

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

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

Щодо доступу персоналу в зони розташування нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», що підлягають демонтажу

Ключові слова:

об'єкт «Укриття»,
пусковий комплекс ПК-1 (ПК-2),
маршрути доступу,
зона виконання робіт,
нестабільні конструкції,
захисна кабіна,
відвернута доза

Наведено основні результати дослідження маршрутів доступу персоналу в зоні виконання робіт (ЗВР) з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» та радіаційних умов на ділянках їхнього розташування. Подано можливі індивідуальні дози персоналу на маршрутах доступу до ЗВР і назад. За існуючими даними з радіаційної обстановки та кутового розподілу гамма-випромінювання по маршрутах за допомогою програмного засобу HVRC VRdose Planner Pro v. 2.2.2, розробленого в Інституті енергетичних технологій Норвегії, проведено моделювання параметрів екранування захисної кабіни в районі балки «Восьминіг». На прикладі робіт з демонтажу конструкції з'єднувальної ферми південної частини покрівлі об'єкта «Укриття» проведено розрахунки затрат часу на доступ персоналу до ЗВР і назад своїм ходом та із застосуванням для переміщення персоналу захисної кабіни, яка транспортується краном нового безпечного конфайнмента. Оцінено величину відвернутої дози персоналу за рахунок застосування захисної кабіни.

Вступ

За результатами багаторічних досліджень технічного стану об'єкта «Укриття» встановлено перелік його нестабільних будівельних конструкцій, імовірність обвалення яких неприпустимо велика. У 2004–2008 рр. були реалізовані невідкладні стабілізаційні заходи, що забезпечують прийнятний рівень безпеки об'єкта «Укриття» тільки з огляду на короткостроковий термін експлуатації стабілізованих будівельних конструкцій. Надалі проблема нестабільних конструкцій повинна вирішуватись шляхом їхнього демонтажу всередині нового безпечного конфайнмента (НБК). При цьому з урахуванням технічного стану нестабільних конструкцій їхній демонтаж запропоновано виконати послідовно у два етапи: «ранній» демонтаж та «відкладений» демонтаж [1].

До переліку конструкцій для «раннього» демонтажу включено металоконструкції, що формують зов-

нішню оболонку об'єкта «Укриття» (рис. 1), включно з похилими щитами-нащільниками, що опираються на покриття машинного залу й південні щити-«ключки», а також трубний накат, балку «Восьминіг», балку «Мамонт», опори балки «Мамонт», завали на деаераторній етажерці (ДЕ) та аварійні плити її покриття. Решта нестабільних конструкцій, зокрема балки Б1 і Б2, завали та плити перекриття над приміщенням 805/3, об'ємний блок «Собачий дім» та інші конструкції, віднесена до «відкладеного» демонтажу (рис. 2).

У рамках першого пускового комплексу НБК (ПК-1 НБК) передбачено важливі складові інфраструктури для проведення демонтажу нестабільних конструкцій, а саме система основних кранів (СОК) і майданчик для складування демонтованих конструкцій та подальшого поводження з ними [2].

Діяльність з демонтажу нестабільних конструкцій буде здійснюватися в умовах об'єкта «Укриття» зі складною радіаційною обстановкою та за наявності

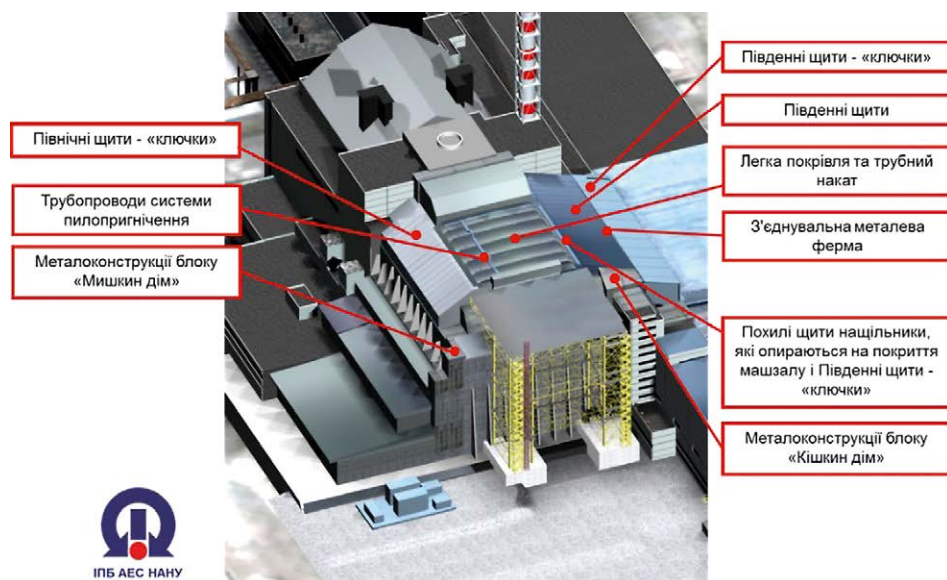


Рис. 1. Нестабільні конструкції для «раннього» демонтажу

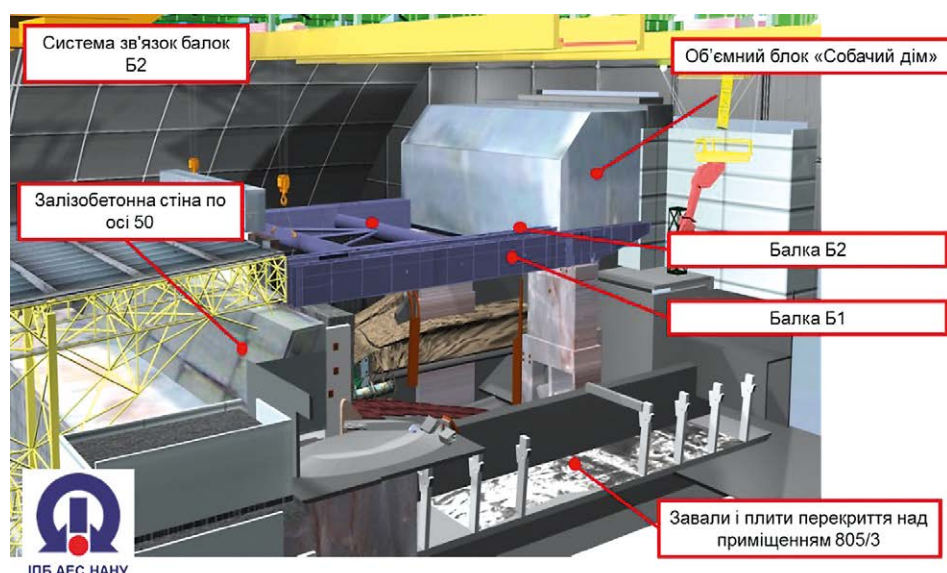


Рис. 2. Нестабільні конструкції для «відкладеного» демонтажу

інших небезпечних факторів (ризиків руйнування пошкоджених конструкцій і окремих елементів, перепади висот, наявність отворів тощо). Це потребує впровадження всебічно зважених технологічних рішень з організації безпечного виконання демонтажних робіт, зокрема рішень щодо безпечного доступу персоналу до місць виконання робіт.

