

О. М. Пугач*, С. М. Пугач, В. Л. Дем'яохін, В. М. Буканов, О. В. Гриценко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: o.m.pugach@gmail.com

ПОХИБКА ВИЗНАЧЕННЯ ФЛЮЕНСУ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ НА ЗРАЗКИ-СВІДКИ МЕТАЛУ КОРПУСУ РЕАКТОРА ВВЕР

Дозиметричне забезпечення штатних програм контролю змін властивостей металу корпусу реакторів типу ВВЕР за допомогою зразків-свідків не дозволяє з достатньою точністю визначати умови їхнього опромінення. Для вирішення цієї задачі спеціалістами ІЯД НАН України розроблена та успішно застосовується спеціальна методика визначення умов опромінення зразків-свідків металу корпусу реактора. Розроблена методика базується на використанні методу Монте-Карло для розрахунку переносу нейтронів від активної зони реактора до місць розташування зразків-свідків. У цій роботі представлено подальший розвиток розробленої методики визначення умов опромінення зразків-свідків – основи розрахунково-експериментального визначення флюенсу швидких нейтронів на зразки-свідки та його похибки.

Ключові слова: флюенс швидких нейтронів, похибка, зразки-свідки, ВВЕР, програма розрахунку переносу нейтронів.

1. Вступ

Однією з основних умов забезпечення надійної та безпечної експлуатації корпусу ВВЕР є контроль стану його металу протягом усього строку служби. Важливим джерелом інформації про зміну властивостей металу корпусу реактора в умовах експлуатації енергоблоків АЕС є програма зразків-свідків (ЗС) [1, 2]. Разом з тим результати дослідження ЗС є представницькими тільки в тому випадку, якщо з необхідною точністю визначено умови опромінення зразків у реакторі.

Специфіка розташування ЗС у ВВЕР-1000 та ВВЕР-440, що експлуатуються на АЕС України, не дозволяє експериментальним шляхом вирішити цю задачу. Для цього застосовуються спеціальні методики, що базуються на розрахунках переносу нейтронів до місць розташування ЗС у реакторі. Такі методики було розроблено в ІЯД НАН України та успішно застосовано на АЕС України. Вони включають розрахунки пакетом програм MCSS [3] переносу нейтронів до місць розташування ЗС у реакторі та використання експериментальних даних, які можна отримати після вивантаження зразків для дослідження.

Ця робота присвячена розвитку цих методик з метою підвищення достовірності визначення флюенсу швидких нейтронів на ЗС.

2. Основні положення розрахунково-експериментального визначення флюенсів нейтронів на ЗС та їхніх похибок

Як відомо, активність продукту будь-якої реакції активації на момент кінця опромінення розраховується за формулою [4]

$$A = \lambda N \int_0^T dt \cdot e^{-\lambda(T-t)} \int_0^\infty dE_n \cdot \varphi(E_n, t) \cdot \sigma(E_n), \quad (1)$$

де λ – постійна розпаду продукту реакції активації; N – кількість ядер ізоотопу, що активується; T – повний час опромінення; $\varphi(E_n, t)$ – енергетично-часовий розподіл густини потоку нейтронів; $\sigma(E_n)$ – переріз реакції активації для нейтронів з енергією E_n .

Враховуючи дуже слабку зміну спектра швидких нейтронів з часом [5] у місцях розташування ЗС, вираз (1) можна записати як

$$A = \alpha \cdot N \cdot \Phi \cdot \sigma^{ef}, \quad (2)$$

де $\alpha = \frac{1 - e^{-\lambda T}}{T}$; $\Phi = \int_0^T dt \int_E^\infty dE_n \cdot \varphi(E_n, t)$ – флюенс нейтронів вище заданого умовного енергетичного порога E ;

© О. М. Пугач, С. М. Пугач, В. Л. Дем'яохін,
В. М. Буканов, О. В. Гриценко, 2021

$$\sigma^{ef} = \frac{\int_0^T dt \int_0^\infty dE_n \cdot \varphi(E_n, t) \cdot \sigma(E_n)}{\int_0^T dt \int_0^\infty dE_n \cdot \varphi(E_n, t)} - \text{ефективний}$$

переріз реакції активації для заданого умовного енергетичного порога E .

