

О. В. Балан, С. Г. Брилка, В. В. Деренговський, В. В. Єгоров, Л. І. Павловський, В. М. Рудько, Д. О. Хоменко

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

## Варіанти вирішення проблеми частин об'єкта «Укриття», що виступають за межі нового безпечного конфайнмента

### Ключові слова:

Чорнобильська АЕС, об'єкт «Укриття», новий безпечний конфайнмент, виступаючі частини, багатокритеріальний аналіз, порівняльний аналіз.

Розглянуто питання щодо конструкцій об'єкта «Укриття», що залишилися за межами нового безпечного конфайнмента (виступаючі частини). Проведено аналіз стану будівельних конструкцій виступаючих частин та підтверджено необхідність виконання робіт із підсилення та/або демонтажу несучих конструкцій. Сформульовано можливі варіанти проведення реконструкції цих частин. Виконано порівняльний аналіз щодо вибору варіантів вирішення проблеми з підсилення та/або демонтажу конструкцій виступаючих частин об'єкта «Укриття» за допомогою методу багатокритеріального аналізу. Наведені результати аналізу дозволяють обрати найбільш вигідний варіант вирішення поставлених цілей та завдань для максимально безпечного та економічно вигідного демонтажу та/або підсилення конструкцій виступаючих частин. Отримана інформація, як вхідні дані, може бути використана під час проектування реконструкції частин деаераторної етажерки та машинного залу об'єкта «Укриття», що виступають за межі нового безпечного конфайнмента.

### Вступ

Після спорудження стін огорожувального контуру нового безпечного конфайнмента (НБК) по осях 39 і 65 об'єкта «Укриття» (ОУ) і насування конструкції арки НБК у проектне положення частина будівлі II черги Чорнобильської АЕС залишилась за межами новоствореної системи НБК — ОУ. Будівельні конструкції із західної та східної сторін НБК, що не були накриті НБК і не потрапили в його об'єм, отримали назву «виступаючі частини». Із західної сторони НБК виступаючі частини мають протяжність 18 м разом із частинами машинного залу і деаераторної етажерки (ДЕ) між осями 65–68, а зі східної сторони НБК виступаючі частини мають протяжність 30 м разом із частинами машинного залу і ДЕ між осями 34–38 (рис. 1).

Для оцінки технічного стану будівельних конструкцій машинного залу і ДЕ у 2012–2013 рр. фахівцями Науково-дослідного інституту будівельних конструкцій (НДІБК) було проведено спеціальні дослідження та отримано дані для оцінки можливості безаварійного функціонування будівельних конструкцій виступаючих частин упродовж усього терміну експлуатації НБК (100 років).

У ході досліджень було розглянуто специфічні особливості основних несучих конструкцій, огорожувальних конструкцій і матеріалів покриттів будівель виступаючих частин відповідно до проекту та виконано розрахунки їхньої несучої спроможності з урахуванням факторів ослаблення за період після-аварійної експлуатації.

На підставі отриманих даних було визначено, що на вибір рішення щодо подальшої перспективи

© О. В. Балан, С. Г. Брилка, В. В. Деренговський, Л. І. Павловський, В. М. Рудько, Д. О. Хоменко, 2020