Фахівцями ІПБ АЕС НАН України в 2021 р. були проведені комплексні дослідження радіаційних умов як у зонах робіт з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття», так і на шляхах доступу до

них. Отримані результати підтвердили складність здійснення діяльності з демонтажу нестабільних конструкцій, оскільки роботи будуть проводитися в радіаційних умовах, де величини потужності дози (ПД) у багатьох зонах досягають більше 10 мЗв/год [3–5]. Згідно з роботою [5] величини ПД більше 15 мЗв/год зафіксовані в зонах виконання робіт (ЗВР): по балках «Мамонт» і «Восьминіг» (між осями 44–49), по завалах над перекриттям (ДЕ), по легкій покрівлі та накату з труб над центральним залом, а також у ЗВР по східній зоні обпирання блоків балок Б1 і Б2 на венти-

ляційні шахти. Найбільші величини ПД зафіксовані в ЗВР по накату з труб у районі блоку «Собачий дім» (понад 48 мЗв/год) та на завалах над перекриттям ДЕ (понад 35 мЗв/год).

У ЗВР з такими умовами залучення персоналу до фізичних робіт має бути виключене або зведене до мінімуму, тому має бути впроваджена ідея застосування безлюдних технологій із залученням систем НБК, включно з СОК, і дистанційно керованої техніки.

У 2016 р. були розроблені проектні рішення щодо робіт з демонтажу з'єднувальної ферми південної частини покрівлі об'єкта «Укриття» [6]. У цьому проекті була запропонована технологія демонтажу з'єднувальної ферми із застосуванням СОК з мобільною інструментальною платформою і дистанційно керованим механізмом, що комплектувався маніпулятором і змінними навісними інструментами.

Включно з безпосередніми можливостями виконання технологічних операцій з демонтажу конструкцій проектом СОК передбачена функція транспортування персоналу на робочі місця в об'єкті «Укриття» з використанням екранованої захисної кабіни. Для виконання цієї функції був передбачений спеціальний вантажний візок, що забезпечує всі вимоги з безпеки під час транспортування персоналу таким чином. У роботі [6] для безпечного доступу персоналу в ЗВР була обґрунтована ідея застосування екранованої захисної кабіни, що могла б транспортуватися за допомогою одного з кранів НБК. Передбачалось, що персонал міг би періодично здійснювати контроль і за необхідності виконувати незначні допоміжні роботи.

У цій роботі акцентується увага на одному з важливих заходів із підвищення радіаційної безпеки, а саме зниження дозовитрат персоналу на шляхах доступу до робочих місць за рахунок використання захисної кабіни. На прикладі робіт з демонтажу конструкції з'єднувальної ферми оцінено величину відвернутої колективної дози персоналу за рахунок застосування захисної кабіни для транспортування персоналу в ЗВР у порівнянні з дозовитратами без використання захисної кабіни, тобто руху своїм ходом.

Аналіз наявних шляхів доступу

У процесі експлуатації об'єкта «Укриття» за станом конструкцій був організований системний нагляд включно з візуальним. Для здійснення візуального нагляду до всіх щитів і блоків покриття, а також

опорних балок об'єкта «Укриття» були прокладені ходові трапи, містки, переходи і драбини, які забезпечували персоналу безпечний доступ до конструкції, що досліджувалась. Після введення в експлуатацію НБК і до цього часу шляхи доступу до конструкцій, що будуть підлягати демонтажу, залишаються незмінними.

На сьогодні існує дві можливості доступу до нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» — з півдня і заходу. Переміщення персоналу шляхами доступу з південного боку об'єкта «Укриття» (рис. 3 і 4) здійснюється описаним далі чином.

На поверхню конструкцій (маршрут ПД-1) — загальноприйнятий маршрут від адміністративно-



Рис. 3. Загальний вигляд засобів шляхів доступу з південного боку об'єкта «Укриття»

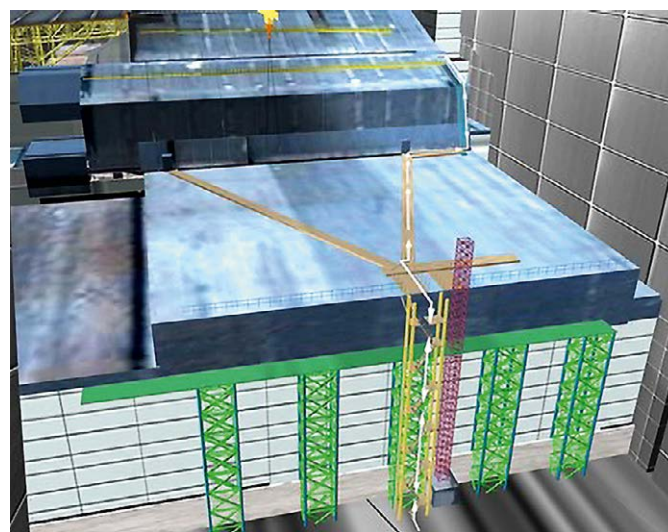


Рис. 4. Комп'ютерна модель засобів шляхів доступу на щити-«ключки» з південного боку об'єкта «Укриття»

побутового комплексу (АПК-1) і обов'язкові процедури з допуску до робіт $\Rightarrow$ прохід по коридору Г262 через вестибюль прибудови (приміщення 101) вихід на територію $\Rightarrow$ рух по дорозі між осями 71–72 $\Rightarrow$ уздовж машинного залу до шлюзу доступу пожежних підрозділів (ШДПП) $\Rightarrow$ прохід через коридор 101 ШДПП до основного об'єму НБК, потім до місця металевих сходів по осі А, 45 $\Rightarrow$ підйом металевими сходами на високу покрівлю позн. 43,150 або підйом у кабіні вантажопасажирського підйомника $\Rightarrow$ рух по високій покрівлі машинного залу від осі А, 45 до осі Б, 41 $\Rightarrow$ підйом по металевій драбині біля осі 41 на поверхню південної частини оболонки об'єкта «Укриття».

Згідно з роботою [3] індивідуальна доза на маршруті ПД-1 становить (мкЗв): до похилих щитів-нащільників — 17, до південних щитів-«ключок» — 51, до південних щитів — 70 і до металокопункцій «Кішкин дім» — 150.

Під поверхню конструкцій (маршрут ПД-2) — загальноприйнятий маршрут від АПК-1 і обов'язкові процедури з допуску до робіт $\Rightarrow$ прохід по коридору Г262 через вестибюль прибудови (приміщення 101) вихід на територію $\Rightarrow$ рух по дорозі між осями 71–72 $\Rightarrow$ уздовж машинного залу до ШДПП $\Rightarrow$ прохід через коридор 101 ШДПП до основного об'єму НБК, потім до місця металевих сходів по осі А, 45 $\Rightarrow$ підйом металевими сходами на високу покрівлю позн. 43,150 або підйом у кабіні вантажопасажирського підйомника $\Rightarrow$ рух по високій покрівлі машинного залу від осі А, 45 до осі Б, 49–50 (до осі Б, 42–43) до входів у щитах-«ключках» $\Rightarrow$ прохід у підщитовий простір.

Згідно з роботою [3] індивідуальна доза на маршруті ПД-2 становить (мкЗв): до балки «Восьминіг» — 17, до балки «Мамонт» — 20, до західної опори балки «Мамонт» — 25, до східної опори балки «Мамонт» — 18 і до завалів на ДЕ — 17.

