

# НАДІЙНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА БЕЗПЕКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2019, 3(58): 55–59  
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.055>

УДК 621.311.183

**С.І. АЗАРОВ**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, ст. наук. співр., ORCID 0000-0002-9951-8867  
**В.Л. СИДОРЕНКО**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-4584-486X  
**О.С. ЗАДУНАЙ**<sup>3</sup>, канд. техн. наук, ORCID 0000-0001-8589-1604

<sup>1</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, пр. Науки, 47, м. Київ, 03028, Україна

<sup>2</sup>Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, вул. Вишгородська, 21, м. Київ, 04074, Україна

<sup>3</sup>Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, вул. Залізняка, 6, м. Київ, 03142, Україна

## ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» В ПРОЦЕСІ ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНУ СИСТЕМУ

*Складність безпечної експлуатації об'єкта «Укриття», наявність даних різної кваліметричної природи, що описують його поведінку, обумовлює необхідність розробки нових методів оцінювання безпеки аналізованого об'єкта, які дозволили б провести інтеграцію цих даних у рамках єдиного підходу. Запропоновані методичні основи засновані на системному підході і нечіткому логічному виведенні, що дозволяє використовувати якісні та кількісні дані про об'єкт, що аналізується. Для прийняття рішень з урахуванням значущості кожного аспекту відносно один одного і кількісної оцінки варіантів рішень пропонується використовувати підхід на основі методу аналізу ієрархій, що дає змогу визначити безпечний стан об'єкта «Укриття».*

*Ключові слова: норми і правила безпеки, принципи і критерії безпеки, відпрацьоване ядерне паливо, радіоактивні відходи.*

Об'єкт «Укриття» (ОУ) включає споруди, що складаються з пошкодженого запроектною аварією 4-го енергоблоку Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) і знов зведених захисних конструкцій та огорож, що закривають викинуті з активної зони реактора відкриті джерела випромінювання сумарною активністю понад  $10^{18}$  Бк [1]. За статусом ОУ є зруйнований в результаті аварії 4-ий енергоблок ЧАЕС, на якому виконано першочергові заходи для зменшення наслідків аварії та продовжуються роботи з контролю його стану, ядерної, радіаційної та загальнотехнічної безпеки [2–4]. За призначенням і виконуваними функціями він є унікальною спорудою, що не має аналогів у світовій практиці, і не може бути віднесений ні до одного з відомих об'єктів в атомній промисловості, оскільки не відповідає міжнародним вимогам з ядерної, радіаційної та загальнотехнічної безпеки [5].

© С.І. АЗАРОВ, В.Л. СИДОРЕНКО, О.С. ЗАДУНАЙ, 2019

У процесі проведення кількісного аналізу безпеки ОУ необхідно оцінити повноту та достовірність вихідних даних, адекватність і точність використовуваних схем, обґрунтованість прийнятих припущень і залежність від них одержуваних рекомендацій та висновків. ОУ вважається безпечним, коли його радіаційний вплив на персонал, населення і навколишнє середовище в процесі нормальної експлуатації та під час проектних аварій не призводить до перевищення встановлених доз і нормативів і навіть обмежує цей вплив у разі виникнення запроектних аварій.

Будемо розрізняти наступні категорії умов експлуатації ОУ: 1) нормальні умови (частота виникнення вихідного випадку постійна або часте виникнення); 2) незначні, але часті інциденти ( $10^{-2}$ – $10^{-1}$  рік<sup>-1</sup> на інцидент); 3) малоймовірні інциденти ( $10^{-4}$ – $10^{-2}$  рік<sup>-1</sup> на інцидент); 4) важкі аварії ( $10^{-6}$ – $10^{-4}$  рік<sup>-1</sup> на аварію); 5) глобальна (гіпотетична) аварія або катастрофа ( $10^{-8}$ – $10^{-6}$  рік<sup>-1</sup> на катастрофу).