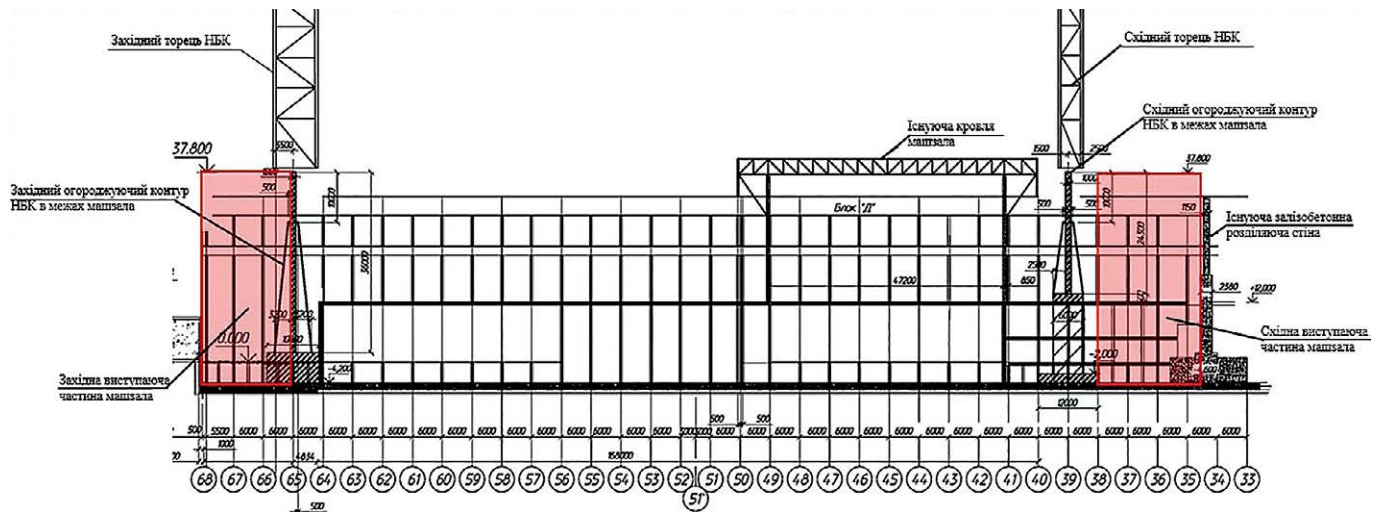


Рис. 1. Виступаючі частини об'єкта «Укриття» із західної та східної сторін НБК (на рис. дати машинного залу)

виступаючих частин об'єкта «Укриття» із західної та східної сторін НБК (рис. 2 і 3) впливають, з одного боку, ризики, які потенційно можуть виникнути в разі неконтрольованого обвалення цих споруд, зо-



Рис. 2. Виступаюча частина об'єкта «Укриття» із західної сторони НБК



Рис. 3. Виступаюча частина об'єкта «Укриття» зі східної сторони НБК

крема радіаційні наслідки і фінансові затрати на ліквідацію самої аварії, а з іншого — ступінь залучення цих споруд для потреб поточної експлуатації системи НБК — ОУ.

Слід зазначити, що на сьогодні багато приміщень ДЕ експлуатуються. На нижніх позначках виступаючої частини ДЕ об'єкта «Укриття» із західної сторони НБК розташовані приміщення, в яких функціонує система поводження з рідкими радіоактивними відходами; на позначці 5,800 експлуатуються приміщення санітарного шлюзу, на позначці 10,000 розташований сходово-ліфтовий блок, задіяний для організації шляхів доступу персоналу у приміщення та на покрівлю ДЕ і машинного залу. У виступаючій частині ДЕ зі східної сторони НБК у більшості приміщень прокладено магістральні кабельні лінії енергозабезпечення, експлуатуються трансформаторні підстанції, розташовано щити управління, у тому числі й щити інтегрованої автоматизованої системи контролю (ІАСК) та системи фізичного захисту і контролю доступу. Через ДЕ проходять шляхи доступу у приміщення блока В, блока допоміжних систем реакторного відділення (ДСРВ) і третього блока.

У порівнянні з ДЕ у східній і західній виступаючих частинах машинного залу відсутні приміщення, які експлуатуються. Разом з тим необхідно зазначити, що виступаюча частина машинного залу на заході межує з експлуатованим компонентом НБК, а саме шлюзом доступу пожежних підрозділів у південний сектор НБК. Будь-який інцидент, пов'язаний з аварією конструкцій західної виступаючої частини машинного залу, може призвести до довготривалого блокування проїзду під НБК, що само собою несе

негативні наслідки. Крім того, у цій частині промислового майданчика НБК проходять надземні комунікації НБК на естакадах з високими і низькими опорами, які також можуть бути пошкоджені під час непередбачуваного руйнування конструкцій виступаючої частини об'єкта «Укриття». І нарешті, поруч із західною виступаючою частиною проходять шляхи доступу персоналу до входу в НБК, для якого в усіх випадках повинна гарантуватись безпека.

Таким чином, на підставі результатів досліджень технічного стану конструкцій і виконаних розрахунків було зроблено висновок про те, що виступаючі за межі НБК частини споруди II черги Чорнобильської АЕС не відповідають вимогам, які висуваються до конструкцій НБК, а тому конструкції виступаючих частин повинні бути підсилені або демонтовані.

### **Варіанти демонтажу/підсилення конструкцій виступаючих частин**

Співробітниками Інституту проблем безпеки атомних електростанцій (ІПБ АЕС) НАН України спільно з НДІБК [1] були запропоновані варіанти реконструкції виступаючих частин з підсиленням та/або демонтажем несучих конструкцій для запобігання виникнення можливих аварій.

В основу реконструкції виступаючих частин було закладено два варіанти виконання необхідних робіт, а саме:

підсилення з частковим демонтажем і заміною будівельних конструкцій без зміни існуючих позначок машинного залу і ДЕ (варіант 1з і 1с);

підсилення з частковим демонтажем і заміною будівельних конструкцій із зміною існуючих позначок будівлі машинного залу (варіант 2з і 2с).