Доступ персоналу із західного боку об'єкта «Укриття» (рис. 5) відбувається *на поверхню конструкцій (маршрут ПН-1)* — загальноприйнятий маршрут від АПК-1 та обов'язкові процедури з допуску до робіт $\Rightarrow$ прохід по коридору Г262 через «брудний» вихід на територію НБК у подарковому просторі $\Rightarrow$ рух до майданчика мобільної системи пилопригнічення $\Rightarrow$ рух до підйомника (по осі С, 55) $\Rightarrow$ підйом на підйомнику на позн. 51,440 $\Rightarrow$ підйом металевими сходами (по осі Р, 49–51) до горизонтальної частини північних щитів-«ключок» $\Rightarrow$ рух по горизонтальній частині північних щитів з виходом на поверхню північної частини оболонки об'єкта

«Укриття» (північні щити-«ключки», легка покрівля, накат із труб, блоки балок Б1 і Б2).

Згідно з роботою [3] індивідуальна доза на маршруті ПН-1 становить (мкЗв): до блоку «Мишкин дім» — 16, до північних щитів-«ключок» — 193, до легкої покрівлі — 121, до накату з труб над центральним залом — 209, до зони обпирання блоку балок Б1 і Б2 на стіну по осях Ж і П — 168 і до зони обпирання блоків балок Б1 і Б2 на вентиляційні шахти по осях Ж і П — 209.

Слід зазначити, що шлях із західного боку об'єкта «Укриття» дає змогу здійснити доступ до конструкцій, розташованих як із північного боку об'єкта, так і в центральній його частині.

Указані шляхи доступу наразі дають можливість дістатися до всіх перелічених нестабільних конструкцій, але все зміниться, коли елементи захисної оболонки об'єкта «Укриття» почнуть послідовно демонтуватися. У першу чергу зміни будуть стосуватися шляхів доступу, що прокладені по елементах покрівлі. Оскільки частина шляхів доступу (трапи, переходи, містки) закріплена на щитах покрівлі об'єкта «Укриття», то в процесі, а особливо після їхнього демонтажу, цільні ланцюжки шляхів розірвуться й доступ до певних конструкцій стане неможливий. Елементи шляхів доступу будуть демонтуватися разом із конструкціям покрівлі або перед їхнім демон-



Рис. 5. Загальний вигляд засобів шляхів доступу (сходові клітки і підйомник по осі С, 55) у район північних щитів-«ключок» із західного боку об'єкта «Укриття»

тажем. Наприклад, перед демонтажем з'єднувальної ферми будуть демонтовані перехідні містки, прокладені перпендикулярно її поясам, а до демонтажу південних щитів-«ключок» і південних щитів будуть демонтовані трапи, прокладені вздовж стропувальних гаків цих конструкцій. Крім того, після демонтажу південних щитів-«ключок» буде знята драбина біля осі 41, тобто виходу з покрівлі машинного залу на південні щити не буде. У процесі демонтажу легкої покрівлі над накатом із труб будуть попередньо зняті елементи шляхів доступу до центральної частини об'єкта «Укриття», а після демонтажу північних щитів-«ключок» із ходовими трапами обірветься шлях доступу з північного боку. Як приклад відсутності доступу після демонтажу частини конструкцій можна навести південні щити. Доступ на них був організований з південного боку, через трапи на покрівлі машинного залу по драбині біля осі 41. Як уже зазначалось, у процесі демонтажу південних щитів-«ключок» драбина біля осі 41 буде демонтована, а оскільки блоки легкої покрівлі переривають південні щити, то їх буде демонтовано в першу чергу разом з елементами шляхів доступу, що були прокладені в напрямку з півночі на південь. Отже, на певному етапі робіт доступ персоналу на південні щити навіть для епізодичних робіт буде повністю відсутній (рис. 6).

Слід зазначити, що використання виходу на покрівлю машинного залу з боку осі А, 47 і прокладені там ходові трапи все ж дадуть можливість доступу до балки «Восьминіг», західної і східної опор балки «Мамонт» і до місця робіт по самій балці «Мамонт». Використання сходової клітки, що розташована на металевих конструкціях підсилення, або підйомника по осі С, 55 дає змогу доступу до західних опор блоків балок Б1 і Б2 по осях Ж і П та до блоку «Мишкін дім». Отже, до частини конструкцій об'єкта «Укриття», що будуть підлягати демонтажу, шляхи доступу збережуться.

Ще один важливий момент полягає в тому, що в процесі експлуатації об'єкта «Укриття», особливо в період до насування арки НБК, повсякчасно здійснювалась програма герметизації, тобто робіт для максимального унеможливлення просочування атмосферних осадків усередину об'єкта. Герметизація виконувалась за рахунок закріплення захисних нащільників, що наразі блокують усі суміжні елементи. Наявність блокування за рахунок нащільників добре видно на прикладі південних щитів-«ключок» (рис. 7 і 8).

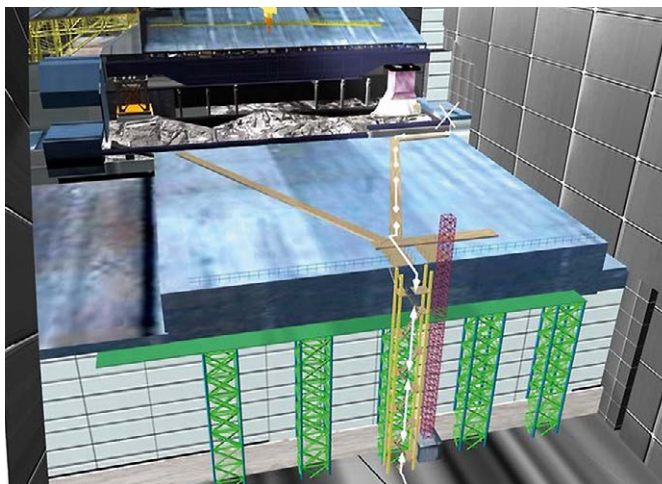


Рис. 6. Загальний вигляд засобів шляхів доступу в ситуації, коли доступ персоналу на південні щити буде повністю відсутній

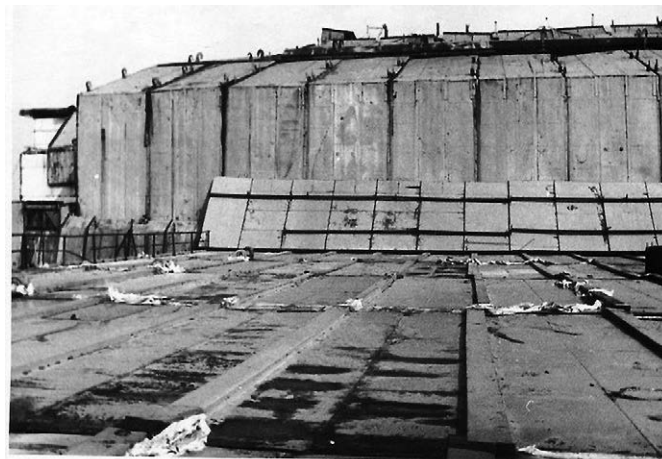


Рис. 7. Стан південних щитів-«ключок» після монтажу у процесі ліквідації аварії



Рис. 8. Стан південних щитів-«ключок» після реалізації програми герметизації

Таким чином, усі елементи оболонки об'єкта «Укриття» з'єднані між собою, тому перед їхнім демонтажем мають бути виконані технологічні операції, пов'язані з розрізанням нащільників, та від'єднання кожного з блоків від інших, що є суміжними з усіх чотирьох боків. Роботи з розблокування мають виконуватись за допомогою дистанційно керованої техніки і СОК, але необхідність застосування персоналу, як мінімум для контролю розблокування, повністю не відкидається. Тому в разі необхідності виконання будь-яких технологічних операцій персоналом до місця проведення робіт має бути організовано надійний і безпечний шлях доступу.

