

ОЦІНКА СТАНУ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ЗОНИ ПАТРУБКІВ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ ЕНЕРГОБЛОКУ 5 ЗАЕС, З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Продовження терміну експлуатації атомних електричних станцій України у понадпроектний період як і у більшості країн, які експлуатують ядерні енергоблоки, є прийнятною стратегією і здійснюється практично. У зв'язку з цим виникає потреба у проведенні перевірконого розрахунку основних елементів енергообладнання, що визначають ресурсні характеристики. Робота присвячена визначенню причин і механізмів старіння елементів біологічного захисту зони патрубків та розробці заходів з управління старінням біологічного захисту зони патрубків. Зроблена спроба розробки розрахункового обґрунтування залишкового ресурсу біологічного захисту зони патрубків, на підставі якого можна зробити висновок про можливість продовження терміну експлуатації біологічного захисту. Робота виконана шляхом адаптації результатів звітної документації, що стосується визначення ефективності та перепризначення терміну експлуатації біологічного захисту енергоблоків № 1-4 ЗАЕС. Виконана оцінка технічного стану елементів біологічного захисту на підставі даних показників потужності ефективної дози (ПЕД) гамма-випромінювання за даними вимірювань на штатних стаціонарних датчиках потужності дози в приміщенні ГА701 за десятирічний період експлуатації. При визначенні групи параметрів технічного стану, що визначають захист від нейтронного випромінювання в зоні патрубків, використано метод «довжин релаксації». Виконано рекурсивний аналіз зміни радіаційної обстановки на енергоблоці та прогнозувати зміну параметрів БЗ на короткостроковий та довгостроковий періоди. Результати виконаної оцінки технічного стану дозволяють рекомендувати продовження терміну експлуатації енергоблоку №5 Запорізької АЕС (у частині відповідності біологічного захисту зони патрубків реактора) на надпроектний період до 50 років.

Ключові слова: АЕС, біологічний захист, бетон, продовження терміну експлуатації, безпека АЕС.

Вступ.

Радіаційна обстановка в обслуговуваних приміщеннях атомної електричної станції, розташованих поблизу реактора, в основному визначається проникаючим гамма-випромінюванням і випромінюванням нейтронів з активної зони реактора. Щоб знизити інтенсивність випромінювання до рівня, що допускається нормами радіаційної безпеки, створюється біологічний захист, матеріали для якого підбирають спеціально, виходячи з технологічних вимог. Зазвичай використовують комбінацію декількох матеріалів, оскільки важко підібрати універсальний матеріал для всіх видів випромінювання.

Для уповільнення швидких нейтронів зазвичай використовуються речовини з малим атомним номером (графіт, звичайна і важка вода, пластмаси, парафін, поліетилен та ін.). Для поглинання теплових нейтронів зазвичай використовують спеціальні речовини – карбід бору, кадмій, борована сталь, бораль, бетон і ін. Гамма-випромінювання ефективно послаблюється речовинами, що мають великий атомний номер і високу густину (сталь, свинець, свинцеве скло та ін.).

Дослідження біологічного захисту (далі – БЗ) і визначення радіаційної обстановки проводяться на кожному головному блоці АЕС і, як правило, на всіх блоках першої черги кожної АЕС. Крім того, спеціально проводяться детальні дослідження полів іонізуючого випромінювання в біологічному захисті і за ним, що дозволяють перевірити нові, вдосконалені методики розрахунку і використовувати в них константи, що характеризують взаємодію випромінювання з матеріалами біологічного захисту.

Вивчення особливостей формування радіаційної обстановки при експлуатації енергоблоку № 5 Запорізької АЕС (далі – ЗАЕС) для її оцінки дозволить перевірити ефективність біологічного захисту реакторної установки від гамма-нейтронних полів.

Мета роботи.

Мета роботи полягає у тому, щоб розрахунковим методом обґрунтувати залишковий ресурс і можливості продовження терміну експлуатації біологічного захисту зони патрубків реакторної установки

енергоблоку №5 ЗАЕС. Розробити рекомендації з управління старінням для забезпечення надійної та безпечної експлуатації біологічного захисту енергоблоку у понадпроектний термін.