У технологічному відношенні варіанти 1з і 1с реконструкції виступаючих частин без зміни існуючих позначок будівлі машинного залу для західної та східної виступаючих частин виглядають таким чином:

демонтуються щити додаткової металевої покрівлі ДЕ. Потім здійснюється демонтаж/підсилення плит покриття ДЕ, влаштування нової покрівлі, герметизація та облаштування з'єднання із стіною огорожувального контуру НБК. Далі виконуються роботи з демонтажу/підсилення плит стінового огороження ДЕ та оздоблювальні роботи;

демонтуються щити додаткової металевої покрівлі машинного залу. Далі здійснюються роботи з демонтажу/підсилення комплексних плит покриття

машинного залу, влаштування нової покрівлі, герметизація та облаштування з'єднання зі стіною огорожувального контуру НБК;

виконуються роботи з демонтажу/підсилення елементів каркаса (в'язі, ферми, прогони, колони тощо). Потім здійснюється демонтаж/підсилення панелей стінового огороження машинного залу та оздоблювальні роботи.

Слід зазначити, що технічний стан конструкцій східної виступаючої частини, як більш віддалених від епіцентру аварії, кращий за аналогічні конструкції західної виступаючої частини. Тобто для реконструкції відповідно до варіанту 1с більш характерними будуть роботи, пов'язані з підсиленням конструкцій без демонтажу їх.

Під час реалізації варіантів 2з і 2с реконструкція виступаючих частин ДЕ здійснюється аналогічно варіантам 1з і 1с, а зміна існуючих позначок пропонується тільки для будівлі машинного залу. Таким чином, варіанти 2з і 2с розглядаються лише для машинного залу.

Під час реконструкції західної та східної частин машинного залу, що виступають за межі НБК, демонтуються щити додаткової металевої покрівлі, елементи стінового огороження, комплексні плити покриття та кроквяні ферми машинного залу. Виконуються роботи з демонтажу елементів каркаса (в'язі, ферми, прогони, колони тощо), при цьому здійснюється різання колон до позначки 12,000 (поверхня плити турбіни машинного залу) і демонтаж цих частин. Далі кроквяні ферми машинного залу монтуються на вкорочені частини колон (позначка 12,000), підсилюються та кріпляться в'язями, фермами і прогонами. Після цього здійснюються роботи з монтажу комплексних плит покриття, влаштування нової покрівлі, герметизація й облаштування з'єднання зі стіною огорожувального контуру НБК. Після завершення виконується монтаж стінового огороження частини машинного залу, що залишилась, та оздоблювальні роботи. На рис. 4 і 5 за допомогою комп'ютерної графіки зображено можливий загальний вигляд західної і східної виступаючих частин об'єкта «Укриття» після виконання робіт за одним з варіантів реконструкції.

Враховуючи складні радіаційні умови у приміщеннях об'єкта «Укриття», безпосередню близькість конструкцій виступаючих частин до споруди і до побудованої інфраструктури НБК, здійснення реконструкції виступаючих частин об'єкта «Укриття» є завданням досить складним, що спричинить значні фізичні та фінансові витрати.



Рис. 4. Виступаюча частина об'єкта «Укриття» із західної сторони НБК після реконструкції (варіант 2з)



Рис. 5. Виступаюча частина об'єкта «Укриття» зі східної сторони НБК після реконструкції (варіант 2с)

### Методика порівняльного аналізу доз/витрат/зиску

Порівняння варіантів реконструкції західної та східної частин машинного залу, що виступають за межі огорожувального контуру НБК, виконується на основі багатокритеріального підходу [2] з урахуванням рекомендацій МКРЗ і вимог НРБУ-97.

Суть методу полягає в побудові узагальненого показника ефективності рішення у вигляді суми окремих критеріїв з певними ваговими коефіцієнтами, що визначають важливість кожного з критеріїв для прийняття рішення. З цією метою для кожного окремого критерію здійснюється побудова функції корисності  $u_j(x)$ , яка відображає область зміни кожного з критеріїв  $x$  у діапазон значень від 0 до 1 [1, 3].

Під час проведення аналізу для кожного варіанта визначається узагальнений показник корисності як сума відповідних функцій корисності

$$U_i = \sum_{j=1}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}), \quad (1)$$

з ваговими коефіцієнтами  $k_j$ , які вибираються так, щоб

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1. \quad (2)$$

Вид функцій корисності  $u_j$  і значення вагових коефіцієнтів  $k_j$  вибираються відповідно до теорії прийняття рішень за багатьох критеріїв.