Слід взяти до уваги, що після демонтажу окремих конструкцій утворюються значні перепади по висоті (від поверхні щитів покрівлі до існуючих завалів), що можуть сягати від 4 до 12 і більше метрів

і становити значну небезпеку навіть для персоналу, який працює епізодично.

Та головне те, що під час демонтажу кожної конструкції покрівлі об'єкта «Укриття» все більше будуть відкриватися завали зруйнованого 4-го енергоблоку разом із джерелами іонізуючого випромінювання, що містяться там. Демонтаж конструкцій покрівлі, тобто розбирання захисного бар'єра, яким є оболонка об'єкта «Укриття», призведе, як мінімум, до погіршення радіаційних умов на шляхах доступу персоналу.

Таким чином, підхід до створення нових і використання існуючих шляхів доступу в зоні проведення робіт, пов'язаних із демонтажем конструкцій об'єкта «Укриття», має бути оптимізований і доопрацьований. Ситуацію із шляхами доступу у процесі здійснення діяльності з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» зведено в таблицю.

Наявність шляхів доступу до нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» у процесі їхнього демонтажу

Зона розташування конструкції	Конструкції, що підлягають демонтажу	Наявний шлях доступу	Шлях доступу на час демонтажу
Південна частина	З'єднувальна ферма	ПД-1	ПД-1
	Похилі блоки-нащільники	ПД-1	ПД-1
	Південні щити-«ключки»	ПД-1	ПД-1
Центральна частина	Легка покрівля	ПН-1	ПН-1
Південна частина	Південні щити	ПД-1	відсутній
	Блок «Кішкин дім»	ПД-1	відсутній
	Балка «Мамонт»	ПД-2	ПД-2
	Тимчасова опора балки «Мамонт»	ПД-2	ПД-2
	Балка «Восьминіг»	ПД-2	ПД-2
	Західна опора балки «Мамонт»	ПД-2	ПД-2
	Східна опора балки «Мамонт»	ПД-2	ПД-2
	Завали над ДЕ	ПД-2	ПД-2
	Плити перекриття ДЕ	ПД-2	ПД-2
Північна частина	Північні щити-«ключки»	ПН-1	ПН-1
	Блок «Мишкин дім»	ПН-1	ПН-1
Центральна частина	Накат із труб	ПН-1	відсутній
	Просторовий блок «Літак»	відсутній	відсутній
	Блок балок Б1 і Б2 по осі Ж	ПН-1	відсутній
	Блок балок Б1 і Б2 по осі П	ПН-1	відсутній
	Блок «Собачий дім»	ПН-1	відсутній
	Інші опорні балки об'єкта «Укриття»	відсутній	відсутній

Технічні пропозиції щодо використання захисної кабіни

Як уже зазначалось, нестабільні конструкції об'єкта «Укриття» розташовані з південного, північного боків і в центральній частині об'єкта «Укриття», тому радіаційна обстановка в цих зонах буде відрізнятися. Крім того, показники ПД на робочих місцях будуть мати різні значення практично в кожній зоні розташування конструкції. Оскільки в процесі демонтажу оболонки об'єкта «Укриття» наявні шляхи доступу будуть розірвані, то виникає необхідність використання спеціальних захисних засобів, що дасть змогу, по-перше, здійснювати відносно швидке переміщення персоналу в ЗВР, а по-друге — захистити персонал від радіаційного впливу на відповідному шляху доступу. Крім того, у ЗВР має бути передбачений додатковий екранований захист для короткострокового перебування персоналу під час вимушених перерв у роботі. Оскільки в роботі [6] для безпечного доступу персоналу в ЗВР було обґрунтовано застосування екранованої захисної кабіни, що могла б транспортуватися за допомогою одного з кранів НБК, то виникла ідея впровадження такої кабіни й для всіх інших робіт, пов'язаних із демонтажем нестабільних конструкцій огорожувального контура в обсягах ПК-2 НБК.

Така захисна кабіна має бути універсальною і дозволяти її застосування для будь-якої зони об'єкта «Укриття» за рахунок можливості регулювання орієнтації кабіни відносно до наявних джерел випромінювання. Крім цього, повинна існувати можливість регулювання товщини екрануючого шару кабіни з усіх шести сторін.

Під час проектування кабіни для доступу персоналу в ЗВР необхідно враховувати:

- значення ПД на шляхах доступу персоналу в ЗВР;
- можливості утримання заданої величини ПД гамма-випромінювання в кабіні залежно від радіаційних умов на шляху доступу;

- можливості переміщення екранованої кабіни з персоналом за допомогою спеціального безпечного вантажного візка крана НБК;

- можливості вирішення інших проблем, пов'язаних із забезпеченням радіаційної безпеки персоналу (наприклад, захист під час вимушених перерв).

Кабіна має призначатись для переміщення, як мінімум, трьох осіб: дві особи — будівельно-монтажний персонал, який буде виконувати допоміжні технологічні операції, і одна особа — дозиметрист. Постійна

необхідність дозиметричного контролю обумовлена наявністю в зонах демонтажних робіт високих значень ПД гамма-випромінювання (понад 10 мЗв/год).

Екранована кабіна повинна бути прямокутна в плані. Каркас кабіни необхідно запроектувати з прокатних профілів. З'єднання елементів між собою має бути жорстке, виконане на зварюванні. Обшивка кабіни буде з листової сталі, яка має кріпитися до несучих елементів каркаса на зварюванні. Підлогу всередині кабіни необхідно виконати з матеріалу, що не спричиняє ковзання (наприклад, рифлена сталь).

Як матеріал для захисту персоналу від іонізуючого випромінювання під час перебування в кабіні необхідно застосувати щити зі свинцевих листів, що будуть зніматися або навішуватися на зовнішні сторони кабіни, а також підлогу і покрівлю. Для навішування захисних щитів у конструкції кабіни необхідно передбачити болти, що жорстко приварюються до каркаса. Залежно від місця розташування ЗВР в об'єкті «Укриття», а також потужності гамма-випромінювання з різних напрямків розраховується загальна товщина захисного шару, що може складатися з одного або декількох свинцевих щитів.

Для стропування кабіни на гак вантажного візка крана на даху кабіни повинні бути передбачені монтажні петлі.

Підключення електроінструментів і світильників внутрішнього і зовнішнього освітлення екранованої кабіни має здійснюватися через розподільчий щит, який підключається до силової установки вантажного візка крана.

Доступ на дах кабіни для стропування й підключення електропостачання передбачається за рахунок вертикальної драбини, що закріплюється до каркаса зварюванням.

За різних обставин прийнято, що екранована кабіна не буде встановлюватись на будь-яку поверхню в ЗВР. Вона має утримуватися краном у підвішеному стані якнайближче до місця проведення робіт. Для забезпечення виходу персоналу на поверхню робочої зони, за підвішеного стану кабіни, повинна передбачатися відкидна драбина на чотири сходинки.