Матеріал і результати досліджень.

Робота виконана шляхом адаптації результатів звітної документації, що стосується визначення ефективності та перепризначення терміну експлуатації біологічного захисту енергоблоків № 1-4 ЗАЕС. Це пов'язано з наступним:

- енергоблоки ВВЕР-1000 ЗАЕС №1-5 однотипні (виконані за одним проектом);
- елементи БЗ цих енергоблоків експлуатувалися без виникнення аварійних ситуацій та інцидентів;
- склад матеріалів блоків БЗ вищезгаданих енергоблоків ЗАЕС практично однаковий.

Дослідження включає п'ять послідовних кроків:

Крок 1 – оцінка технічного стану елементів біологічного захисту;

Крок 2 – аналіз технічної документації;

Крок 3 – рекурсивний аналіз радіаційної обстановки на енергоблоці №5 ЗАЕС;

Крок 4 – розрахунок залишкового ресурсу та оцінка можливості продовження експлуатації елементів біологічного захисту енергоблоку №5 ЗАЕС;

Крок 5 – розробка рекомендованих заходів щодо управління старінням у період продовженого терміну експлуатації біологічного захисту.

На першому кроці встановлено параметри технічного стану. Залежно від конструкції, стану матеріалів біологічного захисту та умов експлуатації параметри, що визначають виконання функцій біологічного захисту, поділяються на такі групи:

- група параметрів технічного стану, що визначає конструктивну цілісність БЗ зони патрубків.

Основним параметром є об'ємна вага бетону елементів БЗ (діапазон густин від 2,1 т/м³ до 3,3 т/м³);

- група параметрів технічного стану, яка визначає ефективність захисту від нейтронного випромінювання. Основним параметром є концентрація ядер бору у матеріалі БЗ;

- група параметрів технічного стану БЗ, що визначає ефективність захисту від гамма-випромінювання.

Аналіз технічного стану проводиться на підставі даних показників потужності ефективної дози (ПЕД) гамма-випромінювання за даними вимірювань на штатних стаціонарних датчиках потужності дози в приміщенні ГА701 за десятирічний період експлуатації. Розрахунок значень рівнів ПЕД від активованого за рахунок взаємодії з нейтронами під час роботи реактора на потужності обладнання ґрунтується на оцінці величини значення тренду ПЕД за вирахуванням константи, що входить у формулу, яка описує лінійну інтерполяцію залежності ПЕД від часу.

При визначенні групи параметрів технічного стану, що визначають захист від нейтронного випромінювання в зоні патрубків, використовується метод «довжин релаксації», який визначається залежністю виду:

$$\phi(n+1) = \frac{\Phi_0}{4\pi d^2} \sum_{j=1}^n f_j \exp\left(-\sum_{i=1}^m \frac{\Delta d_{i,j}}{L_{i,j}}\right) \cdot p(E_{0,j})$$

де $\phi(n+1)$ – щільність потоку нейтронів після ослаблення в n шарах захисту;

Φ_0 – початкова щільність потоку нейтронів до взаємодії з ядрами захисту;

$\Delta d_{i,j}$ – товщина i -го шару захисту (см) для j -го енергетичного інтервалу;

$L_{i,j}$ – довжина релаксації в i -му шарі захисту для j -го енергетичного інтервалу;

m – кількість шарів захисту;

n – число енергетичних інтервалів;

$p(E_{0,j})$ – частка нейтронів джерела в j -му енергетичному інтервалі;

f – табличний коефіцієнт, що характеризує відхилення від експоненційної форми кривої ослаблення для різних матеріалів. Для нейтронів діапазону розподілу $f = 1$.

Довжина релаксації суміші матеріалів, що складається з легких і важких ядер, у разі потреби визначається за формулою:

$$\frac{1}{L} = \sum_k \frac{c_k}{L_k}$$

де c_k – об'ємні концентрації матеріалів, що входять в суміш.