Рівняння (2) є справедливим як для реальних величин, так і для розрахункових (у подальшому для позначення перших буде використовуватись нижній індекс r , для других c). Тому

$$\frac{A_c}{A_r} = \frac{\alpha_c}{\alpha_r} \cdot \frac{N_c}{N_r} \cdot \frac{\Phi_c}{\Phi_r} \cdot \frac{\sigma_c^{ef}}{\sigma_r^{ef}}. \quad (3)$$

У математичній статистиці постулюється, що значення будь-яких величин, отриманих у спостереженнях (під цим терміном розуміється будь-який спосіб отримання значення, наприклад вимірювання або комп'ютерне моделювання), є оцінками їхніх реальних значень [6]. Враховуючи, що оцінкою значення реальної активності є експериментально отримане значення A_e , з виразу (3) отримуємо

$$\Phi_r = \left(\frac{A_e}{A_c} \right) \cdot \Phi_c. \quad (4)$$

Це співвідношення справедливе для будь-якої просторової точки. Очевидно, що в деякій області простору V відношення розрахункових і експериментально отриманих значень активностей повинні бути рівними в хорошому наближенні, а різниця обумовлена виключно похибками їхнього визначення. Принцип вибору цієї області буде наведено нижче.

Введемо середнє відношення експериментально отриманих і розрахункових значень активностей для вказаної області простору

$$R = \frac{1}{N_V} \sum_{(x,y,z) \in V} \frac{A_e(x,y,z)}{A_c(x,y,z)}, \quad (5)$$

де N_V – загальна кількість значень A_e в області V .

Таким чином, рівняння (4) для цієї області приймає вигляд

$$\Phi_r = R \cdot \Phi_c. \quad (6)$$

Використовуючи методи інтервального оцінювання замість точкового, з виразу (3) можна отримати формулу для розрахунку відносної похибки реального флюенсу нейтронів в області

простору V :

$$\frac{\Delta \Phi_r}{\Phi_r} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \Phi_c}{\Phi_c} \right)^2 + \left(\frac{\Delta A_e}{A_e} \right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \sigma^{ef}}{\sigma^{ef}} \right)^2}. \quad (7)$$

Розглянемо складові окремо.

Перше відношення $\frac{\Delta \Phi_c}{\Phi_c}$ – це статистична похибка розрахунку, значення якої, як правило, є єдиним для всіх просторових точок в області V .

Друге відношення $\frac{\Delta A_e}{A_e}$ – це відносна похибка вимірювань. Усі її складові описано в роботі [7]. Хоча в загальному випадку значення цього відношення індивідуальне для кожного нейтронно-активаційного детектора (НАД), що опромінюється, але в переважній більшості випадків відмінності невеликі, що дозволяє використовувати усереднене значення.

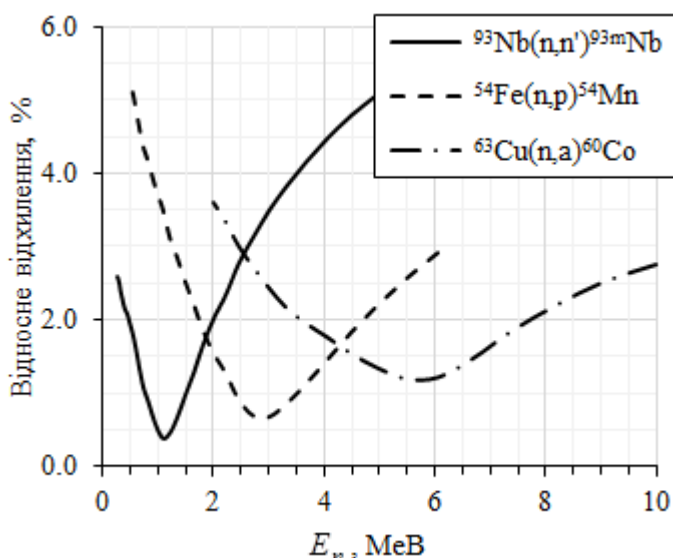
У третьому відношенні величина ΔR обчислюється для області простору V за стандартною формулою

$$\Delta R = \sqrt{\frac{1}{N_V - 1} \sum_{(x,y,z) \in V} \left(\frac{A_e(x,y,z)}{A_c(x,y,z)} - R \right)^2}. \quad (8)$$