Вихідні події аварій на ОУ за частотою їх виникнення можна розділити на очікувані, можливі, малоімовірні та запроектовані. Для забезпечення безпеки ОУ необхідно: 1) обґрунтувати критерії підтримки поточного рівня безпеки ОУ і визначити необхідність втручання для забезпечення радіаційної безпеки; 2) провести всі практично здійсненні заходи з метою підвищення безпеки, спрямовані на реалізацію принципів радіаційного захисту; 3) обґрунтувати критерії довготривалої безпеки ОУ і визначити необхідність втручання для забезпечення радіаційного захисту; 4) прийняти всі практично здійсненні заходи щодо забезпечення довгострокової безпеки ОУ.

Під критерієм безпеки в процесі перетворення ОУ на екологічно безпечну систему мається на увазі опис сукупності показників, що дозволяють охарактеризувати його стан як «нормальний», «передаварійний», «аварійний», «критичний» або «кризовий». Критерій безпеки повинен відповідати таким основним вимогам: мати ясний фізичний сенс, бути визначальним і відповідати основній меті функціонування сховищ відпрацьованого ядерного палива, враховувати основні детерміновані і стохастичні фактори, що визначають рівень безпеки ОУ, бути критичним до аналізованих параметрів і досить чутливим до них. Класифікація критеріїв безпеки повинна включати загальні (інтегральні) критерії, що дають найбільш повну оцінку вдосконалення ОУ; умовні (непрямі) критерії, що відображають одну з властивостей ОУ шляхом віднесення його до певного показника; відносні (нормовані) критерії, що характеризують безпеку ОУ щодо оснащеності та ефективності засобів захисту.

Розглянемо більш докладно загальні критерії безпеки в процесі перетворення ОУ на екологічно безпечну систему, що включають критерії ядерної, радіаційної, екологічної безпеки та пожежовибухонебезпечності.

Критерій ядерної безпеки включає: ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів –  $K_{ef}$ , який при нормальних умовах експлуатації і проектних аваріях на ОУ повинен залишатися нижче 0,95 виходячи із наступних консервативних припущень: нехтується наявністю поглинаючих елементів у відпрацьованих тепловідділяючих збірках або конструкціях стелажів, якщо вони не закріплені або їх ефективність знижується в результаті вихідних подій; розглядається паливо з максимальним збагаченням по  $^{235}\text{U}$  (2,4% для палива реактора РВПК-1000); не враховується вигорання відпрацьованого ядерного палива і зменшення внаслідок цього  $K_{ef}$ .

Критерій радіаційної безпеки включає радіаційний захист ОУ, що повинен ґрунтуватися на НРБУ-97, які враховують останні рекомендації Міжнародної комісії з радіаційного захисту та в яких встановлені наступні категорії опромінюваних осіб. При організації радіаційного захисту повинен використовуватися принцип «ALARA».

Критерій екологічної безпеки включає санітарно-захисну зону (СЗЗ) для ОУ, що встановлюється в розмірах СЗЗ ЧАЕС. При проектних аваріях викиди обмежуються відповідно до критеріїв, визначених в НРБУ-97. Тому, з урахуванням проведених оцінок, впливом на всі інші ланки екосистеми, властиві цій території, можна знехтувати порівняно з фоновими, зумовленими вже складеною радіаційною обстановкою в Чорнобильській зоні.

Критерій пожежовибухонебезпеки включає систему протипожежного захисту ОУ, що повинна виконувати функції профілактики загорянь, їх оперативне виявлення, локалізацію і гасіння пожеж. Пожежовибухонебезпека ОУ повинна обмежуватися за рахунок вибору конкретних проектних характеристик: в технологічному процесі не використовуються вибухонебезпечні гази та хімічні реакції, а горючі матеріали, наявні в значній кількості, обмежуються паливом.

Для керування безпекою на ОУ необхідно регулювання поточного рівня безпеки та довготривалої безпеки ОУ. Кількісний аналіз безпеки ОУ з використанням вище наведених критеріїв безпеки в процесі можливий лише з урахуванням методів об'єктивного вимірювання і прогнозування наслідків небезпеки. Під час вибору остаточного рішення необхідно провести оцінку гарантій, що забезпечуються кількісним аналізом, а також розглянути можливе підвищення цих гарантій, застосовуючи міжнародні та національні принципи і критерії безпеки, норми і правила, які дозволяють в сукупності забезпечити необхідну високу надійність і безаварійність в процесі експлуатації ОУ. За результатами кількісної оцінки безпеки ОУ може бути проведено коригування переліку можливих відмов і ранжування причин відмов систем безпеки.