Ослаблення щільності потоку нейтронів для обстежуваних виймальних блоків БЗ (далі – ВББЗ) визначається експериментальним шляхом для промислового джерела нейтронів ІБН-27 з наступними характеристиками:

- паспортний потік нейтронів – $4,97 \cdot 10^7$ см⁻²×імп./с;

- кількість розпадів – $12,5 \times 10^{11}$ Бк;

- потік теплових нейтронів – $1083 \text{ см}^{-2} \times \text{імп./с}$;
- потік швидких нейтронів – $2797 \text{ см}^{-2} \times \text{імп./с}$;
- потужність еквівалентної дози джерела – 2842 мкЗв/год ;
- відстань від джерела до поверхні ВББЗ зверненої до джерела – $0,5 \text{ м}$;
- потужність еквівалентної дози джерела з відривом $0,5 \text{ м}$ – 682 мкЗв/год ;
- використовуваний дозиметр – DMC 2000 GN.

Ослаблення щільності потоку нейтронів для обстежуваних ВББЗ визначається шляхом вимірювання щільності потоку нейтронів до ВББЗ (ϕ_0) і після ВББЗ ($\phi(n+1)$).

Коефіцієнт послаблення k визначається експериментальним шляхом за формулою:

$$k = \frac{\phi_0}{\phi(n+1)}$$

На підставі коефіцієнта ослаблення k , знайденого експериментальним шляхом визначається довжина релаксації для нейтронів заданого спектру з проведенням наступної кількісної оцінки борного поглиначя, що залишився з рівняння:

$$\frac{1}{L} = \frac{x}{L_B} + \frac{1-x}{L_C}$$

де L_B – довжина релаксації нейтронів у карбіді бору;

L_C – довжина релаксації нейтронів у суміші;

x – доля бору у суміші.

Кількість ядер бору, що вигоріли, для кожного ряду, що складається з блоків біологічного захисту, визначається за формулою:

$$N_{i,B} = \Phi_0 \cdot (1 - k_B) \cdot k_i$$

де Φ_0 – щільність потоку нейтронів на зовнішній стороні корпусу реактора.

Розрахунок значень рівнів ПЕД активаційного походження в зоні патрубків ґрунтується на оцінці величини виходу ядер основних продуктів активації за даними про щільність потоку нейтронів на корпусі реактора та величину ослаблення потоку нейтронів елементами біологічного захисту з урахуванням вигорання карбиду бору у блоці.

Також на цьому кроці було здійснено вибір та обґрунтування критерію успішності розрахункового обґрунтування продовження терміну експлуатації біологічного захисту зони патрубків.

Критерієм оцінки технічного стану БЗ є відповідність / невідповідність значень виміряних рівнів ПЕД у зоні патрубків, як інтегрального показника ефективності біологічного захисту зі значеннями граничних станів, встановлених вимогами технічної документації. Як критерій відповідності рівнів ПЕД активаційного походження в зоні патрубків вимогам технічної документації є не перевищення розрахункових значень рівнів ПЕД активаційного походження в зоні патрубків величини 10 мЗв/год . Метод визначення відповідності / невідповідності виміряних значень рівнів ПЕД значенням граничних станів, встановлених вимогами технічної документації, проілюстрований на рисунку 1.