Для порівняння варіантів реконструкції західної та східної частин машинного залу, що виступають за межі огорожувального контуру НБК, обрано такі критерії:

$C$  — вартість робіт;

$T$  — трудовитрати на виконання робіт;

$D$  — колективна ефективна доза (КЕД) опромінення персоналу;

$R$  — об'єми радіоактивних відходів (РАВ), що утворюються;

$L$  — вплив на діяльність з експлуатації комплексу НБК — ОУ;

$Q$  — величина ризику потенційних аварій під час виконання робіт.

Перші чотири критерії є агрегативними, а два останні якісними. Значення критеріїв  $C$  (тис. грн),  $T$  (люд.-год),  $D$  (люд.-Зв) та  $R$  (т) визначаються під час опрацювання концептуальних проектних рішень.

Функції корисності будуються, виходячи з таких умов: в області малих значень вартості (або дози) функція  $u_j(x)$  повинна мати високі значення й бути малочутлива до змін аргументу; в області великих значень вартості (або дози) функція  $u_j(x)$  повинна мати низькі значення й бути малочутлива до змін аргументу; в інтервалі середніх значень аргументу, що близькі між собою, функція  $u_j(x)$  повинна мати високу роздільну здатність.

У процесі адаптації функції до перерахованих умов було знайдено функцію бажаності спеціального виду, що відповідає поставленим вимогам,

$$u_i(x) = EXP(-0,7 \cdot (x/A)^4), \quad (3)$$

де  $i = 1, \dots, 7$ ;  $x$  — значення критерію;  $A$  — константа, що визначається як середнє значення  $i$ -го показника екологічної безпеки всіх розглянутих варіантів.

Якісна оцінка може бути проведена різними способами. Одним з найбільш доступних і змістовно обґрунтованих методів є метод експертних оцінок.

Експертам необхідно вибрати для кожного з варіантів число з такого набору: 1 — неприйнятне значення; 3 — допустиме значення; 5 — прийнятне значення; 7 — найбільш прийнятне значення; 9 — ідеальне значення; 2, 4, 6, 8 — проміжні значення між сусідніми значеннями шкали.

Як загальну оцінку (результат обробки думок експертів) може бути використано середнє значення  $B_{\text{серед}}$  або медіанне значення  $M$ .

$$B_{\text{серед}} = \frac{\sum_{i=1}^L B_i}{L}, \quad (4)$$

де  $B_i$  — оцінка  $i$ -го експерта.

Усі відповіді експертів у порядку зростання

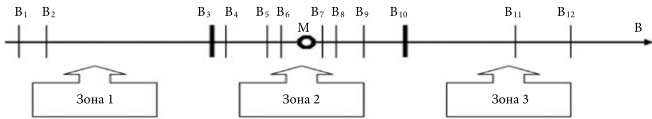


Рис. 4. Шкала оцінок експертів

їхніх значень розташовуються на загальній шкалі (рис. 4) і визначають зону оптимізму (зона 3:  $B_{10} - B_{12}$ ), зону песимізму (зона 1:  $B_1 - B_3$ ) і зону середніх оцінок (зона 2:  $B_4 - B_9$ ). До зон 1 і 3 зараховують по  $\frac{1}{4}$  виставлених оцінок. Медіана  $M$  визначається для зони середніх оцінок за формулою (4). У цій методиці медіанне значення  $M$  приймається як загальна оцінка.

З урахуванням того, що  $C_1, C_2$  — вартості робіт розглянутих варіантів;  $T_1, T_2$  — трудовитрати на виконання робіт;  $D_1, D_2$  — КЕД при реалізації варіантів;  $R_1, R_2$  — об'єми РАВ, що утворюються;  $L_1, L_2$  — вплив на діяльність з експлуатації комплексу НБК — ОУ;  $Q_1, Q_2$  — величини ризику потенційних аварій, при виконанні робіт для цих варіантів узагальнені показники корисності будуть мати такий вигляд:

$$U_1 = \frac{1}{6} \cdot (\exp(-0,7 \cdot (2 \cdot C_1 / (C_1 + C_2))^4) + \exp(-0,7 \cdot (2 \cdot T_1 / (T_1 + T_2))^4) + \exp(-0,7 \cdot (2 \cdot D_1 / (D_1 + D_2))^4) + \exp(-0,7 \cdot (2 \cdot R_1 / (R_1 + R_2))^4) + L_1 + Q_1), \quad (5)$$

$$U_2 = \frac{1}{6} \cdot (\exp(-0,7 \cdot (2 \cdot C_2 / (C_1 + C_2))^4) + \exp(-0,7 \cdot (2 \cdot T_2 / (T_1 + T_2))^4) + \exp(-0,7 \cdot (2 \cdot D_2 / (D_1 + D_2))^4) + \exp(-0,7 \cdot (2 \cdot R_2 / (R_1 + R_2))^4) + L_2 + Q_2). \quad (6)$$

