

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВІРЧИХ ІНТЕРВАЛІВ РОЗКИДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ДЛЯ СТАЛЕЙ КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ТИПУ ВВЕР-1000

Л.І. Чирко, В.М. Ревка, Ю.В. Чайковський, М.Г. Голяк,
О.В. Тригубенко, О.В. Шкапяк

Інститут ядерних досліджень НАН України

Abstract. In this work a database of the surveillance specimens for VVER-1000 reactor pressure vessel based on Charpy impact test was created, that contains 1648 points. The equations of confidence intervals of the spread of experimental data was derived after analyzing the created database. On the basis of the obtained results, kcvtestogun computer program was developed and written for automation and optimization of calculations.

1. Вступ

Обов'язковою умовою безпечної експлуатації ядерної енергетичної установки з реактором корпусного типу є збереження цілісності корпусу реактора (КР) при нормальних умовах експлуатації, порушенні нормальних умов експлуатації та при будь-яких проектних аваріях. Забезпечення цієї умови вимагає контролю стану металу корпусу реактора протягом всього терміну його служби як в проектний так і понад проектний період експлуатації.

Контроль стану металу КР ВВЕР-1000 здійснюється неруйнівними і руйнівними методами. Згідно вимог нормативної [1, 2] і конструкторської документації для контролю властивостей металу КР руйнівними методами реалізується програма зразків-свідків (ЗС). Відповідно до цієї програми всередину реактора перед його введенням в експлуатацію встановлюються ЗС, виготовлені з основного металу (ОМ), зварного шву (ЗШ) і металу зони термічного впливу (ЗТВ).

З метою визначення фактичних змін механічних властивостей металу КР (границі текучості, відносного видовження, відносного звуження) і характеристик опору крихкому руйнуванню (критичної температури крихкості, в'язкості руйнування) ЗС періодично витягують з реактора і досліджують.

Метою проведення даної роботи є систематизація експериментальних даних ударної в'язкості від температури для сталей корпусів реакторів типу ВВЕР-1000, а також, на основі аналізу створеної бази даних, визначення довірчих інтервалів їх розкиду.

Необхідність проведення такої роботи обумовлена тим, що при дослідженні зразків-свідків на ударний вигин, у зв'язку із значним розкидом експериментальних даних, інколи виникає питання: чи та, чи інша точка дійсно є розкидом, чи, можливо, викидом експериментальних даних. Адже саме ці дані є ключовими для визначення та обґрунтування терміну безпечної експлуатації корпусу атомного реактора, що є критичним елементом блоку атомної електростанції (АЕС).

2. Аналіз останніх публікацій.

На сьогодні в ряді країн іде процес систематизації експериментальних даних випробувань на ударну в'язкість матеріалів корпусів реакторів типу ВВЕР-1000. Проте питання розкиду даних залежності ударної в'язкості від температури залишається відкритим, що вносить додаткову невизначеність в обґрунтування ресурсу безпечної експлуатації нині діючих АЕС.

3. Ціль та задачі досліджень.

Для досягнення поставленої мети передбачається розробити в середовищі Matlab спочатку першу комп'ютерну програму, яка створить базу експериментальних даних

зразків-свідків на ударний вигин. Це дасть можливість систематизувати експериментальні дані ударної в'язкості від температури для сталей корпусів реакторів типу ВВЕР-1000. В результаті буде отримано базу даних зразків-свідків на ударний вигин.

На основі аналізу створеної бази даних, отримані дані буде зведено в одну систему координат та проаналізовано їх розкид на верхньому шельфі, нижньому шельфі та в перехідній області. В результаті передбачається отримання рівнянь верхньої та нижньої огинаючих розкиду експериментальних даних кривої ударної в'язкості від температури.

Далі планується розробити другу комп'ютерну програму для зручного обрахунку експериментальних даних, яка на основі даних ударної в'язкості від температури буде будувати відповідний графік, середню лінію регресії, огинаючі розкиду експериментальних даних, а також визначати температуру крихко-в'язкого переходу. Це допоможе у визначенні та обґрунтуванні ресурсу безпечної експлуатації корпусу атомного реактора, що є критичним елементом блоку атомної електростанції (АЕС).

4. Створення бази даних результатів випробувань на ударний вигин.