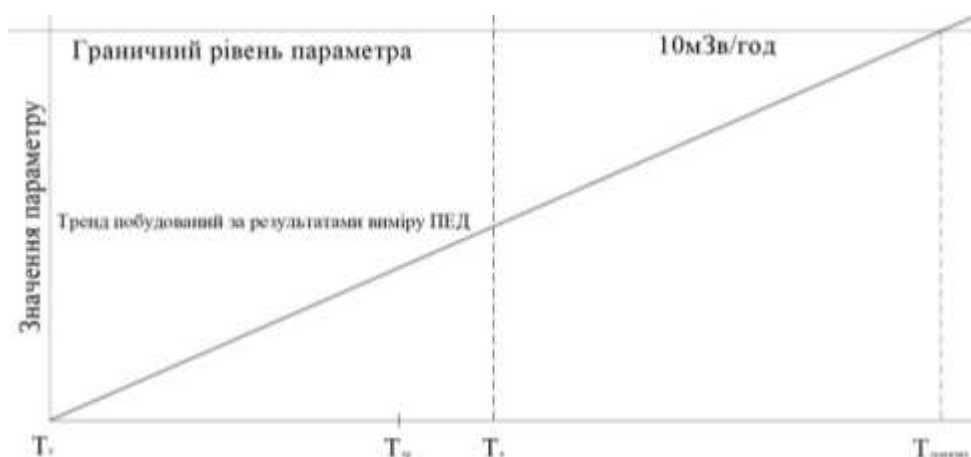


Рисунок 1 – Ілюстрація методу оцінки технічного стану БЗ на відповідність критерію

На другому кроці виконано аналіз проектної, виконавчої та експлуатаційної документації.

В результаті аналізу даних проектної, експлуатаційної документації та даних з експлуатації біологічного захисту реакторної установки енергоблока №5 встановлено, що в елементах біологічного захисту реакторної установки енергоблока №5 відсутні процеси старіння, які інтенсивно протікають.

За результатами аналізу технічної документації на елементи БЗ реактора енергоблока №5 ЗАЕС встановлено:

- конструктивна схема, особливості архітектурно-планувальних рішень, види використовуваних матеріалів конструкцій відповідають проєктним та нормативним вимогам;
- будівельно-монтажні роботи при будівництві виконані відповідно до проєктної та нормативної документації;
- усі зауваження та відхилення від вимог проєкту та нормативних документів були усунені під час будівництва;
- відмов внутрішніх конструкцій РВ №5 ЗАЕС та елементів біологічного захисту реактора №5 ЗАЕС не зафіксовано;
- регулярно проводиться контроль радіологічної обстановки на обладнанні та у приміщеннях блоку №5 ЗАЕС;
- у процесі експлуатації із встановленою періодичністю виконуються візуальні та інструментальні обстеження елементів біологічного захисту.

Таким чином, на підставі вивчення та аналізу технічної документації технічний стан елементів біологічного захисту зони патрубків реактора енергоблока №5 ЗАЕС можна класифікувати як працездатний / задовільний. Обсяг проаналізованої документації є достатнім для виконання наступних етапів робіт з оцінки технічного стану елементів біологічного захисту зони патрубків реактора енергоблока №5 ЗАЕС.

Для оцінки зміни стану БЗ за результатами ретроспективних вимірювань ПЕД на основному обладнанні ядерної установки (далі – ЯУ) та у приміщеннях гермооб'єму (далі – ГО) було виконано третій крок даної роботи – рекурсивний аналіз зміни радіаційної обстановки на енергоблоці № 5 ЗАЕС.

Рекурсивний (системний) аналіз зміни радіаційної обстановки на енергоблоці № 5 ЗАЕС виконано для оцінки ступеня деградації елементів біологічного захисту протягом періоду експлуатації, оцінки закономірності розвитку радіаційної обстановки на енергоблоці, та для прогнозу зміни параметрів БЗ на короткостроковий та довгостроковий періоди. Даний аналіз параметрів БЗ заснований на виявленні закономірності зміни ПЕД у зоні патрубків енергоблока, як інтегрального показника ефективності БЗ зони патрубків. Вихідними для проведення рекурсивного аналізу параметрів БЗ є відомості про динаміку зміни радіаційної обстановки на енергоблоці за попередні 10 років експлуатації.

На рисунках 3 та 4 (табл. 1, 2) наведено розраховані залежності ПЕД у часі в точках підведення «гарячого» та «холодного» колекторів у приміщеннях ГО на блоці № 5. Вимірювання, переважно, були виконані в однакових умовах, через три доби після зупинки енергоблоку (рис. 2).