Формування показників безпеки ОУ повинно ґрунтуватися на реалізації відповідних принципів їх вибору, основними з яких є такі: 1) номенклатура показників безпеки повинна бути необхідною для характеристики безпеки об'єкта, тобто до їх складу слід впроваджувати незалежні один від одного показники; 2) номенклатура показників безпеки повинна бути достатньою для її характеристики, тобто їх набір повинен відповідати колу завдань, що вирішуються. Оскільки будь-яка аварія (проектна або позапроектна) характеризується вихідними подіями, шляхами проходження аварії і наслідками, в роботі, в якості показника безпеки, пропонується використовувати комплексний показник потенційної небезпеки ОУ. Аналіз і оцінка рівня потенційної небезпеки ОУ є тим методичним інструментом, за допомогою якого потенційну небезпеку може бути оцінено кількісно. В атомній енергетиці існує система оцінки зміни ризику від експлуатаційних подій на базі комп'ютеризованої методології (аналіз попередників аварій – ASP-Accident Sequence Precursor), розроблену в США (NRC) методологія для досліджень значення експлуатаційних подій на АЕС на основі попередньо розроблених імовірнісних мо-

делей. Імовірнісний аналіз безпеки (ІАБ) є основним методом кількісних розрахунків ризику [6].

Для досліджень ASP мають значення наступні показники безпеки ОУ: 1) частота тяжкої аварії (Frequency Severe Accident – FSA); 2) імовірність тяжкої аварії (Probability Severe Accident – PSA). Перехід від частоти тяжкої аварії до можливості тяжкої аварії за час  $t$  в годинах здійснюється за формулою:

$$PSA = 1 - [\exp(-FSA \cdot t)]; \quad (1)$$

3) умовна частота тяжких аварій (Conditional Frequency Severe Accident – CFSA); 4) умовна ймовірність важких аварій (Conditional Probability Severe Accident – CPSA). Показники оцінки стану пов'язані формулою, аналогічною формулі (1):

$$CPSA = 1 - [\exp(-CFSA \cdot t)]; \quad (2)$$

5) параметр важливості події (Event Importance ( $H$ )) – це зміна ймовірності тяжкої аварії для експлуатаційної події, що аналізується по відношенню до номінальної можливості тяжкої аварії під час даної вихідної події. Важливість події визначається за формулою:

$$H = CPSA - PSA. \quad (3)$$

Останній показник за структурою і визначає наскільки змінюється ймовірність тяжких аварій через негативні події, що мали місце на об'єкті дослідження. З наведених визначень на основі описаних процедур імовірнісного структурно-логічного моделювання слідує процедури аналізу попередників аварій для ОУ. Процес оцінки вихідних подій ( $H$ ) в ході аналізу ймовірності аварій на ОУ складається з таких кроків: 1) для вихідної події, що досліджується, якщо неможливо відновлення функцій оператором, задається ймовірністю у вигляді одиниці, що означає подію, яка відбулася; 2) для інших вихідних подій, що моделюються в ASP, частоти дорівнюють нулю; 3) далі проводять модифікацію моделі з метою відображення подій, що погіршують ситуацію; 4) якщо змінюють логіку (при нечіткому моделюванні) дерева відмов і дерев подій, необхідно провести генерацію мінімальних перетинів і аварійних послідовностей; 5) потім виконують кількісний розрахунок аварійних послідовностей, що включає значення ймовірності ризику, визначення значущості базисних подій, аналіз чутливості та невизначеностей; 6) визначається тривалість аналізованого стану відмови елемента або системи; 7) розраховується ймовірність аварії за обраний час з урахуванням змін, що відбулися.