Вигоду реалізації варіанта 1 до варіанта 2  $\Delta U$  можна представити як

$$\Delta U = U_1 - U_2, \quad (7)$$

Таблиця 1. Підсумкова експертна оцінка якісних показників для порівняння варіантів реконструкції західної та східної частин машинного залу, що виступають за межі огорожувального контуру НБК

Результати аналізу	Варіант 1з	Варіант 2з	Варіант 1с	Варіант 2с
Підсумкова експертна оцінка впливу на діяльність з експлуатації комплексу НБК — ОУ (L)	0,625	0,375	0,5	0,5
Підсумкова експертна оцінка ризиків потенційних аварій при виконанні робіт (Q)	0,5	0,5	0,5	0,25

Якщо ця різниця виявиться більше нуля, тоді доцільна реалізація варіанта 1. Якщо  $\Delta U < 0$ , то доцільна реалізація варіанта 2. Це означає, що перевага віддається тому варіанту, в якого значення узагальненого показника корисності  $U$  більше.

### Оцінка якісних показників

Для оцінки якісних показників було обрано групу експертів із трьох осіб. Вибрані експерти мають відповідну вищу освіту, досвід роботи за спеціальністю не менше двох років, знання технологій виконання робіт на об'єктах із радіаційно-ядерними технологіями, знають експлуатаційну документацію комплексу НБК — ОУ[1].

Слід зазначити, що роботи з демонтажу/підсилення конструкцій ДЕ західної та східної виступаючих частин об'єкта «Укриття» у межах варіантів 1з і 2з та 1с і 2с однакові, тому для порівняльного аналізу доз/витрат/зиску у цій роботі прийняті кількісні показники тільки по виступаючих частинах машинного залу між осями 65–68 і 34–39 відповідно.

Підсумкова експертна оцінка представлена в табл. 1.

Необхідною умовою достовірності отриманої оцінки є достатній рівень узгодженості думок експертів. Його перевіряють на основі аналізу дисперсії оцінок експертів на проміжку  $B_i - B_L$ : абсолютна величина дисперсії не повинна перевищувати 0,25 від значення  $M$  (медіанне значення).

**Таблиця 2. Вхідні дані кошторисної вартості та трудовитрат за заявленими варіантами [1]**

Найменування роботи	Кошторисна вартість, тис. грн	Кошторисні трудовитрати, люд.-год
Варіант 1з		
Демонтаж конструкцій	961,4	7 282
Підсилення конструкцій	4 103,3	29 882
Усього	5 064,7	37 164
Варіант 2з		
Демонтаж конструкцій	2 746,1	22 434
Підсилення конструкцій	1 721,7	13 844
Усього	4 467,8	36 278
Варіант 1с		
Демонтаж конструкцій	947	7 862
Підсилення конструкцій	7 224,9	54 674
Усього	8 171,9	62 536
Варіант 2с		
Демонтаж конструкцій	4 751	39 478
Підсилення конструкцій	1 167,7	9 416
Усього	5 918,8	48 894

**Кошторисна вартість і трудовитрати за варіантами виконання робіт**

Дані виконаних кошторисів, в яких розраховано трудомісткість та вартість робіт із демонтажу/підсилення конструкцій машинного залу, наведено в табл. 2.

Для оцінки трудовитрат і вартості робіт фахівцями НДІБК було проведено аналіз робіт за варіантами реконструкції виступаючих частин об'єкта «Укриття» із західної та східної сторін НБК і розраховано основні обсяги демонтажу або підсилення будівельних конструкцій.

**Оцінка дозовитрат персоналу**

Розрахунок дозовитрат персоналу виконано за документом [4], затвердженим Міністерством охорони здоров'я України у 2004 р. Як вихідні дані для розрахунку дозових навантажень персоналу було ви-

користано дані трудовитрат для кожного з варіантів виконання робіт, радіаційні характеристики на шляхах доступу та в місцях виконання робіт.