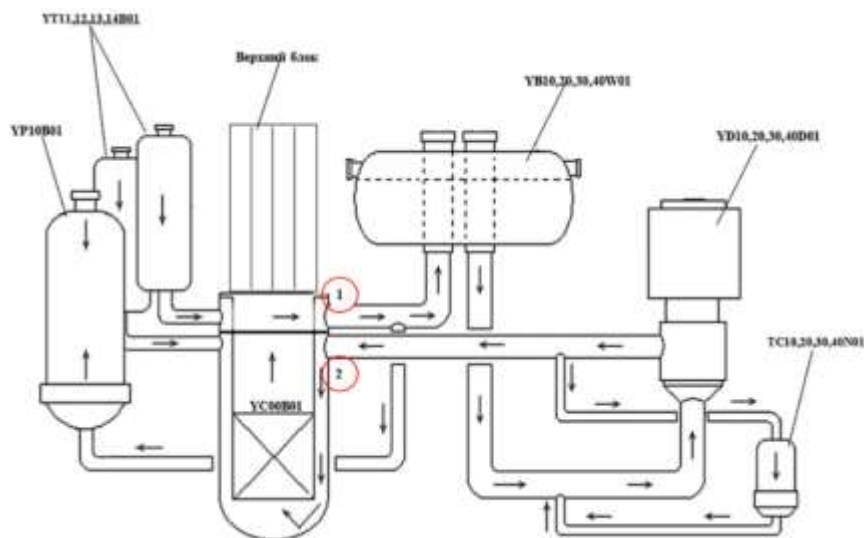


Рисунок 2 – Схема точок контрольних вимірювань ПЕД

Вимірювання ПЕД гамма-випромінювання виконувались на відстані 0,1 м від зовнішньої поверхні обладнання і трубопроводів на третю добу після виводу реакторної установки на нульову потужність.

Точки, в яких проводились вимірювання:

Точка 1 – в області приєднання патрубка «гарячої» нитки ГЦТ з реактором.

Точка 2 – в області приєднання патрубка «холодної» нитки ГЦТ з реактором.

Таблиця 1 – Динаміка зміни радіаційної обстановки енергоблоку №5 ЗАЕС для характерної точки 1

Період	Об'єкт контролю	Потужність дози (мкЗв/год)			
		Петля №1	Петля №2	Петля №3	Петля №4
ППР-2008	УС10В01	150	130	160	160
ППР-2009		350	300	355	355
ППР-2010		297	399	400	397
ППР-2011		145	146	147	147
ППР-2012		200	204	200	210
ППР-2013		234	230	231	210
ППР-2015		233	229	230	210
ППР-2016		430	480	470	505
ППР-2017		273	220	270	220
ППР-2018		295	400	402	400

Таблиця 2 – Динаміка зміни радіаційної обстановки енергоблоку №5 ЗАЕС для характерної точки 2

Період	Об'єкт контролю	Потужність дози (мкЗв/год)			
		Петля №1	Петля №2	Петля №3	Петля №4
ППР-2008	УС10В01	200	190	220	210
ППР-2009		270	258	310	286
ППР-2010		250	328	310	342
ППР-2011		140	129	120	139
ППР-2012		210	210	203	209
ППР-2013		250	220	240	230
ППР-2015		250	219	240	229
ППР-2016		300	309	305	337
ППР-2017		220	251	270	240
ППР-2018		249	358	320	377

На чисельні значення вимірюваних величин значною мірою впливали – ведення водно-хімічного режиму під час кампанії, герметичність ТВЗ під час зупину, час зняття картограми (початок та кінець ремонту), проведена чи ні дезактивація перед виміром, при вимірі зовнішньої радіаційної обстановки наявність (або відсутність) теплоізоляції.