Для знаходження ефективного перерізу σ^{ef} використовуються результати розрахунків переносу нейтронів для області V . Ця область вибирається таким чином, щоб були відносно невеликі відмінності нормованих розрахункових спектрів. Тому застосований метод можна розглядати як модифікацію методу, заснованого на мінімізації варіації ефективного перерізу при довільно малій варіації спектра, що задається [8]. Однак у даному випадку роль спектра, що задається, грає спектр, усереднений по всіх розрахункових детекторах в області V . З точки зору статистики набір цих спектрів можна інтерпретувати як випадкову вибірку, а усереднений спектр – як вибіркове середнє, що робить очевидним розрахунок як самого ефективного перерізу, так і його похибки $\Delta \sigma^{ef}$.

Із загальнофізичних міркувань очевидно, а математичне моделювання підтверджує, що останній доданок у виразі (7) найбільш істотно впливає на значення похибки реального флюенсу. При віддаленні енергетичного порога, що задається, від ефективного порога похибка зростає дуже швидко (рисунок).

Згідно з вимогами нормативних документів, що діють в атомно-енергетичному комплексі України, необхідне знання флюенсу з $E_n > 0,5$ MeV на ЗС металу корпусу реактора.



Залежність відносного відхилення ефективного перерізу від енергетичного порога, що задається, для різних реакцій, які використовуються в дозиметрії ЗС металу корпусу ВВЕР.

Дозиметричний супровід програми ЗС реалізований на ВВЕР-1000 і ВВЕР-440 АЕС України, включає опромінення НАД з ніобію, заліза та міді. Як видно з рисунка, фактично лише використання реакції активації ⁹³Nb(n, n')^{93m}Nb може дати адекватний результат при визначенні реального флюенсу з E_n > 0,5 MeV та його похибки.

Працездатність розробленої методики та зроблені теоретичні висновки було підтверджено при виконанні робіт по визначенню флюенсу нейтронів на ЗС металу корпусу ВВЕР-440.

3. Визначення флюенсу нейтронів на зразки-свідки, що опромінюються у ВВЕР-440

У рамках додаткової програми ЗС металу корпусу ВВЕР-440, що реалізується на енергоблоці № 1 Рівненської АЕС [9], гірлянди зі зразками розташовуються в каналах для ЗС на зовнішній поверхні шахти напроти активної зони.

Комплект ЗС ІА-ЛК-3, що включає дві гірлянди контейнерів 3-1 та 3-2, було завантажено у ВВЕР-440 енергоблока № 1 після проведення відновлювального відпалу його корпусу посередині 28-ї паливної кампанії, а вивантажено й

доставлено в ІЯД НАН України для випробувань після закінчення 32-ї кампанії.

За допомогою спеціальної методики, подібної до тієї, що використовується для визначення орієнтації контейнерних збірок у ВВЕР-1000 [10], було визначено орієнтацію кожного контейнера щодо активної зони. Отримані дані було враховано в розрахунковій моделі реакторної установки ВВЕР-440 енергоблока № 1 Рівненської АЕС.

Для дозиметричного супроводу в деяких контейнерах із ЗС було встановлено капсули з НАД з ніобію, заліза та міді. Після вивантаження комплексу ЗС ІА-ЛК-3 з реактора та розбирання контейнерів було виконано спектрометричні вимірювання опромінених НАД.

Результати порівняння експериментально отриманих значень питомих активностей продуктів реакції активації ⁹³Nb(n, n')^{93m}Nb, ⁵⁴Fe(n, p)⁵⁴Mn і ⁶³Cu(n, α)⁶⁰Co з розрахунковими (тобто значення R(V) і ΔR(V) – див. формули (5) і (8)) наведено в табл. 1, а отримані значення $\frac{\Delta\Phi_r^{0,5}}{\Phi_r^{0,5}}$ – у табл. 2.