Слід зауважити, що кошторисна трудомісткість робіт включає всі трудовитрати підрядної організації на час виконання заявлених робіт за контрактом. Виходячи з досвіду реалізації подібних проектів на об'єкті «Укриття», трудовитрати персоналу безпосередньо на робочих місцях в умовах об'єкта «Укриття» становлять 10÷30% від кошторисної трудомісткості робіт. Варіанти підсилення/демонтажу виступаючих частин об'єкта «Укриття» із західної та східної сторін НБК з точки зору однорідності, виду діяльності та складності робіт можна вважати подібними. Тому для оцінки дозовитрат персоналу прийнято, що трудовитрати на виконання робіт в об'єкті «Укриття» безпосередньо на робочих місцях становлять 10% від кошторисної трудомісткості робіт.

КЕД зовнішнього опромінення персоналу (люд.-мЗв) визначається за формулою

$$S_p = K_{зп} \cdot K_E \cdot ПД \cdot T, \quad (8)$$

де  $K_{зп}$  — коефіцієнт запасу на проектування;  $K_E$  — коефіцієнт переходу від експозиційної дози зовнішнього опромінення до ефективної дози зовнішнього опромінення, мЗв/Р; ПД — значення потужності експозиційної дози зовнішнього опромінення в зоні робіт, Р/год; T — трудовитрати на виконання робіт, люд.-год.

Наводимо зведені показники діапазонів потужності дози (ПД) у зоні виконання робіт і прийняте середнє значення ПД, мР/год. Ця величина є усередненим значенням по всіх приміщеннях, що знаходяться на цій позначці.

*Західна виступаюча частина машинного залу (приміщення в осях А-Б/64–66)*

Приміщення на позначці 0,000 та простір від позначки 0,000 до позначки 23,000	90
Приміщення на позначці 7,400	90
Простір вище позначки 28,000	95
Покриття машинного залу на позначці 37,800	344

*Східна виступаюча частина машинного залу (приміщення в осях А-Б/38–40)*

Приміщення на позначці 0,000	11
Приміщення на позначці 5,000	53
Приміщення на позначці 12,000	62
Простір вище позначки 12,000	39
Покриття машинного залу на позначці 37,800	77

**Таблиця 3. Результати розрахунку КЕД зовнішнього опромінення персоналу, прийняті для виконання розрахунків доз поточного опромінення**

Назва та місце виконання робіт	Трудовитрати люд.-год	КЗП	КЕ	ПД, Р/год	КЕД, люд.-мЗв	Усього люд.-мЗв
Варіант 1з						
Демонтаж конструкцій МЗ в осях 65–68	728	2	11	0,095	625	23 238
Підсилення конструкцій МЗ в осях 65–68	2988	2	11	0,344	22 613	
Варіант 1с						
Демонтаж конструкцій МЗ в осях 34–39	2243	2	11	0,095	1924	12 399
Підсилення конструкцій МЗ в осях 34–39	1384	2	11	0,095	10 474	
Варіант 2з						
Демонтаж конструкцій МЗ в осях 65–68	786	2	11	0,039	674	5 365
Підсилення конструкцій МЗ в осях 65–68	5467	2	11	0,039	4691	
Варіант 2с						
Демонтаж конструкцій МЗ в осях 34–39	3948	2	11	0,039	3 387	4983
Підсилення конструкцій МЗ в осях 34–39	942	2	11	0,077	1 596	

Значення результатів розрахунку КЕД зовнішнього опромінення персоналу з підсилення/демонтажу будівельних конструкцій, що виступають за межі НБК (виступаючі частини об'єкта «Укриття»), для варіантів 1з і 2з та 1с і 2с наведено в табл. 3.

### Оцінка обсягів РАВ

У процесі діяльності з реконструкції машинного залу відповідно до варіантів 1з і 2з та 1с і 2с будуть утворюватися РАВ.

Для оцінки обсягів РАВ прийняті такі припущення: уся діяльність із підсилення/демонтажу виступаючих частин об'єкта «Укриття» із західної та східної сторін НБК проводиться в тих самих зонах, де знаходяться радіоактивно забруднені конструкції та матеріали;

під час проведення порівняльного аналізу варіантів роботи з видалення радіоактивно забруднених матеріалів із приміщень машинного залу не беруться до уваги, тому що обсяги потенційних РАВ, у разі необхідності їхнього вилучення, практично однакові.

До РАВ будуть зараховуватись усі металеві та залізобетонні конструкції, які будуть демонтовані під час робіт і не будуть знову використані під час реконструкції машинного залу разом зі складовими елементами та рамою мостового крана. У зв'язку з цим під час проведення порівняльного аналізу варіантів розглядаються тільки РАВ, які можуть ут-

ворюватися під час виконання діяльності з підсилення/демонтажу виступаючих частин об'єкта «Укриття» із західної та східної сторін НБК (табл. 4).