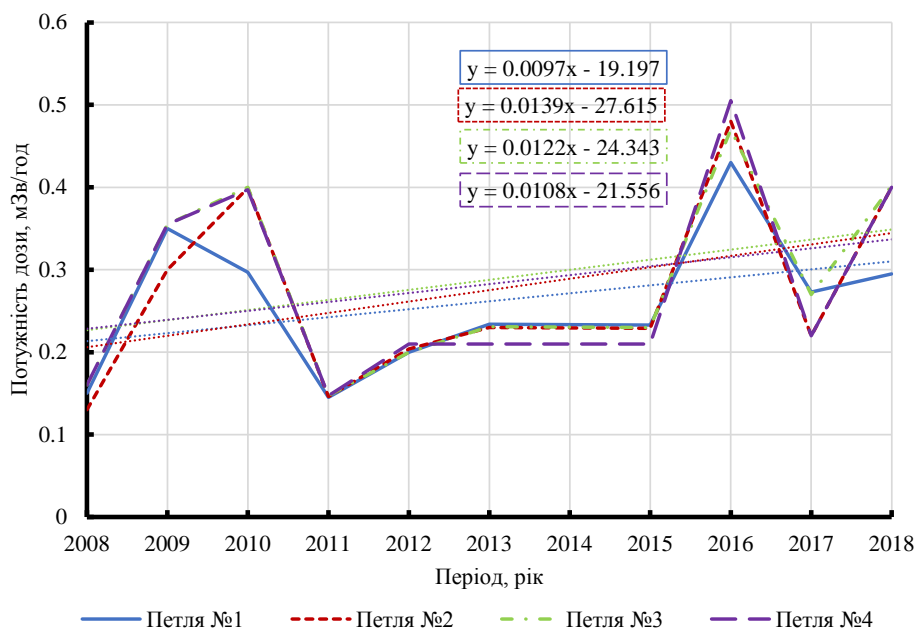


Рисунок 3 – Тренди зміни ПЕД в часі для характерної точки 1 (патрубки «гарячої» лінії)

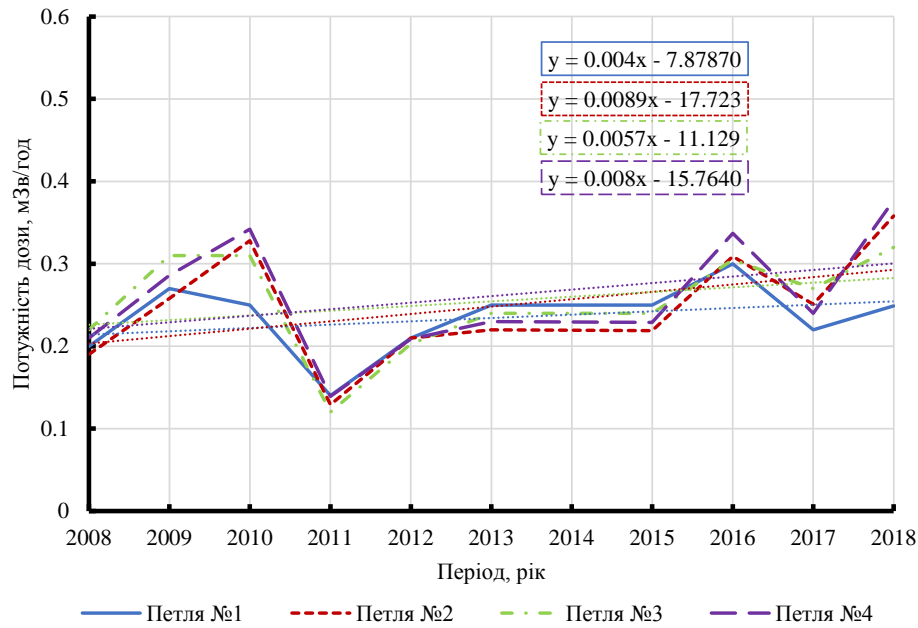


Рисунок 4 – Тренди зміни ПЕД в часі для характерної точки 2 (патрубки «холодної» лінії)

Аналіз графіків демонструє відсутність помітної тенденції зростання ПЕД у точках контролю у часі.

Зазначений факт підтверджує:

- відсутність помітної деградації БЗ на енергоблоці №5 за попередні десять років експлуатації;
- повільне зростання ПЕД за рахунок продуктів активації в обладнанні першого контуру;
- достатній рівень захисту від нейтронів.

Результати розрахунку залишкового ресурсу елементів БЗ зони патрубків реактора, які були отримані на четвертому кроці дослідження, представлені таблиці 3.

Швидкість вимірювання параметра змінна визначається графіками зміни ПЕД (рис. 3, 4).