Важливо зазначити, що вихід із кабіни в робочу зону повинен бути передбачений без дверей, оскільки з урахуванням захисного шару зі свинцю вони будуть надто важкі і громіздкі. Кабіна має облаштовуватися (і це головне) екранованим тамбуром, тому вихід буде організований за принципом лабіринту, а замість дверей буде лише легка хвіртка у вигляді решітки з фіксуючим засувом (рис. 9 і 10). Усередині

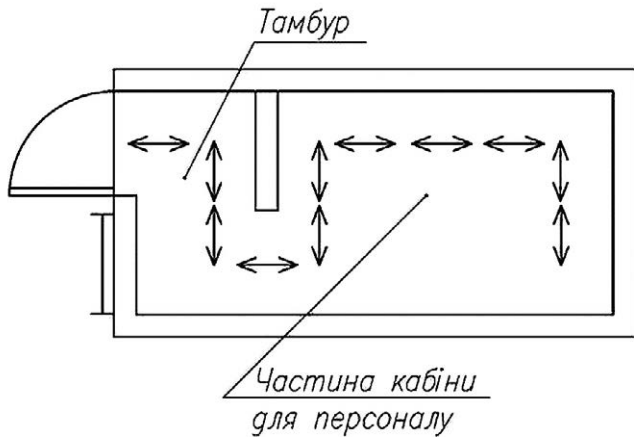


Рис. 9. Схема компоновки захисної кабіни. План

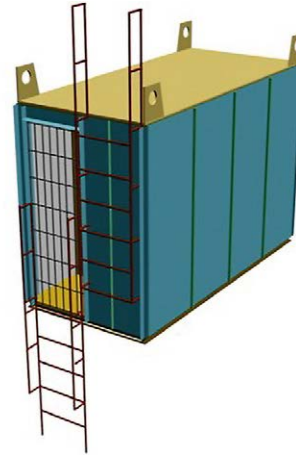


Рис. 10. Комп'ютерна модель захисної кабіни

кабіни мають бути передбачені сидіння для декількох осіб та засоби утримування руками для них.

Система енергопостачання СОК НБК досить надійна, що закладено конструктивно. Навіть у разі аварійного нештатного відключення стаціонарного енергопостачання НБК мають бути задіяні наявні дизель-генераторні енергетичні установки. У разі нештатної ситуації (відмова СОК) у комплектацію обладнання захисної кабіни має входити мотузьяна драбина разом із системою карабінів на ній і підлозі кабіни, у районі вихідної хвіртки. Евакуація персоналу з кабіни має відбуватися через вихідну хвіртку по закріпленій мотузьяній драбині.

Транспортування захисної кабіни в ЗВР має відбуватися по маршрутах, які виключають її переміщення над центральним залом об'єкта «Укриття» і над ділянками, де щити вже демонтовано і явно видно зруйновані конструкції. Таке обмеження на-

кладене з метою виключення нештатної евакуації персоналу з кабіни на завали об'єкта «Укриття» (за допомогою мотузьяної драбини) у разі відмови механізмів крана НБК та мінімізації радіаційних ризиків під час евакуації.

Пропонується місце посадки/висадки персоналу в кабіну розмістити в районі осей Г-Д, 63 на майданчику тимчасового складування НБК. Транспортування екранованої кабіни має здійснюватися тільки за допомогою західного моста крана НБК. Така умова повинна виконуватись з тих міркувань, що технологічні операції з демонтажу будуть виконуватись саме східним краном НБК, а західний кран (з міркувань безпеки) зможе курсувати із захисною кабіною між ЗВР і місцем посадки/висадки персоналу без будь-яких перешкод.

Шлях доступу до місця розташування з'єднувальної ферми (рис. 11) із застосуванням захисної кабіни буде виглядати таким чином:

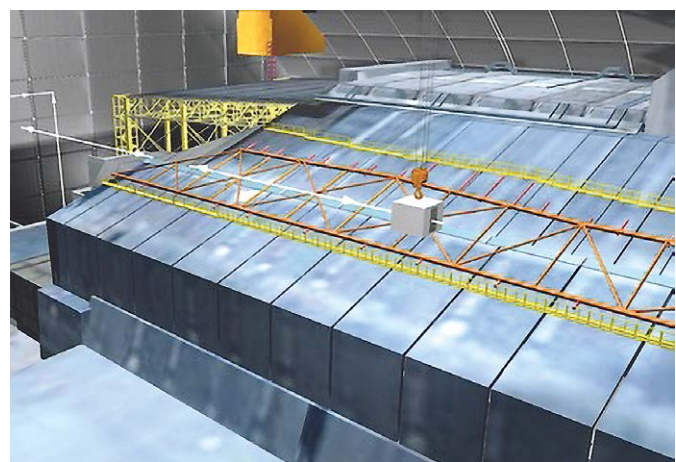
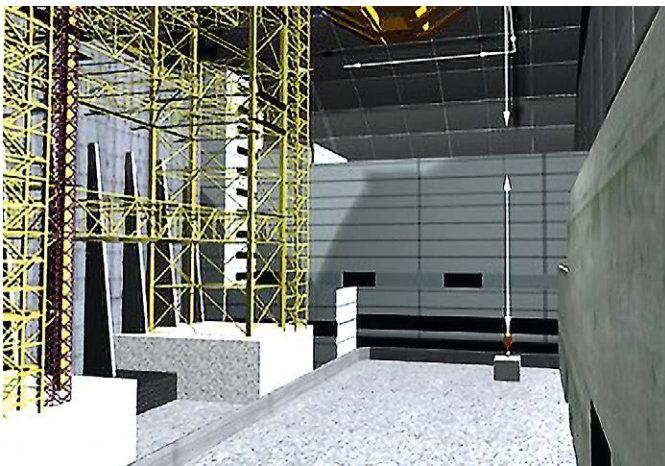


Рис. 11. Схема руху екранованої кабіни в район ЗВР із демонтажу ферми за допомогою крана НБК

посадка персоналу в кабину в районі осей Д-Г, 63;
підйом захисної kabini краном НБК вище найближчих перешкод, зміщення її в бік осі Б та підйом на позначку вище покрівлі машинного залу;

переміщення kabini в східному напрямку паралельно осі Б до осі 40;

зупинка та зависання над ходовими трапами вздовж південного поясу ферми;

вихід персоналу на ходові трапи для здійснення технологічних операцій.

Доведено, що складова радіаційного опромінення персоналу є важливим показником, який на пряму залежить від часу, затраченого на подолання шляху від вихідної точки до ЗВР і назад. Важливо зазначити, що пройти весь шлях від нижніх позначок (рівень підлоги) НБК до місця розташування кожної з конструкцій, що підлягає демонтажу, навіть по облад-

наному, прокладеному шляху доступу, є завданням досить складним з точки зору втомлюваності робітників. Отже, є сенс використовувати захисну кабину для транспортування персоналу в ЗВР, навіть якщо є можливість добратися туди по ділянках прокладених шляхів доступу, що залишилися після часткового демонтажу конструкцій. Такий спосіб потрапляння персоналу в ЗВР буде і швидшим, і безпечнішим (рис. 12 і 13). У такому випадку шляхи доступу, що будуть залишатися незважаючи на проведений демонтаж конструкцій, будуть аварійними і слугуватимуть для евакуації в разі нештатних ситуацій.

