

Ю. С. Гульчук, Л. І. Чирко\*

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: chyrko@kinr.kiev.ua

**СОРТУВАННЯ ПОЛОВИНОК ЗРАЗКІВ-СВІДКІВ ВІДНОСНО ЇХНЬОГО ПОЛОЖЕННЯ ПРИ ОПРОМІНЕННІ В РЕАКТОРІ ВВЕР-1000**

Представлено розроблену у відділі радіаційного матеріалознавства ІЯД НАН України методику поздовжнього радіометричного сканування зразків-свідків корпусів реакторів українських АЕС і застосування її спільно з методикою макроструктурного аналізу для сортування зразків відносно їхнього положення при опроміненні в реакторі ВВЕР-1000. Наведено конкретні приклади сортування зразків-свідків із використанням обох методик.

*Ключові слова:* корпус реактора ВВЕР-1000, зразки-свідки, реконструкція.

**1. Вступ**

Ресурс корпусу реактора (КР) визначає ресурс усього енергоблока ВВЕР-1000, оскільки не підлягає заміні.

Деградація властивостей конструкційних матеріалів КР визначається за допомогою штатної

програми зразків-свідків (ЗС). Конструкція штатних контейнерних збірок і розташування їх у реакторі ВВЕР-1000 визначають істотний градієнт нейтронного потоку по азимуту і висоті ЗС (рис. 1). За рахунок градієнта потоку швидких нейтронів розкид накопичених зразками флюенсів у комплекті досягає 80 %.

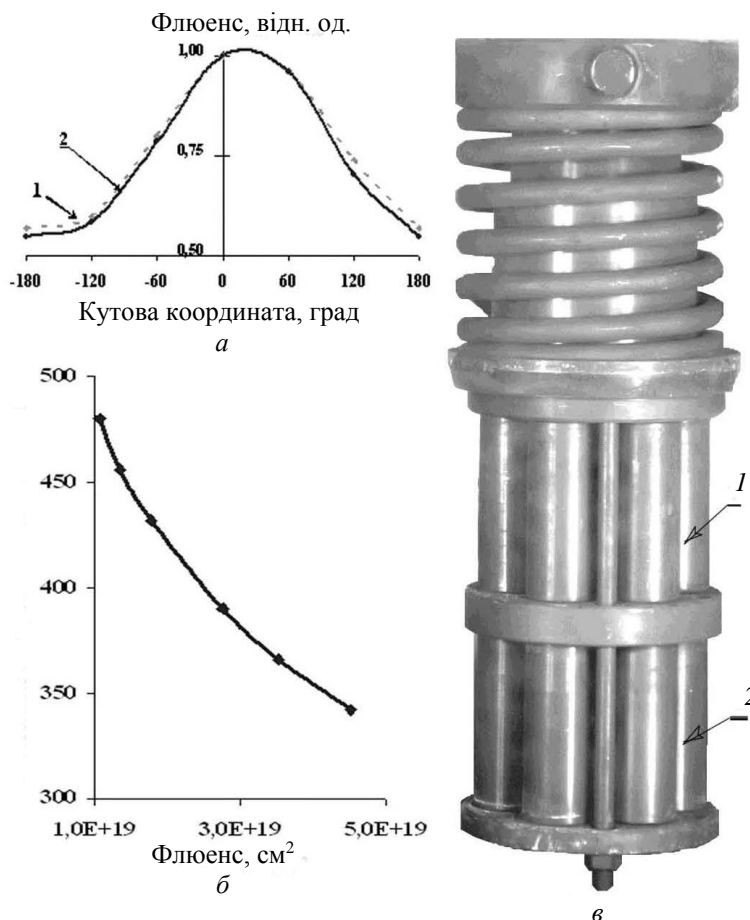


Рис. 1. Розподілення флюенсу швидких нейтронів по азимуту (а) і висоті (б) ЗС, розташованих у контейнерній збірці (в): 1 – верхній ряд, 2 – нижній ряд.