База даних створювалася на основі даних випробувань зразків-свідків, отриманих за допомогою експериментального та допоміжного обладнання, яке знаходиться у лабораторії «гарячих» камер Інституту ядерних досліджень НАН України. Лабораторія призначена для дистанційної роботи з радіоактивними матеріалами, що дозволяє проводити випробування опромінених зразків, вивантажених з реактора. Серед основного експериментального обладнання лабораторії є маятниковий копер КМД-30 та випробувальний комплекс Instron 8862 з програмним забезпеченням Bluehill 2 для обробки результатів випробувань.

Для систематизації результатів випробувань зразків-свідків на ударний вигин в середовищі Matlab було розроблено комп'ютерну програму `kcvtst1base` [3]. Потім було оброблено цією програмою експериментальні дані досліджень зразків-свідків. В результаті - отримано базу даних зразків-свідків на ударний вигин, що містить 1648 точок.

5. Аналіз отриманої бази даних та визначення рівнянь їх розкиду.

Залежність ударної в'язкості від температури має вигляд (1):

$$KCV = A \cdot \left(1 + th \left[\frac{T - T_0}{C} \right] \right) \quad (1)$$

де A – середнє значення KCV між верхнім KCV_{max} і нижнім KCV_{min} значеннями ударної в'язкості; T_0 – температура, що відповідає значенню; A ; C – емпірична константа.

В рамках роботи, було проведено розрахунки результатів випробувань зразків-свідків для металів корпусів реакторів типу ВВЕР-1000 та їх зведення в одну таблицю, а саме експериментальних даних ударної в'язкості від температури, що обумовило значний масив даних. Далі було зведено ці дані в одну систему координат (рис.1) та проведено аналіз їх розкиду на верхньому шельфі, нижньому шельфі та в перехідній області.

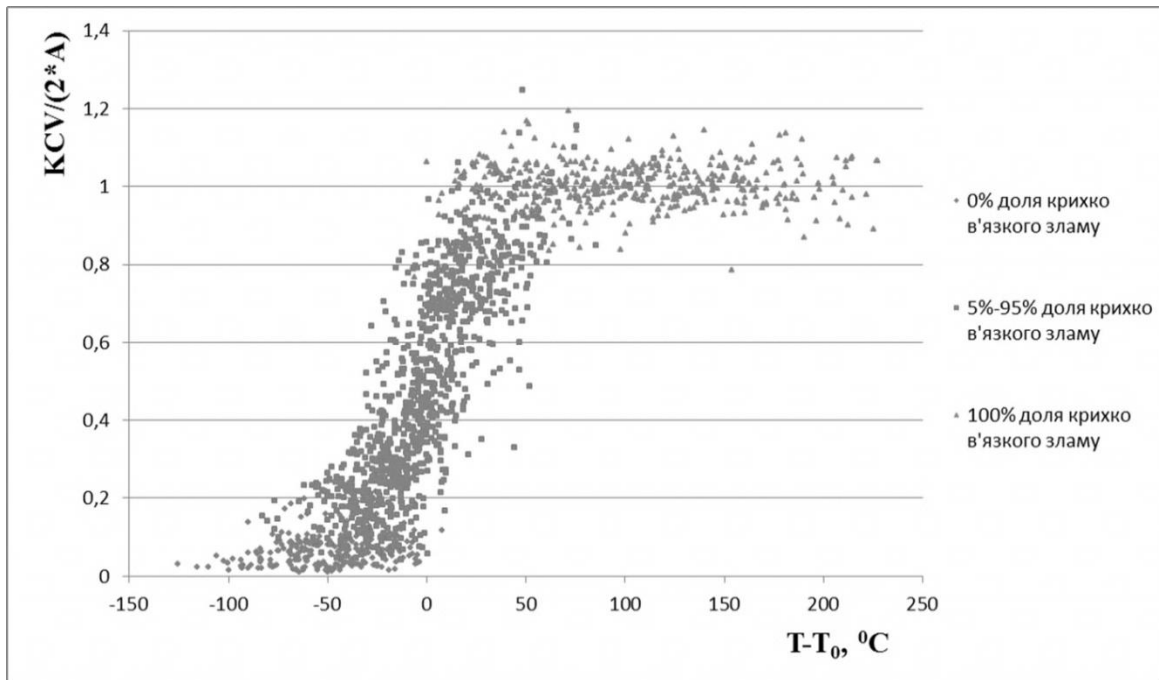


Рис.1 Графік експериментальних даних ударної в'язкості від температури зведених в одну відносну систему координат.