### Результати порівняльного аналізу

Для аналізу доз/витрат/зиску скористаємося формулами (5) і (6). Усі вхідні дані, необхідні для виконання аналізу, наведено в табл. 5.

Вигоду реалізації варіанта 1 відносно до варіанта 2  $\Delta U$  розрахуємо за формулою (7). Результати наших розрахунків представлено в табл. 6.

Під час порівняння варіантів реконструкції західних частин ДЕ і машинного залу, що виступають за межі огорожувального контуру НБК, різниця показників двох варіантів узагальненої корисності становить  $0,01 < 0$ . Це означає, що варіанти 1з і 2з мають майже однакові узагальнені показники корисності й рівноцінні між собою.

**Таблиця 4. Обсяги РАВ**

Матеріали, віднесені до РАВ	Варіант 1з	Варіант 2з	Варіант 1с	Варіант 2с
Металеві конструкції, т	0,48	178,5	20,0	674,2
Залізобетонні конструкції, т	307,5	307,5	–	166,4

**Таблиця 5. Матриця вхідних даних**

Кри- терій	Із західної частини		Зі східної частини	
	Варіант 1з	Варіант 2з	Варіант 1с	Варіант 2с
$C_1$	5 065		8 172	
$C_2$		4 468		5 919
$T_1$	3 716		6 254	
$T_2$		3 628		4 889
$D_1$	23 238		5 365	
$D_2$		12 399		4 983
$R_1$	308		20	
$R_2$		486		841
$L_1$	0,625		0,5	
$L_2$		0,375		0,5
$Q_1$	0,5		0,5	
$Q_2$		0,5		0,25

**Таблиця 6. Значення узагальнених показників корисності та їхня різниця для варіантів реконструкції західної та східної частин ДЕ і машинного залу, що виступають за межі огорожувального контуру НБК**

Західна частина			Східна частина		
$U_1$	$U_2$	$U_1-U_2$	$U_1$	$U_2$	$U_1-U_2$
0,49	0,50	-0,01	0,51	0,44	0,07

Під час порівняння варіантів реконструкції східних частин ДЕ і машинного залу, що виступають за межі огорожувального контуру НБК, різниця показників двох варіантів узагальненої корисності  $\Delta U = 0,07 > 0$ . Це означає, що варіант 1с має незначну перевагу над варіантом 2с.

### Висновки

Оцінка даних досліджень та виконаних розрахунків несучої спроможності конструкцій виступаючих частин об'єкта «Укриття», з урахуванням факторів ослаблення за період після аварійної експлуатації, вказує на неможливість гарантії безаварійного функціонування будівельних конструкцій виступаючих частин упродовж усього терміну експлуатації НБК (100 років). Тому виступаючі за межі НБК частини споруди II черги Чорнобильської АЕС не відповідають вимогам, що висуваються до конструкцій НБК, і вони по-

винні бути підсилені або демонтовані. Ця проблема потребує вирішення в короткостроковій перспективі.

На підставі результатів виконаного аналізу запропонованих варіантів для західної та східної виступаючих частин об'єкта «Укриття» без зміни проектних позначок або зі зміною проектних позначок машинного залу за узагальненими показниками корисності обрані варіанти відрізняються несуттєво, тому їх можна вважати рівноцінними між собою. Остаточне рішення вибору оптимального варіанта реконструкції виступаючих частин об'єкта «Укриття» може бути прийняте після проведення деталізації технологічних рішень на етапі проектування реконструкції виступаючих частин та передпроектних досліджень радіаційного стану в зоні виконання робіт.

Сформульовані можливі варіанти проведення реконструкції західної та східної виступаючих частин об'єкта «Укриття» та аналіз можливостей виконання робіт в умовах функціонування системи НБК — ОУ доводять, що така діяльність є завданням досить складним і може спричинити значні фізичні та фінансові витрати. Однак, оскільки гарантії безаварійного функціонування будівельних конструкцій виступаючих частин упродовж усього терміну експлуатації НБК немає, необхідно докласти всіх зусиль для вирішення цієї проблеми в короткостроковій перспективі.

Отримана інформація, в якості вхідних даних, може бути використана під час проектування реконструкції частин ДЕ та машинного залу об'єкта «Укриття», що виступають за межі НБК.