Реконструкція ЗС із половинок випробуваних ЗС шляхом приварювання кінцевих хвостовиків дозволяє підібрати групи ЗС із розкидом накопичених ними флюенсів не більше  $\pm 10\%$  [1, 2], це істотно підвищує достовірність оцінки радіаційного окрихчування металу КР і дає змогу точніше оцінити час їхньої безпечної роботи.

Для проведення реконструкції необхідне попереднє сортування половинок опромінених і випробуваних ЗС на верхню або нижню відносно їхнього положення в реакторі при опроміненні.

Для реконструкції ЗС використовуються половинки штатних ЗС на ударний вигин (тип "Ш") та на триточковий вигин (тип "С").

## 2. Методика сортування, принципова схема та опис установки

Сортування половинок ЗС на верхню або нижню відносно їхнього положення до активної зони реактора ґрунтується на:

різному рівні наведеної радіоактивності вздовж ЗС, обумовленої значним градієнтом потоку швидких ( $E \geq 0,5$  MeV) нейтронів по висоті та азимуту збірки;

різному хімічному складі ЗС основного металу і металу шва, який призводить до різного рівня наведеної радіоактивності цих матеріалів.

Рівень наведеної радіоактивності оцінюється за потужністю еквівалентної дози (ПЕД) від малих проб зразків. Малі проби виділяються за допомогою двоміліметрової щілини у свинцевій стіні (рис. 2). Вимірювання ПЕД проводилися повіреним в Укрметрстандарті дозиметром ДКГ-РМ1203М (діапазон енергій від 0,06 до 1,5 MeV) по грані ЗС із концентратором по фіксованих точках половинки ЗС. Відстань між малою пробою ЗС, яка вимірюється, і центром датчика дозиметра постійна і дорівнює  $\sim 100$  мм. Час вимірювання малої проби визначається часом стабілізації показань приладу (від 2 до 30 хв).

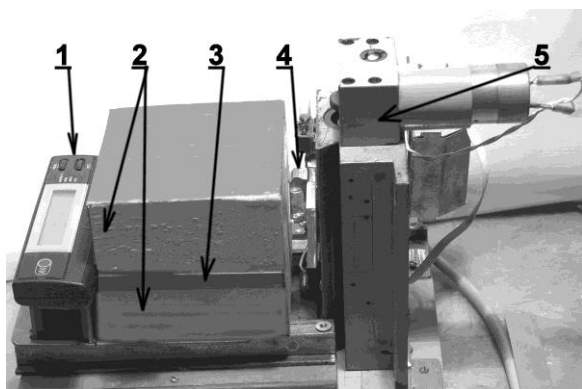


Рис. 2. Установка для сканування ПЕД уздовж половинки ЗС: 1 – дозиметр ДКГ-РМ1203М; 2 – свинцеві бруски  $100 \times 100 \times 43$  мм; 3 – хлорвініловий кутик 2 мм; 4 – половинка радіоактивного ЗС в оправці; 5 – система переміщення половинки ЗС.

Кожен штатний зразок маркований двічі: у лівого і правого кінців. Для визначення частини зразка (ліва або права) його треба покласти так, щоб цифри і букви маркування читалися правильно - зліва направо. Положення ЗС при опроміненні визначається за графічною залежністю значень ПЕД від позиції малої проби ЗС відносно лівого торця ЗС.

## 3. Сортування половинок ЗС основного металу

Для сортування половинок ЗС основного металу досить якісної оцінки (більше - менше) рівня наведеної радіоактивності різних кінців половинки (торець – зона руйнування). При цьому градієнт значень ПЕД уздовж половинки ЗС  $13 \div 20\%$ , а вздовж цілого зразка  $25 \div 37\%$ . Відносна похибка приладу ДКГ-РМ1203М  $10\%$ , абсолютна  $\pm 0,03$  мкЗв/год. Точки для вимірювання значень ПЕД уздовж половинки ЗС вибиралися так, щоб гарантовано вийти за межі зони деформації половинки ЗС і отворів для температурного датчика (рис. 3).

