходами на ЧАЭС / В. Г. Батий, О. А. Кафтанатина, А. А. Правдивый [и др.] // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. — 2008. — Вип. 10. — С. 130–136.
 7. Кафтанатина О. А. Проблемы обліку ядерних матеріалів при перетворенні об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему / О. А. Кафтанатина, С. А. Паскевич // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. — 2018. — Вип. 31. — С. 109–113
 8. Комплексний аналіз потенційних сценаріїв перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему після введення в експлуатацію нового безпечного конфайнмента (Звіт про НДР) / ІПБ АЕС НАН України. — Київ, 2023.
 9. Звіт по аналізу безпеки реконструкції пункту захоронення радіоактивних відходів «Буряківка» / МНТЦ «Укриття» НАН України. — Договір № 35/05 від 17 травня 2005 р.

**O. V. Balan, L. I. Pavlovskiy, V. M. Rudko,
S. S. Pidbereznyi**

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

General Approach to the Fuel Containing Materials and Associated Radioactive Waste Management at the Stage of Their Removal from the Shelter Object Premises

After the commissioning of the New Safe Confinement — Shelter object (NSC-SO) complex, radioactive waste (RAW) management activities during the removal of fuel containing materials (FCM) from the SO premises must be carried out with the involvement of NSC systems, including the system of main cranes (SMC), as well as systems and equipment of the technological building (TB), as a component of the NSC. The paper presents a new principled approach to waste management that will be generated during the extraction of FCM from the SO. The transport and technological chains of waste management by their types are considered: FCM, highly active waste and associated RAW.

It is noted that the dose rates in many areas of work in the SO can reach 10 Sv/h. In such conditions, the involvement of personnel in physical work should be completely excluded, and the robotics, which will participate in technological operations, should be prepared for work in high ionizing radiation fields. For this reason, the removed FCM cannot be sent for processing to the TB of the NSC, as is done with other RAW (medium-level waste, low-level waste), which were removed from the premises of the SO earlier. It is justified that handling of FCM should be carried out in hermetic protective blocks (block of hot cells). Such cameras should be built in the NSC space as part of the new production building.

It is noted that the volume of associated RAW, which will be formed during the extraction of FCM from the SO, will be extremely large. It is practically impossible to carry out their quantitative assessment. The work on the management of associated RAW will be carried out similarly to the work on the removal of FCM. Detected highly active fragments on overall structures should be cut out if possible, and small fragments or detected explosives in building materials are loaded into a transportable container for explosives with their further transfer of the container to the block of hot cameras. The remaining RAW, including radioactively contaminated metal structures and radioactively contaminated concrete structures, are loaded into the container for adjacent RAW and moved to the NSC temporary storage site.

Waste removal work should be carried out using a system of a mobile instrument platform of the NSC crane with a remotely controlled robot manipulator (RCRM) attached to it and separate mobile remotely controlled mechanisms (RCM) on their own, depending on their needs.

Conclusions are given regarding the sufficiency of infrastructure capabilities for RAW handling at the Chornobyl nuclear power plant and in the Exclusion Zone (EZ), to ensure this activity in general. It is noted that the activities for the preparation of infrastructure facilities for waste management during the removal of FCM from the SO should be directed both to the extension of the operational life of existing facilities and to the construction of new ones.

Keywords: ChNPP, NSC-SO, SMC, RCRM, FCM, highly active waste, extraction, associated RW.

References

1. ISP NPP NAS of Ukraine (2014). *Report of the National Development and Reform Commission "Development of sci-*

- entific and technical principles and substantiation of principled technological decisions regarding the removal of FCM from the Shelter object using the future safe confinement and the creation of appropriate infrastructure for their further handling*”, p. 255. (in Ukr.)
2. Krasnov V. O., Nosovskyi A. V., Rudko V. M., Shcherbin V. M. (2016). *Obiekt “Ukryttya”: 30 rokiv pislia avariyyi* [Shelter object: 30 years after the accident]. Chornobyl: ISP NPP, NAS of Ukraine, 512 p. (in Ukr.)
 3. SIP-P-PM-22-460-SAR-124-05. *Report on the state of security of the Shelter object (OSB OU-2008)* dated August 4, 2008. (in Rus.)
 4. *Radioactive Waste Management*. SSE “Chornobyl NPP”: official website. Available at: <https://chnpp.gov.ua/en/activity/radioactive-material-management/radioactive-waste-management>.
 5. *Prospects for dealing with the FCM of the Shelter object*. Materials for the meeting of the Public Council, at the Hydroelectric Power Plant of Ukraine, dated December 18, 2014. (in Rus.)
 6. Batii V. H., Kaftanatina O. A., Pravdyvyi A. A., Rudko V. M., Stoianov A. I. (2008). [Handling of highly active waste at ChNPP]. *Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chornobyl*, vol. 10, pp. 130–136. (in Rus.)
 7. Kaftanatina O. A., Paskevych S. A. (2018). [Problems of accounting for nuclear materials during the transformation of the Shelter object into an ecologically safe system]. *Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chornobyl*, vol. 31, pp. 109–113. (in Ukr.)
 8. *Comprehensive analysis of potential scenarios for the transformation of the Shelter object into an ecologically safe system after the commissioning of a New Safe Confinement (Research and Development Report)*. ISP NPP, 2023. (in Ukr.)
 9. Report on the safety analysis of the reconstruction of the radioactive waste disposal site “Buriakivka”. ISTC “Shelter”, Agreement No. 35/05 dated May 17, 2005. (in Ukr.)

Надійшла 27.11.2023

Received 27.11.2023