В результаті було отримано рівняння верхньої 95% (2) та нижньої 5% (3) огинаючих розкиду експериментальних даних кривої ударної в'язкості від температури [4], які мають вигляд:

$$KCV_{(0,95)} = A \cdot \left(1,28 + 0,96 \cdot th \left[\frac{T - T_0 + 26}{0,96 \cdot C} \right] \right) \quad (2)$$

$$KCV_{(0,05)} = A \cdot \left(0,72 + 1,04 \cdot th \left[\frac{T - T_0 - 26}{1,04 \cdot C} \right] \right) \quad (3)$$

На основі отриманих результатів в середовищі Matlab була розроблена та написана комп'ютерна програма kcvtestogun (рис.2) для автоматизації та оптимізації розрахунків $T_{ки}$ або $T_{кF}$ та побудови графіка з даними залежності ударної в'язкості від температури, середньою лінією регресії та огинаючими розкиду експериментальних даних.

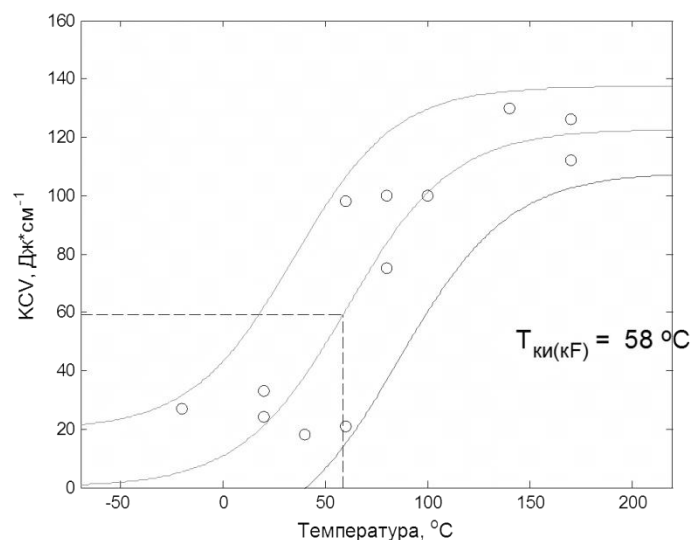


Рис.2 Графік побудований за допомогою програми kcvtestogun

6. Висновки.

В ході проведення роботи було створено базу даних на основі випробувань зразків-свідків на ударний вигин, яка містить 1648 точок. Проведено аналіз отриманої

бази даних та запропоновано методику визначення довірчих інтервалів розкиду експериментальних даних ударної в'язкості від температури. На основі запропонованої методики виведено рівняння верхньої (95%) та нижньої (5%) огинаючих розкиду експериментальних даних.

Розроблено програму *kcvttestogun*, яка дозволила: зменшити часові витрати для побудови залежності ударної в'язкості від температури, 5% та 95% огинаючих, обрахунку $T_{ки}$ або $T_{кF}$, а також відкрити нові можливості для швидкого обрахунку великої кількості однотипних даних з використанням різних методик при подальшому удосконаленні алгоритму та тіла програми.

Література

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-008-89): руководство. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 169 с.
2. Типовая программа контроля свойств металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 по образцам-свидетелям (ПМ-Т.0.03.120-08) / Министерство энергетики и угольной промышленности Украины ГП НАЭК "Энергоатом". – К., 2008. – 36 с.
3. Дьяконов В. П. MATLAB 7.*/R2006/R2007: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 768 с. ISBN 978-5-94074-424-5
4. О. В. Шкапяк, Л. І. Чирко, В. М. Ревка, Ю. В. Чайковський, М. Г. Голяк, О. В. Тригубенко. Розробка методики для визначення довірчих інтервалів розкиду експериментальних даних ударної в'язкості від температури та її апробація.// Тези доповідей XXVI Щорічної наукової конференції ІЯД НАНУ, Київ, Україна, 8 - 12 квітня 2019 р. – Київ, 2019. – С.110.