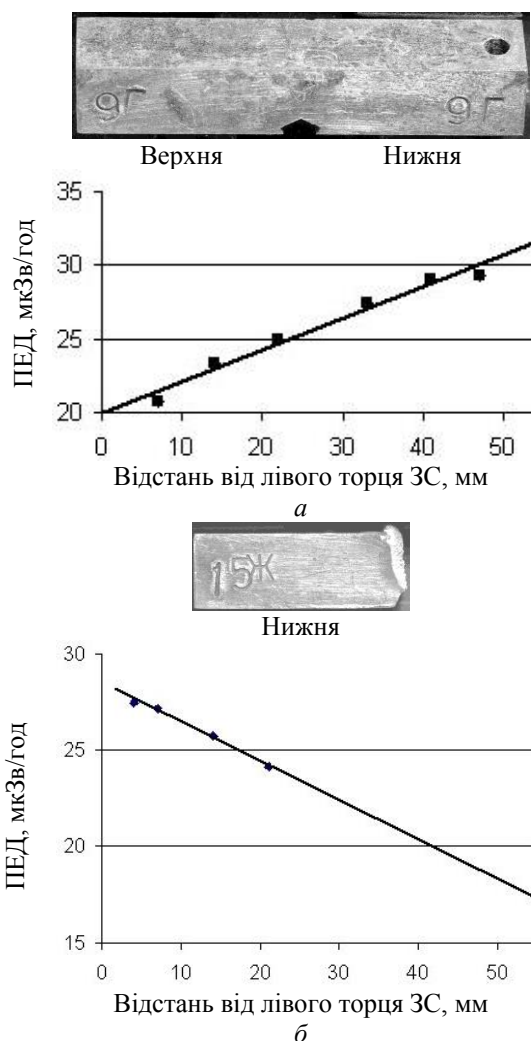


Рис. 3. Поверхня ЗС та відповідні графіки наведеної радіоактивності вздовж половинок ЗС основного металу КР: а – ЗС типу "С"; б – ліва половинка ЗС типу "Ш".

При такому виборі точок для вимірювання модель поздовжнього сканування ЗС спрощується до сканування ПЕД вздовж безперервної площини без зони деформації і отвору. Рівень наведеної радіоактивності уздовж ЗС добре описується лінійною функцією (див. рис. 3, а). Виходячи з цієї передумови, для ідентифікації обох половинок ЗС основного металу КР досить просканувати одну з них (рис. 3, б).

#### 4. Сортування половинок ЗС металу зварного шва

При виготовленні ЗС металу зварного шва заготовки під зразки типу "Ш" і "С" вирізаються з декількох шарів шва (рис. 4, шари Г, Д, Е, Ж).

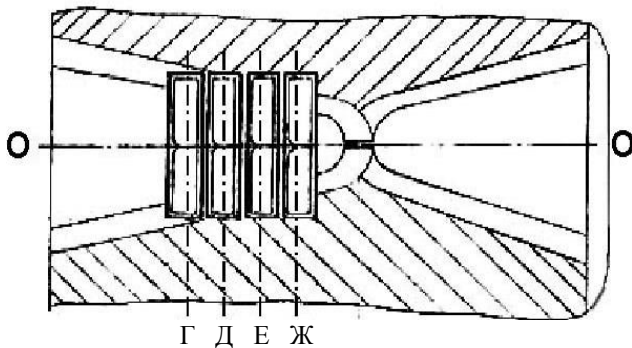


Рис. 4. Схема вирізки ЗС типу "Ш" і "С" з металу зварного шва.

Оскільки при вирізуванні заготовок площина концентратора О - О (див. рис. 4) не завжди точно збігається із центром зварного з'єднання, що призводить до різного об'єму шва в половинках ЗС, то необхідно визначати положення ліній сплавлення на половинках ЗС.

Для цього обидві половинки ЗС протравлюють у водному розчині соляної та азотної кислот різної концентрації [3]. Для зменшення корозії після травлення поверхня половинки ЗС промивається в дистильованій воді та спирті. При цьому видаляються залишки протравлювача і поверхня швидко висихає без окислення.

Положення лінії сплавлення, визначене зазначеним способом (рис. 5), дозволяє гарантовано виготовити з половинок ЗС вставку необхідної довжини. В ІЯД НАН України, як правило, для реконструкції ЗС усіх типів металів використовується довжина вставки 17 мм.