### Список використаної літератури

1. Участь у передпроектних роботах з обстеження стану будівельних конструкцій для розроблення проекту «Реконструкція частин деаераторної етажерки та машинного залу об'єкта «Укриття», що виступають за межі огорожувального контуру НБК». Етап 5. Аналіз та визначення найбільш оптимального варіанту підсилення та/або демонтажу частин, ОУ, що виступають за межі НБК (ВЧ ОУ) з урахуванням доз опромінення та фінансових витрат. / В. В. Рудько, О. В. Балан, Л. І. Павловський та ін. — Чорнобиль, 2019.
2. Деренговський В. В. Удосконалений метод багатокритеріального аналізу екологічної безпеки об'єктів із радіаційно-ядерними технологіями: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / В. В. Деренговський; НАН України, Ін-т проблем безпеки атом. електростанцій. — Київ, 2019. — 24 с.



3. Деренговский В. В. Методика проведения сравнительного анализа «доз-затрат-выгод» для двух вариантов «раннего» демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие» / В. В. Деренговский, В. М. Рудько, В. А. Говоров // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. — 2015. — Вип. 24. — С. 110–117.
4. Порядок розрахунку доз поточного і потенційного опромінення персоналу при плануванні і проектуванні робіт на ОУ / Міністерство охорони здоров'я. — Київ, 2004.

**O. V. Balan, S. Gh. Brylka, V. V. Derengovskyi,  
V. V. Yehorov, L. I. Pavlovskiy, V. M. Rudko,  
D. O. Khomenko**

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

### **Options for Solving the Problem of Parts of the Shelter Object Located Outside the New Safe Confinement**

The parts of the Shelter object structures remained outside the New Safe Confinement (protruding parts) are considered in the article. The analysis of the building structures condition of the turbine hall and the deaerator stack protruding parts on the east and west sides is carried out and the necessity of works on strengthening and/or dismantling of bearing structures is confirmed. Possible variants of reconstruction of the Shelter object protruding parts are stated and the technological sequence of works is provided. The analysis of the possibilities of performing works in the conditions of functioning of the New Safe Confinement — Shelter object system proved that such activity is rather difficult task, which can cause significant physical and financial costs. As there is no guarantee of trouble-free operation of the building structures of the protruding parts during the entire service life of the New Safe Confinement, it is necessary to make every effort to solve this problem in the short term.

The results of the analysis allow to choose the most advantageous solution to the goals and objectives for the safest and most cost/effective dismantling and/or strengthening of structures of protruding parts, taking into account a number of different criteria. These criteria may be different in nature, which allowed to build a generalized efficiency indicator for individual criteria with certain weights that determine the importance of each of the

criteria for decision making.

Based on the results of the analysis, these options can be considered equivalent. The final decision on the choice of the optimal variant for the Shelter object protruding parts reconstruction can be made after detailing the technological decisions at the design stage of protruding parts reconstruction and before the design studies of the radiation condition in the work area.

The obtained information can be used as input data during the design of the reconstruction of the deaerator stack and the turbine hall parts of the Shelter object, which protrude beyond the New Safe Confinement.

*Keywords:* ChNPP, Shelter object, New Safe Confinement (NSC), protruding parts, multicriteria analysis, comparative analysis.

### **References**

1. Rudko V. V., Balan O. V., Pavlovskiy L. I., Derengovskyi V. V., Kaftanatina O. A., Brylka S. H., Pidbereznyi S. S. (2019). *Participation in pre-project works on inspection of the condition of building structures for the development of the project “Reconstruction of parts of the deaerator shelf and engine room of the Shelter object, protruding beyond the enclosing circuit of the NSC”. Stage 5. Analysis and determination of the most optimal variant of reinforcement and/or dismantling of parts, SO, protruding outside the NSC (HF SO), taking into account radiation doses and financial costs. Chornobyl. (in Ukr.)*
2. Derengovskyi V. V. (2019). *Udoskonalenyi metod bagatokryterialnogo analizu ekologichnoi bezpeky ob'ektiv iz radiatsiino-yadernymy tehnologiyamy* [The improved method of multicriteria analysis of environmental safety of objects with radiation and nuclear technologies] (PhD Thesis). Chornobyl: ISP NPP, NAS of Ukraine, 24 p. (in Ukr.)
3. Derengovskyi V. V., Rudko V. M., Govorov V. A. (2015). [Method of conducting a comparative analysis of “dose-cost-benefit” for two options for “early” dismantling of unstable structures of the Shelter object]. *Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobylia* [Problems of nuclear power plants safety and of Chornobyl], vol. 24, pp. 110–117. (in Ukr.)
4. *The procedure for calculating current doses and potential exposure of personnel in the planning and design of work on the SO.* Kyiv: Ministry of Health, 2004. (in Ukr.)

Надійшла 30.07.2020

Received 30.07.2020