Як уже зазначалось, захисна kabina має бути універсальною, щоб дозволяти її застосування для будь-якої зони об'єкта «Укриття» за рахунок можливості регулювання товщини екрануючого шару всіх восьми сторін. У такому випадку для проведення розрахун-

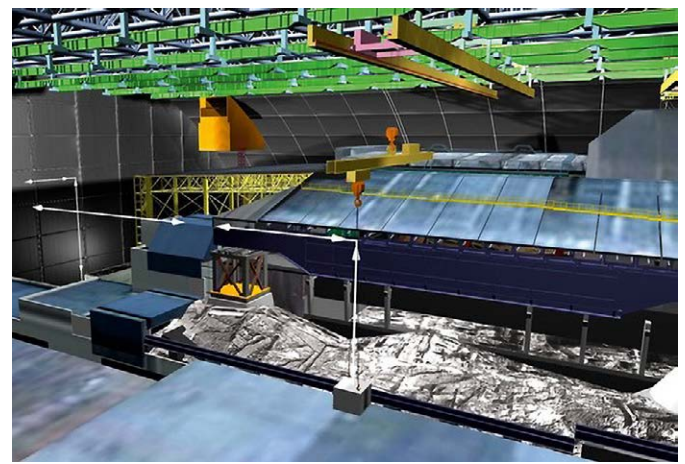
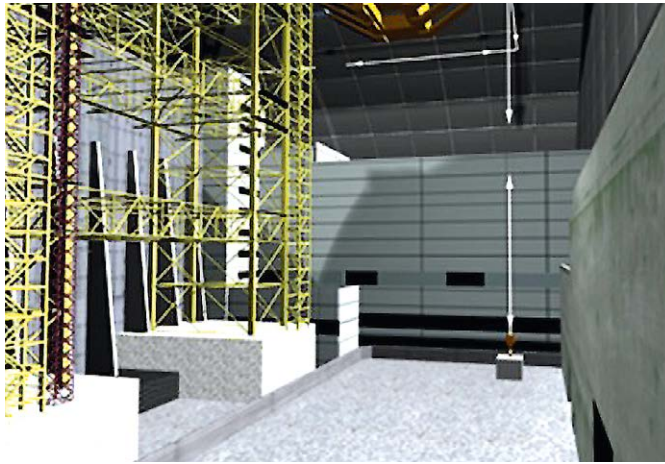


Рис. 12. Застосування захисної kabini для переміщення персоналу в район ЗВР по балці «Восьминіг», а також західній і східній опорах балки «Мамонт», по самій балці «Мамонт» і завалах на ДЕ

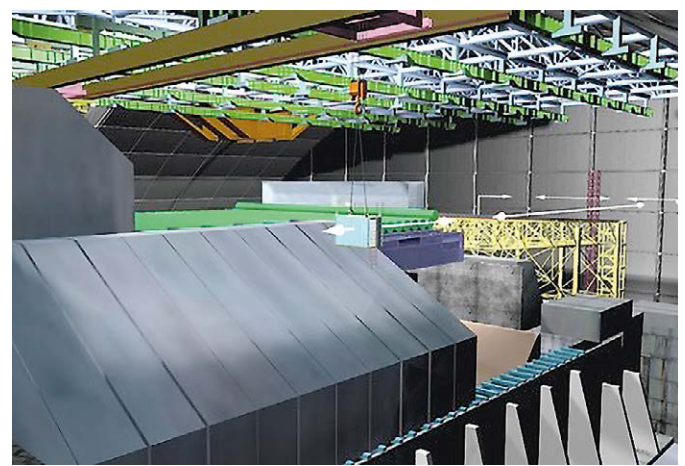
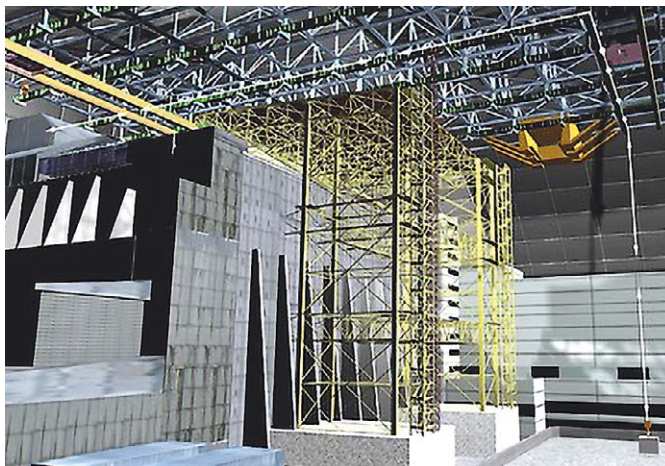


Рис. 13. Застосування захисної kabini для переміщення персоналу в район ЗВР по блоках легкої покрівлі, північних щитах-«ключках», блоку «Мишкін дім», накату з труб і блоків балок Б1 і Б2 по осях Ж і П

ків товщини екрануючого шару необхідна відповідна база даних щодо характеристик матеріалів, а також показники величин ПД гамма-випромінювання практично в місці розташування кожного щита або об'ємного блоку, по всій поверхні покриття об'єкта «Укриття», а також у місцях розташування конструкцій під покриттям. Таку роботу може значно спростити застосування програмного засобу HVRC VRdose Planner Pro v. 2.2.2, розробленого в Інституті енергетичних технологій Норвегії. При введенні параметрів щодо радіаційної обстановки та кутового розподілу гамма-випромінювання на базових відтинках шляхів доступу за допомогою програмного засобу HVRC VRdose Planner Pro v. 2.2.2 може бути проведено візуальне відображення радіаційного поля під час руху персоналу. Таким самим методом програма може перерахувати показники радіаційного поля під час переміщення персоналу в захисній кабіні, а також надати необхідні характеристики екранування з усіх її сторін. Приклад моделювання товщини екрануючого шару захисної kabini в зоні розташування балки «Восьминіг» за допомогою засобів програми наведено на рис. 14.

Оцінка відвернутої дози

Ефективність застосування заходів з радіаційної безпеки характеризується величиною відвернутої

дозы, тобто величиною, на яку зменшуються дозовитрати персоналу за рахунок застосування конкретного протирадіаційного заходу.

Для оцінки відвернутої дози під час застосування захисної kabini для транспортування персоналу в ЗВР необхідні такі вихідні дані:

кількість людино-виходів безпосередньо в ЗВР (у нашому випадку місце розташування з'єднувальної ферми);

індивідуальна доза робітника, який прямує в ЗВР по наявному маршруту доступу;

індивідуальна доза робітника, який переміщується в ЗВР за допомогою захисної kabini.

Для проведення оціночних розрахунків використано проектні рішення [6] з демонтажу з'єднувальної ферми. Згідно з роботою [6] кількість людино-виходів в ЗВР з демонтажу ферми становить 204 людино-вихід.

Доступ робітника в ЗВР згідно з роботою [7] здійснюється за такою схемою: прохід через коридор 101 ШДПП до основного об'єму НБК, потім до місця металевих сходів по осі А, 45 $\Rightarrow$ підйом у кабіні вантажопасажирського підйомника $\Rightarrow$ рух по високій покрівлі машинного залу від осі А, 45 до осі Б, 41 $\Rightarrow$ підйом по металевій драбині біля осі 41 на південні щити-«ключки», позн. 57,565 $\Rightarrow$ перехід через трапи з нижнього поясу ферми на верхню частину поясу ферми вздовж осі 42.