Таблиця 1. Усереднені відношення експериментально отриманих і розрахункових питомих активностей продуктів реакцій активації НАД, що супроводжували опромінення ЗС у реакторі енергоблока № 1 Рівненської АЕС, та їхні середньоквадратичні відхилення

№ гірлянди	⁹³ Nb(n, n') ^{93m} Nb	⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co
1-1*	1,06 ± 0,13	0,96 ± 0,13	0,99 ± 0,10
3-1	1,01 ± 0,03	0,94 ± 0,04	1,02 ± 0,04
3-2	1,01 ± 0,02	0,94 ± 0,05	1,02 ± 0,05

* Експериментальні дані було отримано спеціалістами НДЦ «Курчатівський інститут» і представлено в роботі [11].

Таблиця 2. Відносні похибки (%) визначення реального флюенсу нейтронів, отриманих при використанні результатів вимірювання різних типів НАД, що супроводжували опромінення ЗС у реакторі енергоблока № 1 Рівненської АЕС

№ гірлянди	$^{93}\text{Nb}(n, n')^{93m}\text{Nb}$	$^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$	$^{63}\text{Cu}(n, \alpha)^{60}\text{Co}$
1-1*	15,3	22,3	22,4
3-1	9,7	18,2	20,3
3-2	9,3	18,4	20,5

* Експериментальні дані було отримано спеціалістами НДЦ «Курчатівський інститут» і представлено в роботі [11].

Істотно більший розкид відношення експериментальних і розрахункових даних для гірлянди 1-1 обумовлено тим, що фахівці НДЦ «Куратовський інститут» не змогли зорієнтувати контейнери із ЗС. У підсумку це призводить і до помітно більших значень похибки реального флюенсу.

Як видно з табл. 2, значення похибки визначення флюенсу при використанні результатів вимірювань продукту реакції активації $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93m}\text{Nb}$ істотно нижче, ніж при використанні результатів вимірювань продуктів реакцій активації $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ і $^{63}\text{Cu}(n, \alpha)^{60}\text{Co}$, що підтверджує висновки попереднього розділу.

4. Визначення флюенсу нейтронів на ЗС, що опромінюються у ВВЕР-1000

Дозиметричне забезпечення штатної програми ЗС, що реалізується на ВВЕР-1000 АЕС України, має низку істотних недоліків. Перш за все, в однорядних контейнерних збірках детектори взагалі відсутні, а у дворядних вони розміщені осторонь від робочих частин ЗС. Крім того, після вивантаження перших збірок виявилось, що детектори з ніобію зруйнувалися і стали практично непридатні для спектрометричних вимірювань. Фактично це означає, що адекватні експериментальні дані може бути отримано тільки спектрометричними вимірюваннями опромінених ЗС.

Практично виміряти в ЗС можна лише питому активність продукту реакції активації $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$. Однак, як уже зазначалося, безпосереднє використання результатів таких вимірювань для визначення реального флюенсу призводить до великих похибок.

Вирішити проблему можна шляхом використання коефіцієнта перерахунку k , що отримується на основі вимірних питомих активностей ^{93m}Nb і ^{54}Mn у НАД, які потрібно розташувати в тій же області реактора V . Розраховується він за формулою

$$k = \frac{1}{N_{\text{NAD}}} \sum_{(x,y,z) \in V} \left(\frac{A_e^{\text{Nb}}(x, y, z)}{A_c^{\text{Nb}}(x, y, z)} \right)_{\text{NAD}}, \quad (9)$$

де $\left(\frac{A_e^{\text{Nb}}(x, y, z)}{A_c^{\text{Nb}}(x, y, z)} \right)_{\text{NAD}}$ і $\left(\frac{A_e^{\text{Fe}}(x, y, z)}{A_c^{\text{Fe}}(x, y, z)} \right)_{\text{NAD}}$ – відношення експериментально отриманих і розрахункових питомих активностей продуктів реакцій активації $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93m}\text{Nb}$ і $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ відповідно; N_{NAD} – кількість пар НАД з ніобію та заліза в області V .

З урахуванням викладеного виразу (5) і (8) можна переписати як

$$\Phi_r^{0,5}(x, y, z) = k \cdot R^{\text{Fe}} \cdot \Phi_c^{0,5}(x, y, z), \quad (10)$$

$$\frac{\Delta \Phi_r^{0,5}}{\Phi_r^{0,5}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \Phi_c^{0,5}}{\Phi_c^{0,5}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta A_e^{\text{Fe}}}{A_e^{\text{Fe}}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta R^{\text{Fe}}}{R^{\text{Fe}}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \sigma^{\text{ep}}}{\sigma^{\text{ep}}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k} \right)^2}. \quad (11)$$

Таким чином, для визначення реального флюенсу нейтронів з $E_n > 0,5$ МеВ на ЗС металу корпусу ВВЕР-1000 та його похибки необхідне знання середнього відношення експериментально отриманих і розрахункових питомих активностей продуктів реакцій активації

$^{93}\text{Nb}(n, n')^{93m}\text{Nb}$ і $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ у місцях розташування ЗС.