За результатами розрахунку встановлено:

- для біологічного захисту швидкість зміни ПЕД за контрольними точками знаходиться в межах від 0,004 (мЗв/год)/рік до 0,014 (мЗв/год)/рік;
- елемент біологічного захисту із мінімальним ресурсом – точки петлі першого контуру.

З огляду на швидкість зміни ПЕД у контрольних точках залишковий ресурс біологічного захисту становить не менше 50 років.

Таблиця 3 – Результати розрахунку залишкового ресурсу елементів біологічного захисту зони патрубків

Елемент	Граничний параметр стану елемента	Оцінка зміни параметра елемента			Мінімальне значення ресурсу
		Фактичне середнє значення параметра	Швидкість зміни параметра (в рік)	Оцінка залишкового ресурсу	
Точка 1 зони патрубків					
Петля 1	ПЕД = 10 мЗв/год	0,26	0,010	Не менше 50 років	50 років
Петля 2		0,27	0,014	Не менше 50 років	50 років
Петля 3		0,29	0,012	Не менше 50 років	50 років
Петля 4		0,28	0,011	Не менше 50 років	50 років
Точка 2 зони патрубків					
Петля 1	ПЕД = 10 мЗв/год	0,23	0,004	Не менше 50 років	50 років
Петля 2		0,24	0,009	Не менше 50 років	50 років
Петля 3		0,25	0,006	Не менше 50 років	50 років
Петля 4		0,25	0,006	Не менше 50 років	50 років

На п'ятому кроці виконання робіт з оцінки технічного стану біологічного захисту реакторної установки енергоблока №5 ЗАЕС встановлено, що відмов цього обладнання через старіння не зафіксовано. Деградація параметрів, що визначають можливість експлуатації БЗ реакторної установки енергоблока №5 є незначною. Пропонується у надпроектний період експлуатації енергоблока №5 при

черговій переоцінці безпеки провести розрахункову оцінку залишкового ресурсу для встановлення закономірностей зміни визначальних параметрів. При цьому необхідно враховувати результати технічних оглядів елементів БЗ енергоблока №5, результати інструментальних досліджень міцнісних характеристик бетону та сталі шахти реактора і внутрішніх будівельних конструкцій ГО, результати вимірювань кратності поглинання нейтронного потоку виймальними блоками біологічного захисту енергоблоків №1-4 та розрахункового визначення лінійної довжини релаксації нейтронів для них.

Висновки. В результаті аналізу даних заводської, експлуатаційної документації та даних з експлуатації біологічного та теплового захисту реакторної установки енергоблока №5, а також на підставі результатів виконаного візуального огляду встановлено, що параметри технічного стану знаходяться в межах, встановлених технічною документацією, та не перевищують встановлених норм. Також встановлено, що для елементів біологічного захисту реакторної установки енергоблока №5 відсутні процеси старіння, що інтенсивно протікають. Розраховані залежності ПЕД у часі у точках підведення «гарячого» та «холодного» колекторів у приміщеннях ГО на блоці № 5 демонструє відсутність помітного тренду зростання ПЕД у точках контролю у часі. Численні дослідження показали, що флуктуації ПЕД у приміщеннях герметичного огороження реакторної установки енергоблока №5 мають випадковий характер і не є наслідком деградації матеріалів БЗ. На основі аналізу багаторічних спостережень за радіаційною обстановкою у приміщеннях ГО та облаштування РВ можна зробити висновок, що деградація матеріалів БЗ на енергоблоці № 5 Запорізької АЕС істотно не впливає на проектні характеристики БЗ.

Таким чином, результати виконаного аналізу підтверджують відсутність помітної деградації матеріалів БЗ обладнання реакторного відділення енергоблоку №5 та підтверджують відповідність біологічного захисту проектним характеристикам, у тому числі нормам радіаційної безпеки [1]. Технічний стан елементів біологічного захисту зони патрубків реактора енергоблока №5 ЗАЕС можна класифікувати як працездатний / задовільний. Результати виконаної оцінки технічного стану дозволяють рекомендувати продовження терміну експлуатації енергоблока №5 Запорізької АЕС (у частині відповідності біологічного захисту зони патрубків реактора) на надпроектний період до 50 років. Експлуатація елементів біологічного захисту зони патрубків реактора допускається у проектному режимі без обмежень.