Для збільшення кількості реконструйованих зразків інколи необхідно використання половинок ЗС металу зони термічного впливу (ЗТВ) (рис. 6).

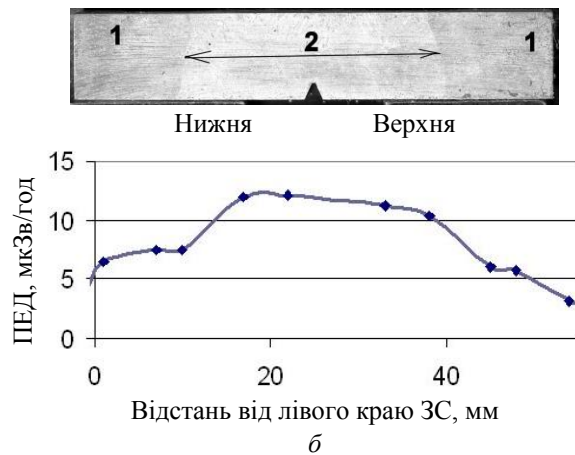
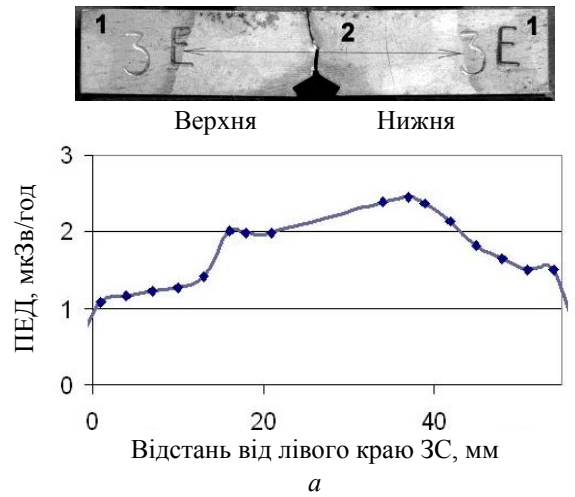


Рис. 5. Поверхня ЗС після макротравлення та відповідні графіки наведеної радіоактивності уздовж половинок ЗС металу шва КР: а – ЗС типу "С"4; б – ЗС типу "Ш"; 1 – основний метал, 2 – метал шва.

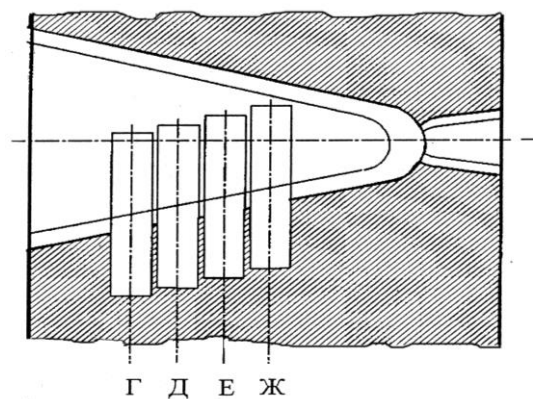


Рис. 6. Схема вирізки заготовок ЗС типу "Ш" і "С" з металу ЗТВ.

При цьому крім сортування на верхню і нижню половинки ЗС виникає необхідність сортування половинок за матеріалом - метал шва або основний метал. Для цього поряд з металографічним методом використовуються результати поздовжнього радіометричного сканування (рис. 7).

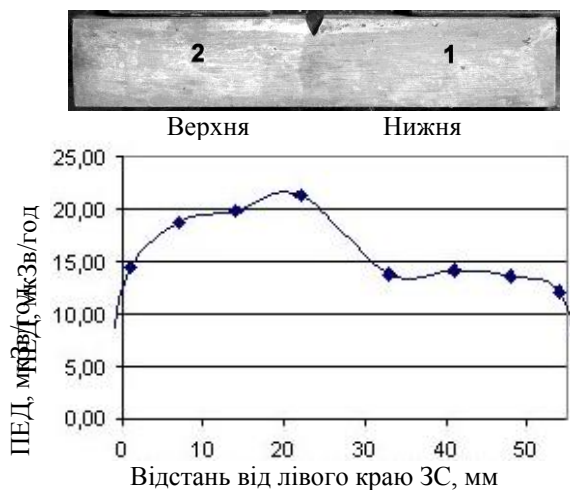


Рис. 7. Приклад зіставлення металографічного методу і поздовжнього радіометричного сканування на ЗС ЗТВ: 1 – основний метал, 2 – метал шва.