Забезпечити отримання такої інформації може дозиметричний експеримент, тобто комплекс робіт по експериментальному визначенню характеристик поля нейтронів у місцях розташування

ЗС штатної програми. Такі експерименти вже проведено на енергоблоках № 1 Южно-Української АЕС, № 3 Рівненської АЕС та № 4 Запорізької АЕС.

Для прикладу в табл. 3 наведено значення k і Δk для різних рядів різних контейнерних збірок (M1, M2, M3), що опромінювалися в рамках дозиметричного експерименту на реакторі енергоблока № 3 Рівненської АЕС.

Таблиця 3. Усереднені значення коефіцієнтів перерахунку та їхні середньоквадратичні відхилення для різних рядів різних контейнерних збірок

Ряд	M1	M2	M3
Верхній	$1,24 \pm 0,08$	$1,15 \pm 0,04$	$1,13 \pm 0,06$
Нижній	$1,19 \pm 0,05$	$1,20 \pm 0,07$	$1,12 \pm 0,06$

Таблиця показує, що в разі, коли розрахунки виконувати програмою MCSS [3], усі контейнерні збірки можуть бути включені в область V, а замість різних коефіцієнтів перерахунку допустимо використовувати один: $1,17 \pm 0,07$. За нашими оцінками, у цьому випадку значення похибки реального флюенсу на ЗС металу корпусу ВВЕР-1000 буде приблизно 11 - 12 %.

При цьому слід зауважити, що питання рівності коефіцієнта перерахунку для різних збірок і різних реакторів залишається відкритим і вимагає проведення додаткових досліджень дозиметричних експериментів і комплексного аналізу всіх отриманих результатів.

5. Висновки

1. Розроблено та випробувано методику розрахунково-експериментального визначення реального флюенсу нейтронів з $E_n > 0,5$ MeV на ЗС металу корпусу ВВЕР-440 і ВВЕР-1000, а також його похибки.

2. При прямому використанні результатів вимірювань продуктів реакцій активації НАД, що супроводжують опромінення зразків-свідків, адекватне визначення реального флюенсу та його похибки можливо лише при використанні реакції $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93m}\text{Nb}$.

3. У разі, якщо вимірювання ніобію неможливе, пропонується використовувати результати вимірювань продукту реакції активації $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ безпосередньо із ЗС, а також коефіцієнт перерахунку, що отримується в дозиметричному експерименті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-008-89) (Москва: Госатомнадзор России, 2003) 167 с.
2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) (Москва: Энергоатомиздат, 1989) 525 с.
3. Пакет программ MCSS: Верификационный отчет. Ин-т ядерных исслед. НАН Украины. Инв. № 340/38-89 (К., 2012) 22 с.
4. В.И. Иванов. Курс дозиметрии. Учебник для вузов. 3-е изд. перераб. и доп. (Москва: Атомиздат, 1978) 392 с.
5. V.N. Bukanov et al. Comparison of Irradiation Conditions of VVER-1000 Reactor Pressure Vessel and Surveillance Specimens for Various Core Loadings. Reactor Dosimetry: State of the Art 2008. Proc. of the 13-th Intern. Symp. on Reactor Dosimetry, Netherlands, May 25 - 30, 2008 (World Scientific, 2009) p. 318.
6. В.А. Колемаев. Теория вероятностей и математическая статистика (Москва: Высш. школа, 1991) 400 с.
7. В.Н. Буканов и др. Обеспечение достоверности экспериментальных данных, получаемых при дозиметрических измерениях у внешней поверхности корпуса ВВЭР. Ядерна фізика та енергетика 2(24) (2008) 49.
8. I. Grundl, A. Usner. Spectral comparisons with high energy activation detectors. Nucl. Sci. Eng. 8(6) (1960) 598.
9. Комплект гирлянд с образцами-свидетелями для сопровождения эксплуатации корпуса реактора блока №1 Ривненской АЭС на период после восстановительного отжига. Формуляр 180.1/Д1050-2010 (2010).
10. СОУ 73.1-23724640-001-2011. Система якості. Дозиметрія зразків-свідків металу корпусу реактора ВВЕР-1000. Ін-т ядерних дослід. НАН України (К., 2011) 30 с.
11. Анализ результатов исследований. Выпуск заключительного отчета по исследованию ОС комплекта ІА-ЛК-1. Отчет по этапу 1.8 контракта № 806/08624243/00432 от 13.03.2012 г. НИЦ КИ - Инв. № 220-13/492 от 19.08.2013 г. (Москва, 2013) 80 с.