Список використаної літератури

1. Норми радіаційної безпеки України; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення : затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000 р. № 116. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00> (дата звернення: 24.03.2022).
2. Про затвердження Загальних положень безпеки атомних станцій : затв. наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 19.11.2007 р. № 162. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08> (дата звернення: 24.03.2022).
3. Про затвердження Вимог до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій : затв. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України від 17.10.2016 р. № 175. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1449-16> (дата звернення: 24.03.2022).
4. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 08.02.1995 р. № 39/95-ВР. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95> (дата звернення: 24.03.2022).
5. Про затвердження Загальних вимог до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки : затв. наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 26.11.2004 р. № 181. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1587-04> (дата звернення: 24.03.2022).

V. Konshin¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID0000-0003-2591-3589

A. Aniushkina¹, master student, ORCID 0000-0003-0169-4713

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

REACTOR NOZZLES AREA BIOLOGICAL SHIELDING ASSESSMENT OF THE ZNPP UNIT 5 FOR THE PURPOSE OF EXTENDING SERVICE LIFE

Extension of the service life of nuclear power plants in Ukraine beyond the design life, as in most countries operating nuclear power units, is an accepted strategy and is being implemented in practice. In this regard, verification calculations are needed to determine the service life of the main elements of power equipment. The paper is devoted to determining the causes and mechanisms of the ageing of the biological protection elements of the spigot zone and developing measures to manage the ageing of the biological protection of the spigot zone. An attempt was made to develop a calculation justification for the residual life of the biological protection of the spigot zone, based on which it is possible to conclude that the life of the biological protection can be extended. The work was carried out by adapting the results of the reporting documentation related to determining the effectiveness and reassignment of the service life of biological protection of ZNPP Units 1-4. The technical condition of the biological protection elements was assessed based on the data of gamma radiation effective dose rate (EDR) based on measurements on standard stationary dose rate sensors in the GA701 room for a ten-year period of operation. The method of ‘relaxation lengths’ was used to determine the group of technical condition parameters that determine protection against neutron radiation in the area of the spigots. Recursive analysis of changes in the radiation situation at ZNPP Unit 5 was performed to assess the degree of degradation of biological protection elements during the operating period, which allowed to assess the regularities of the radiation situation development at the unit and to predict changes in the parameters of the BP for short- and long-term periods. The results of the technical condition assessment allow us to recommend extending the lifetime of Zaporizhzhia NPP Unit 5 (in terms of compliance with the biological protection of the spigot area of the reactor) for an over-design period of up to 50 years.

Keywords: NPP, biological protection, concrete, extension of service life, NPP safety.

References

1. Radiation safety standards of Ukraine; addition: Radiation protection from potential radiation sources: approved. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of Ukraine of July 12, 2000 № 116. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00> (access date: March 24, 2022).
2. On approval of the General safety provisions of nuclear power plants: approved. by the order of the State Committee for Nuclear Regulation of Ukraine dated 19.11.2007 № 162. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08> (appeal date: 24.03.2022).
3. On approval of the Requirements for seismic design and assessment of seismic safety of nuclear power units: approved. by the order of the State Inspectorate for Nuclear Regulation of Ukraine dated 17.10.2016 № 175. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1449-16> (access date: 24.03.2022).
4. On the use of nuclear energy and radiation safety: Law of Ukraine of 08.02.1995 № 39/95-VR. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95> (access date: 24.03.2022).
5. On approval of the General Requirements for Continuation of Operation of NPP Power Units in the Over-Project Term based on the Results of Periodic Safety Reevaluation: Approved. by the order of the State Committee for Nuclear Regulation of Ukraine dated November 26, 2004 № 181. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1587-04> (appeal date: March 24, 2022).

Надійшла: 29.10.2024

Received: 29.10.2024