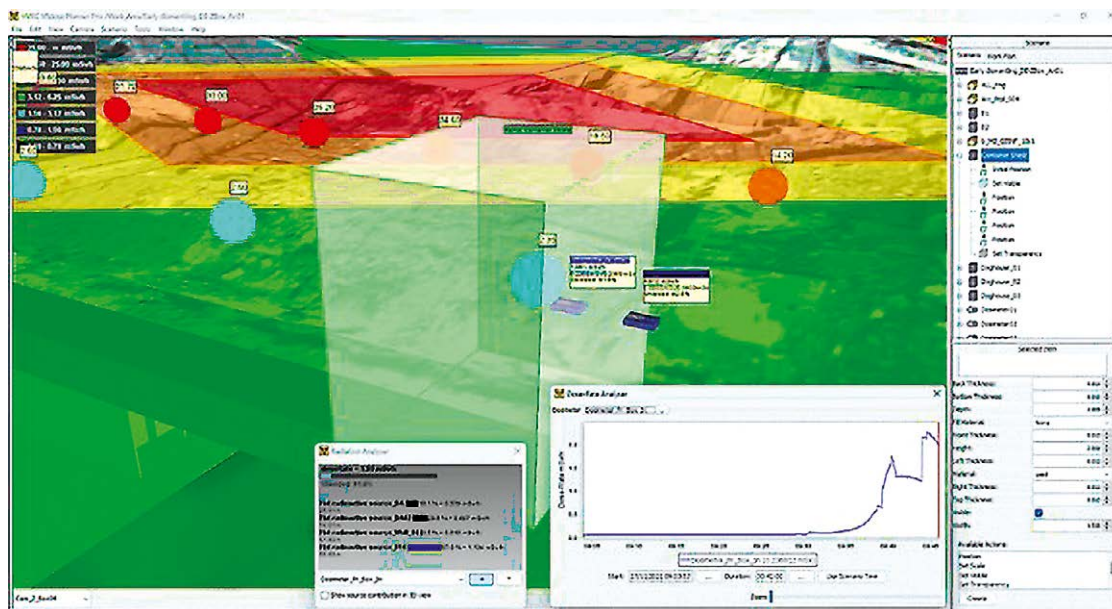


Рис. 14. Комп'ютерне моделювання параметрів екранування стінок захисної kabini в районі балки «Восьминіг». Товщина стінок 10 мм, матеріал свинець. ПД всередині kabini 1,991, зовні 4,012 мЗв/год, ПД на маршруті всередині kabini 0,2368, зовні 0,5603 мЗв

Згідно з роботою [7] індивідуальна доза опромінення робітника, який прямує по маршруту до ЗВР «Південні щити», становить $E_0 = 0,07$ мЗв. З урахуванням зворотного маршруту ця величина дорівнює 0,14 мЗв.

Для розрахунку індивідуальної дози під час транспортування персоналу захисною кабіною в ЗВР по з'єднувальній фермі прийняті вихідні дані:

проектні рішення [6] з демонтажу конструкції з'єднувальної ферми;

захисні характеристики екранованої кабіни;

«місце стоянки» захисної кабіни — ось Е, 62, позн. 7,500;

«місце доставки» захисної кабіни — ось В, 44, позн. 58,000;

шлях транспортування захисної кабіни залежно від величини ПД умовно розділено на п'ять ділянок, а саме: «місце стоянки» — ось Е, 62, позн. 7,500 → позн. 24,000 → позн. 58,000 → ось В, 62, позн. 58,000 → ось В, 48, позн. 58,000 → ось В, 44, позн. 58,000 — «місце доставки».

Згідно з роботою [6] величина ПД всередині захисної кабіни в наявних радіаційних умовах буде знаходитися в діапазоні від 10 до 25 мкЗв/год. Враховуючи дані радіаційних умов та довжину окремих ділянок маршруту, середня величина ПД становитиме близько 18 мкЗв/год.

Швидкість підйому вантажу вантажним візком — 10 м/хв [8], або 600 м/год.

Швидкість руху мостового крана — 15 м/хв [8], або 900 м/год.

За цих умов індивідуальна доза на маршруті ($E_{зк}$) буде розраховуватися як

$$E_{зк} = T_{зк} \cdot P_{зк} \text{ (мкЗв)},$$

де $T_{зк}$ — час руху захисної кабіни до місця призначення: $T_{зк} = [(S_{в1} + S_{в2})/V_{в} + (S_{мк}/V_{мк})]$, де $S_{в1}$ і $S_{в2}$ — відстань переміщення вантажного візка з позн. 7,500 до позн. 58,000 та з осі Е до осі В (18 м), $S_{мк}$ — відстань переміщення мостового крана з осі В, 62 до осі В, 44 (108 м), $V_{в}$ і $V_{мк}$ — швидкість переміщення вантажного візка та мостового крана; $P_{зк}$ — середня величина ПД всередині захисної кабіни під час руху по маршруту.

$$E_{зк} = [(50,5 + 18)/600 + (108/900)] \cdot 18 = 4,12 \text{ мкЗв, або } 0,0041 \text{ мЗв.}$$

З урахуванням зворотного маршруту величина $E_{зк}$ дорівнює 0,0082 мЗв.

Порівняння індивідуальної дози на маршруті своїм ходом ($E_0 - 0,14$ мЗв) з величиною індивідуальної

дозы в захисній кабіні ($E_{зк}$) дає співвідношення приблизно 16,5. Тобто індивідуальна доза на маршруті доступу в ЗВР у захисній кабіні у 16,5 раза менша від індивідуальної дози на маршруті своїм ходом.

Відвернута колективна доза буде розраховуватися як

$$S_{відвер} = (N_{заг} \cdot E_0) - (N_{заг} \cdot E_{зк}) = (204 \cdot 0,14) - (204 \cdot 0,0082) = 26,9 \text{ мЗв.}$$

Отже, за рахунок застосування властивостей захисної кабіни під час транспортування персоналу в ЗВР з демонтажу з'єднувальної ферми відвернута колективна доза приблизно 27 мЗв.

Очевидно, що застосування екранованої кабіни для доступу персоналу в ЗВР з демонтажу дозволить суттєво зменшити колективну дозу на маршруті. У результаті сумарна відвернута колективна доза буде значно більша з огляду на велику трудомісткість демонтажу інших нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» (наприклад, видалення завалів на перекритті ДЕ). Ця величина може бути більше 1 Зв.

Таким чином, доведено доцільність застосування екранованої захисної кабіни для транспортування персоналу на робочі місця під час здійснення діяльності з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття».

Висновки

Існуючі шляхи доступу дають змогу дістатися до всіх нестабільних конструкцій, але після послідовного демонтажу елементів захисної оболонки об'єкта «Укриття» ситуація з доступом зміниться.

Оскільки частина елементів шляхів доступу (трапи, переходи, містки) закріплена на щитах покрівлі об'єкта «Укриття», то в процесі їхнього демонтажу доступ до деяких конструкцій стане неможливий. Частково доступ збережеться тільки до конструкцій, що не належать до покрівлі об'єкта «Укриття».

Після демонтажу щитів і блоків покрівлі об'єкта «Укриття» утворюються значні перепади по висоті (від поверхні щитів (блоків) покрівлі до існуючих завалів), що можуть бути значною небезпекою для персоналу.

Демонтаж конструкцій покрівлі, тобто розбирання захисного бар'єра об'єкта «Укриття», призведе до перерозподілу напрямків впливу джерел іонізуючого випромінювання, що знаходяться в завалах об'єкта «Укриття», а отже радіаційна складова для персоналу, який буде використовувати наявні шляхи доступу, погіршиться.

Питання захисту персоналу від впливу радіаційного випромінювання на шляхах доступу може бути вирішено за рахунок застосування екранованої захисної кабіни, що буде транспортуватися одним із кранів НБК від місця стоянки на майданчику тимчасового складування до ЗВР з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття».