O. M. Pugach*, S. M. Pugach, V. L. Diemokhin, V. N. Bukanov, O. V. Grytsenko

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: o.m.pugach@gmail.com

UNCERTAINTY DETERMINATION OF FAST NEUTRON FLUENCE ONTO THE WWER PRESSURE VESSEL METAL SURVEILLANCE SPECIMENS

The standard surveillance programs of WWER reactors do not allow to measure the surveillance specimens irradiation conditions with the required accuracy. Therefore, the special methodology for the determination of the surveillance specimens irradiation conditions of the reactor pressure vessel metal has been developed by the specialists of the INR of NASU and is successfully applied. The developed methodology bases on the use of the Monte-Carlo code for neutron transport calculations to the surveillance specimens locations. The methodology improvement is described. The fundamentals of the calculation-experimental determination of the fast neutron fluences onto surveillance specimens and their uncertainties are presented.

Keywords: fast neutron fluence, uncertainty, surveillance specimens, WWER, the program of neutron transport calculation.

REFERENCES

1. Rules for the design and safe operation of equipment and pipelines of Nuclear Power Plants. PNAE (Rules and regulations in nuclear power) G-7-008-89 (Moskva: Gosatomnadzor Rossii, 2003) 167 p. (Rus)
2. Standards for strength calculation of equipment and pipelines of Nuclear Power Plants. PNAE (Rules and regulations in nuclear power) G-7-002-86 (Moskva: Energoatomizdat, 1989) 525 p. (Rus)
3. MCSS Software Package: Verification Report. Institute for Nuclear Research, NAS of Ukraine. Inventory No. 340/38 89 (Kyiv, 2012) 22 p. (Rus)
4. V.I. Ivanov. *Dosimetry course*. Textbook. 3-rd ed. revised (Moskva: Atomizdat, 1978) 392 p. (Rus)
5. V.N. Bukanov et al. Comparison of Irradiation Conditions of VVER-1000 Reactor Pressure Vessel and Surveillance Specimens for Various Core Loadings. Reactor Dosimetry: State of the Art 2008. *Proc. of the 13-th Intern. Symp. on Reactor Dosimetry, Netherlands, May 25 - 30, 2008* (World Scientific, 2009) p. 318.
6. V.A. Kolemaev. *Probability Theory and Mathematical Statistics* (Moskva: Vysshaya Shkola, 1991) 400 p. (Rus)
7. V.N. Bukanov et al. VVER ex-vessel dosimetry experimental data reliability support. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 2(24) (2008) 49. (Rus)
8. I. Grundl, A. Usner. Spectral comparisons with high energy activation detectors. *Nucl. Sci. Eng.* 8(6) (1960) 598.
9. A set of garlands with surveillance specimens to support the operation of the reactor vessel of Unit 1 of the Rivne NPP for the period after the recovery annealing. Form 180.1/D1050-2010 (2010). (Rus)
10. Standard of organization of Ukraine 73.1-23724640-001-2011. Quality system. Dosimetry of the surveillance specimens of the metal of the VVER-1000 reactor vessel. Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, 2011) 30 p. (Ukr)
11. Analysis of research results. Issue of the final report on the study of the OS set IA LC-1. Report on stage 1.8 of the contract No. 806/08624243/00432 dated 13.03.2012. SRC KI. Inventory No. 220-13/492 dated 19.08.2013. (Moskva, 2013) 80 p. (Rus)

Надійшла/Received 08.07.2020