Процес проведення розрахунково-аналітичних досліджень виникнення і розвитку аварії на ОУ розбивали на такі послідовні етапи: 1) аналіз причин виникнення та шляхів розвитку аварії; 2) формування сценаріїв аварії; 3) розробка логічних схем розвитку аварії. На перших двох етапах складається фізична модель виникнення та розвитку аварії на ОУ, результатом цих етапів є вибір сценарію аварії. Після того,

як сценарій аварії складений, необхідно визначити математичну модель цього процесу. Сутність математичного моделювання аварійних процесів полягає в переході від досліджуваного об'єкта до його математичної моделі та подальшому дослідженні моделі в рамках обчислювального експерименту за допомогою програмних обчислювально-логічних алгоритмів.

Після виявлення всіх сценаріїв можливих аварій проводиться оцінка ймовірності їх реалізації. Далі проводиться оцінка впливів факторів небезпеки на об'єкті дослідження для кожного з можливих сценаріїв. Після цього, підставляючи в значення ймовірностей, що входять до неї, обчислюється ймовірність виникнення кінцевої події. Останній крок – це процес підтримки прийняття рішень з попередження аварій і мінімізації екологічних наслідків, що варто розділити на три основні етапи: 1) формування груп експертів, компетентних в предметній області; 2) групова побудова бази знань предметної області базуючись як на об'єктивній, так і на експертній інформації; 3) формування рекомендацій для особи, що приймає рішення на основі даних побудованої бази знань. У підсумку, розрахований показник ймовірності порівнюється з допустимим рівнем безпеки і робиться висновок про достатність вжитих заходів для забезпечення захисту об'єкта дослідження від небезпек. Якщо ці заходи незадовільні, виявляються ті місця, що відповідають за високий рівень небезпеки. Далі розробляються пропозиції щодо вдосконалення вжитих заходів і проводиться переоцінка рівня безпеки об'єкта дослідження. Отже, формування сценаріїв виникнення і розвитку аварій на ОУ полягає в пошуку тимчасової послідовності допустимих значущих подій, що визначають моменти переходу об'єкта в якісно новий небезпечний стан з обліком зазначених умов безпеки.

Для прийняття рішень з урахуванням значущості кожного аспекту відносно один одного і кількісної оцінки варіантів рішень запропоновано використовувати підхід на основі методу аналізу ієрархій [7]. Нехай  $V = \{V_j\}$ ,  $j=1, M$  – множина можливих альтернатив (варіантів) модифікації («А», «В», «С» і т. д.);  $A = \{A_i\}$ ,  $i=1, N$  – множина аспектів, що розглядаються в аналізі модифікації. Тоді кожному аспектові експерти присвоюють оцінку впливу  $E_{jk}$ , що лежить в діапазоні  $[E_{\min}, E_{\max}]$ , де  $E_{\min} = 1$ ,  $E_{\max} = 9$ . За наявності  $K$  експертів їхні оцінки усереднюються з урахуванням ваги  $\beta_k$ ,  $k=1, K$  кожного з експертів. За вагу експерта береться його кількість років роботи ( $Y_k$ ) в галузі атомної енергетики. Зважена середня по експертах оцінка обчислюється за формулою:

$$\hat{E}_{ji} = \sum_{k=1}^K \beta_k E_{jik} = \sum_{k=1}^K Y_k E_{jik} / \sum_{k=1}^K Y_k. \quad (4)$$

Важливим етапом експертного оцінювання є перевірка узгодженості думок експертів. За відсутності значимої узгодженості необхідно виявити причини неузгодженості (наявність груп) і визнати відсутність

узгодженої думки (нікчемні результати). За міру узгодженості думок експертів можна використовувати середнє квадратичне відхилення за множиною оцінок, даних  $K$  експертами:

$$\sigma_{jk} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (E_{jik} - \bar{E}_{ji})^2}, \quad (5)$$

де  $\bar{E}_{ji} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E_{jik}$  – середня оцінка експертів.

Критерій узгодженості думок експертів:

$$\Omega_{jk} = \frac{\sigma_{jk}}{\bar{E}_{jk}} \cdot 100\% \leq \Omega_0, \quad (6)$$

де  $\Omega_{jk}$  – рівень неузгодженості думок експертів з  $j$ ,  $k$ -ї оцінки, %;  $\Omega_0$  – допустимий рівень неузгодженості оцінок експертів, %.