Необхідно відзначити, що при таких дослідженнях зрідка виявляється, що ЗС, марковані як ЗТВ, насправді є зразками зварного шва або напваки. Наприклад, у комплекті ЗЛ другого енергоблока Запорізької АЕС ЗС типу "Ш" з маркуванням, відповідним зварювальному шву (25Ж<sup>V</sup>), насправді виявився ЗС основного металу КР.

### 5. Висновки

1. Сортування складається з металографічного макроструктурного аналізу та поздовжнього радіометричного сканування половинок ЗС.
2. Сортування за розробленою методикою дає змогу достовірно визначити положення ЗС при опромінюванні в реакторі.
3. Методика сортування дозволяє використовувати для реконструкції половинки ЗС ЗТВ, що розширює можливості підбору груп однорідно опромінених ЗС.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ-7-008-89. Госатомэнергонадзор СССР (Москва: Энергоатомиздат, 1990) 168 с.
2. Типовая программа контроля свойств металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 по образцам-свидетелям ПМ-Т.0.03.120-08. Минэнерго Украины, ГП НАЭК "Энергоатом", ГКЯР Украины, введена в действие с 01.08.05 распоряжением НАЭК «Энергоатом» № 627р от 18.07.05 31.
3. Х. Вашуль. *Практическая металлография. Методы изготовления образцов*. Пер. с нем. (Москва: Металлургия, 1988) 320 с.

Ю. С. Гульчук, Л. И. Чирко\*

*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина*

\*Ответственный автор: chyрко@kinr.kiev.ua

### СОРТИРОВКА ПОЛОВИНОК ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ИХ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1000

Представлена разработанная в отделе радиационного материаловедения ИЯИ НАН Украины методика продольного радиометрического сканирования образцов-свидетелей корпусов реакторов украинских АЭС и применение ее совместно с методикой макроструктурного анализа для сортировки образцов относительно их положения при облучении в реакторе ВВЭР-1000. Приведены конкретные примеры сортировки образцов-свидетелей с использованием обеих методик.

*Ключевые слова:* корпус реактора ВВЭР-1000, образцы-свидетели, реконструкция.

Yu. S. Gulchuk, L. I. Chyrko\*

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

\*Corresponding author: chyрко@kinr.kiev.ua

### SORTING OF SURVEILLANCE SPECIMEN HALVES RELATIVE TO THEIR LOCATION IN THE VVER-1000 REACTOR UNDER IRRADIATION

The paper presents the procedure developed at the Department of Radiation Material Science of INR NAS of Ukraine for longitudinal radiometric scanning of surveillance specimens of the Ukrainian reactor vessels and its joint application with macrostructural analysis for sorting specimens relative to their location in VVER-1000 reactor under the irradiation. The specific examples of specimen sorting using both procedures are given.

*Keywords:* VVER-1000 reactor vessel, surveillance specimens, reconstruction.

## REFERENCES

1. Rules for the design and safe operation of equipment and pipelines of nuclear power plants ПНАЭ-7-008-89. USSR Gosatomenergondzor (Moskva: Energoatomizdat, 1990) 168 p. (Rus)
2. A typical program for controlling the properties of metal in VVER-1000 reactor vessels according to test specimens ПМ-Т.0.03.120-08. The Ministry of Energy of Ukraine, State Enterprise NNEGC “Energoatom”, SCNR of Ukraine, came into force on 08/01/05 by order of NNEGC “Energoatom” No. 627p dated 07/18/05 31. (Rus)
3. Н. Vashul. *Practical Metallography. Methods for Making Samples* (Moskva: Metallurgiya, 1988) 320 p. (Rus)

Надійшла 13.05.2019

Received 13.05.2019