Захисна кабіна має бути універсальною, що дозволить її застосування для будь-якої зони об'єкта «Укриття» за рахунок можливості регулювання орієнтації кабіни відносно до наявних джерел випромінювання, а також можливості регулювання товщини екрануючого шару з усіх шести сторін. Можливості для транспортування кабіни краном НБК, зміни орієнтування за рахунок механізму розвороту та регулювання товщини екрануючого шару мають бути закладені в конструкції захисної кабіни.

Мінімізація величини індивідуальної дози на маршрутах доступу до робочого місця і назад є дієвим заходом протирадіаційного захисту. Розрахунок показав, що під час застосування захисної кабіни для транспортування персоналу в ЗВР з демонтажу з'єднувальної ферми величина відвернутої дози становить близько 27 мЗв. Виходячи з того, що обсяг робіт з демонтажу ферми в частині трудовитрат є суттєво меншим порівняно з іншими роботами з демонтажу нестабільних конструкцій (наприклад, видалення завалів над ДЕ), то можна прогнозувати, що загальна відвернута колективна доза під час реалізації діяльності з демонтажу всіх нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» за рахунок застосування захисної кабіни буде становити значну величину.

У разі здійснення проектування демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» в обсягах ПК-2 НБК рекомендується використати напрацьовані рішення по захисній кабіні, а також врахувати запропоновані технічні рішення щодо екранованої кабіни, наведені в даній роботі.

Список використаної літератури

1. Об'єкт «Укриття» в умовах нового безпечного конфайнмента / В. О. Краснов, А. В. Носовський, С. А. Паскевич, В. М. Рудько; за заг. ред. А. В. Носовського. — Чорнобиль : ІПБ АЕС НАН України, 2021. — 344 с.
2. Peculiarities of the Shelter object individual unstable structures dismantling / O. V. Balan, S. H. Brylka, S. S. Pidbereznyi, V. M. Rudko // Nuclear Power and Environment. — 2023. — № 2 (27). — P. 56–66.

3. Новий безпечний конфайнмент (НБК). Пусковий комплекс 2 (ПК-2). Демонтаж нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині «раннього» демонтажу. Етап 2. Радіаційне обстеження на шляхах доступу та у зонах виконання робіт.
4. Пусковий комплекс 2 (ПК-2). Демонтаж нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» ДСП «ЧАЕС» в частині «раннього» демонтажу. Етап 3. Обстеження майданчиків тимчасового зберігання демонтованих конструкцій і маршрутів їх транспортування з зон виконання робіт.
5. Павловський Л. І. Визначення радіаційних умов у зонах робіт з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» / Л. І. Павловський, Д. О. Хоменко, В. В. Єгоров // Ядерна енергетика та довкілля. — 2022. — № 3 (25). — С. 16–23.
6. Проектування, виготовлення, будівництво і введення у експлуатацію НБК до другого пускового комплексу НБК (ПК-2). Інфраструктура для виконання демонтажу нестабільних конструкцій ОУ. Робочий проект «Реконструкція об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині демонтажу металеві ферми підсилення південної покрівлі».
7. Акт РО-ШД-03 від 21.10.2021 року про виконання передпроектних радіаційних досліджень на маршруті доступу до конструкцій НБК-ОУ, що підлягають «ранньому» демонтажу у ЗВР з південної сторони ОУ.
8. Технологические решения. Система внутреннего транспорта. SIP-N-KP-22-E06__TEN-061-01/99-925.100.011.OT06.01.

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

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

Regarding Personnel Access to the Location Area of the Shelter Object Unstable Structures to be Dismantled

The need to dismantle the unstable structures of the Shelter object is due to several reasons, including the rather high probability of the collapse of these structures even in the conditions of operation inside the New Safe Confinement (NSC). Thus, all metal structures, which, respectively, make up the Shelter object, will be subject to dismantling.

It is claimed that the activity of dismantling the unstable structures of the Shelter object is rather difficult engineering task. First of all, this circumstance is caused by the need to perform work in very difficult radiation conditions, where the values of the dose rate (DR) in many zones reach more than 10 mSv/h. The highest values of DR were recorded in the work area zone (WAZ) on the run-up from the pipes, in the area of the “Dog’s House” block (over 48 mSv/h) and on the rubble above the deaerator stack (DS) overlap (over 35 mSv/h). It is emphasized that the involvement of personnel in physical work in such conditions should be excluded or minimized.

The paper presents the main results of the study of personnel access routes to the work area (WA) for the dismantling of unstable structures of the Shelter object and radiation conditions in the areas where they are located. Possible individual doses of personnel on the access routes to the WAZ and back are given.

With the help of existing data on the radiation situation and the angular distribution of gamma radiation along the routes, by means of the program ChNPP VR-dose Planner Pro v. 2.2.2 modeling of the shielding parameters of the protective cabin in the area of the “Octopus” beam was carried out.

On the example of dismantling works of the connecting truss structure of the southern part of the Shelter object roof, the calculations of the time spent on the access of personnel to the emergency room and back by their own pace and with the use of a protective cabin for personnel movement, which in turn is transported by a crane of the NSC, were made. The amount of averted dose to personnel due to the use of a protective cabin was estimated.

The work emphasizes that the protection of personnel from the effects of radiation on the access routes can be solved by using a shielded protective cabin, which will be transported by one of the NSC cranes from the parking place at the temporary storage site to the WAZ for dismantling the unstable structures of the Shelter object.

The protective cabin should be universal and allow its use for any Shelter object zone due to the ability to adjust the orientation of the cabin in relation to the existing radiation sources, as well as the ability to adjust the thickness of the shielding layer on all six sides. Possibilities for transporting the cabin by the NSC crane, changing the orientation due to the turning mechanism and adjust-

ing the thickness of the shielding layer should be included in the design of the protective cabin.

Keywords: Shelter object, LC-1 (LC-2) launch complex, access routes, work area, unstable structures, protective cabin, deflected dose.

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. Balan O. V., Brylka S. H., Pidberezniy S. S., Rudko V. M. (2023). Peculiarities of the Shelter object individual unstable structures dismantling. *Nuclear Power and Environment*, vol. 27, no. 2, pp. 56–66.
3. New Safe Confinement (NSC). Launch complex 2 (LC-2). Dismantling of unstable structures of the Shelter object of the ChNPP as part of the “early” dismantling. Stage 2. Radiation survey on the access roads and in the work areas. (in Ukr.)
4. Launch complex 2 (LC-2). Dismantling of unstable structures of the Shelter object of the ChNPP as part of the “early” dismantling. Stage 3. Inspection of sites for temporary storage of dismantled structures and routes of their transportation from work areas. (in Ukr.)
5. Pavlovskyi L. I., Khomenko D. O., Yehorov V. V. [Determination of the radiation situation in the areas of unstable structures dismantling of the Shelter object]. *Nuclear Power and Environment*, vol. 25, no. 3, pp. 16–23. (in Ukr.)
6. Design, manufacture, construction and commissioning of the NSC to the second launch complex of the NSC (LC-2). Infrastructure for performing dismantling of unstable structures of the Shelter object. Working project “Reconstruction of the Shelter object of the ChNPP chip-board in part of dismantling the metal truss of the southern roof reinforcement”. (in Ukr.)
7. ПО-IIIД-03. Act on the performance of pre-project radiation studies on the access route to the NSC-SO structures, which are subject to “early” dismantling in the WAZ from the south side of the Shelter object, dated 21.10.2021. (in Ukr.)
8. Technological solutions. Internal transport system. SIP-N-KP-22-E06__TEN-061-01/99-925.100.011.OT06.01. (in Rus.)

Надійшла 22.03.2024

Received 22.03.2024