Звичайно береться  $\Omega_0 = 20\%$  і оцінки експертів не перевищують цього рівня непогодженості, оскільки до експертизи модифікацій ОУ залучаються висококваліфіковані експерти з багаторічним досвідом роботи в галузі атомної енергетики і, що, як правило, приходять до погодженої думки з більшої оцінюваних заходів безпеки. Далі елементам множини альтернатив  $A$  поставимо у відповідність вагові коефіцієнти заходів безпеки  $\{\alpha_i\}$ ,  $i=1, N$ , де  $\alpha_i \in [\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$ ,  $\alpha_{\min} = 0$ ,  $\alpha_{\max} = 10$ .

Введемо також нормовані коефіцієнти ваги заходів безпеки:

$$\tilde{\alpha}_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_{\max} N}, \quad (7)$$

де  $\tilde{\alpha}_i \in [0, 1]$ , причому

$$\sum_{i=1}^N \tilde{\alpha}_i = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i}{\alpha_{\max} N} = \frac{1}{\alpha_{\max} N} \sum_{i=1}^N \alpha_i \leq 1. \quad (8)$$

Тоді значення вектора пріоритету альтернативи (функціоналу експертного оцінювання) будемо обчислювати за формулою:

$$C = \{C_j\}, \quad (9)$$

де  $C_j = \sum_{i=1}^N \alpha_i \hat{E}_{ji}$ ,  $j = \overline{1, M}$ , і те ж саме в нормованому вигляді:

$$\tilde{C} = \{\tilde{C}_j\}, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{де } \tilde{C}_j &= \sum_{i=1}^N \tilde{\alpha}_i \tilde{E}_{ji} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i}{\alpha_{\max} N} \cdot \frac{\hat{E}_{ji}}{E_{\max}} = \\ &= \frac{1}{\alpha_{\max} V_{MAX} N} \sum_{i=1}^N \alpha_i \hat{E}_{ji} = \frac{C_j}{\alpha_{\max} V_{MAX} N}. \end{aligned}$$

Найкращою вважається альтернатива рішення з найбільшим вектором  $C_j$  (або з найбільшим нормалізованим значенням  $\tilde{C}_j$ ):

$$j^* = \arg \max \{ \tilde{C}_j \}, j = \overline{1, M}, \tilde{C}_j \leq 1. \quad (11)$$

Результати деталізації ситуації із застосуванням алгоритму прийняття рішень наведено в матриці, згідно з якою на підставі найбільшого вектора позитивне рішення має бути прийняте для варіанта в (табл. 1).

Таблиця 1. Матриця прийняття рішень на основі оцінок експертів

| Множина заходів безпеки $A = \{A_i\}, i = \overline{1, N}$ |                                   |   |  | Множина альтернатив $V = \{V_j\}, j = \overline{1, M}$ |                                       |                                      |
|--|-----------------------------------|---|--|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
|  |                                   |   |  | $j = 1$  | $j = 2$                               | $j = 3$                              |
| $i$  | Параметр заходу безпеки           | Ступінь важливості $i$ -го заходу безпеки | Ваговий коефіцієнт $\alpha_i$ для заходу безпеки | А<br>( $1,3 \cdot 10^{-6}$<br>1/рік)                   | В<br>( $1,98 \cdot 10^{-5}$<br>1/рік) | С<br>( $2,7 \cdot 10^{-6}$<br>1/рік) |
|  |                                   |   |  | Зважені середні оцінки $\tilde{E}_{ji}$                |                                       |                                      |
| 1  | Вимоги норм і правил              | Висока                                    | 10   | 2,16   | 7,14                                  | 7,22                                 |
| 2  | Глибокоешелонований захист        | Висока                                    | 9  | 5,34   | 5,47                                  | 5,26                                 |
| 3  | Запаси безпеки                    | Середня                                   | 7  | 5,14   | 6,31                                  | 5,29                                 |
| 4  | Принцип одиначної відмови         | Середня                                   | 6  | 5,31   | 5,82                                  | 5,49                                 |
| 5  | Вимоги до кваліфікації обладнання | Середня                                   | 5  | 3,14   | 5,45                                  | 6,39                                 |
| 6  | Імовірнісні вимоги                | Висока                                    | 8  | 5,42   | 8,96                                  | 6,11                                 |
| 7  | Економічні вигоди та втрати       | Низька                                    | 4  | 5,25   | 5,59                                  | 3,15                                 |
| Вектор пріоритету альтернативи:                            |                                   |   |  | 210,1  | 309,9                                 | 279,2                                |
| Нормалізоване значення:                                    |                                   |   |  | 0,34   | 0,50                                  | 0,45                                 |

Примітка. А, В, С – варіанти відмов на ОУ від реалізації заходу безпеки  $A = \{A_i\}, i = \overline{1, N}$ .

Таким чином, застосування наведених методів для оцінки передаварійного або аварійного стану ОУ дозволить підвищити рівень прийнятності управлінських рішень та якісного оцінювання рівня безпеки.

## ВИСНОВКИ

Доповнено, уточнено та конкретизовано принципи виконання аналізу безпеки ОУ з урахуванням міжнародного досвіду і досягнутого рівня безпеки шляхом забезпечення достатніх запасів безпеки, виконання ймовірнісних критеріїв безпеки, компенсації можливих небажаних ефектів, забезпечення високого рівня довіри до результатів науково-технічних обґрунтувань. Запропоновано алгоритм виконання аналізу безпеки експлуатації та критерії прийняття рішень з безпеки ОУ. Визначено елементи процесу впровадження оцінок безпеки: методична й нормативна база, технічна база, пілотні проекти, зворотний зв'язок і врахування досвіду експлуатації, навчання персоналу. Наявність цих елементів є необхідною та достатньою умовою для реалізації алгоритму ухвалення рішень, що в загальному випадку включає п'ять етапів: 1) ідентифікацію безпеки ОУ та альтернатив рішень; 2) визначення вимог і критеріїв, що слід дотримуватися, реалізуючи рішення; 3) аналіз рішень на відповідність установленим вимогам і критеріям; 4) впровадження та 5) моніторинг ефективності ухваленого рішення. Для кожного з етапів запропоновано шляхи реалізації, сформульовано критерії прийнятності безпеки ОУ під час експлуатації та рекомендації для їх практичного використання. Рішення про підвищення рівня безпеки ОУ має враховувати всі можливі аспекти, (нормативні, детерміністичні, ймовірнісні, радіаційні, експлуатаційні, економічні тощо). У цьому разі необхідно звертатися до математичних моделей підтримки ухвалення рішень. Тому набув подальшого розвитку метод аналізу ієрархій для ухвалення зваженого та обґрунтованого рішення,

запропоновано вагові коефіцієнти з розглянутих аспектів, розроблено базові шкали і матриця для ухвалення рішень.

1. Азаров С.І., Єременко С.А., Сидоренко В.Л. та ін. Техногенно-екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи: монографія. Заг. ред. П.Б. Волянського. К., 2019. 455 с.
2. Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему: Закон України від 11 грудня 1998 р. № 309-XIV. *Верховна Рада України*. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/309-14> (дата звернення: 22.05.2019).
3. Стратегія перетворення об'єкта «Укриття»: Ухвалено рішенням міжвідомчої комісії з комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС, протокол № 2 від 12.03.2001. ДСП «Чорнобильська АЕС». 18 с. Інв. № 45 від 04.02.2002.
4. Про Загальнодержавну програму зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему: Закон України від 15 січня 2009 р. № 886-VI. *Верховна Рада України*. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/886-17> (дата звернення: 22.05.2019).
5. Бондар О.І., Ващенко В.М., Азаров С.І., Сидоренко В.Л. та ін. Чорнобиль четверте десятиліття: монографія. К.: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2019. 407 с.
6. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Щодо оцінки безпеки атомних станцій України. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 3. С. 58—63.
7. Сидоренко В.Л., Азаров С.І. Багатопараметрична модель зміни технічного стану складного комплексу «Новий безпечний конфайнмент – об'єкт «Укриття». *Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECО 19)*: зб. матер. IV міжнар. конф. (м. Славутич, 24–26 квітня 2019 р.). Чернівці, 2019. С. 221—227.

*Надійшла до редколегії: 08.07.2019*