

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРАХУНКУ КРИТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ НА ОСНОВІ ДАНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ

Л.І. Чирко; О.В. Шкапяк

Інститут ядерних досліджень НАН України

**Abstract.** In this work we described development of an algorithm and computer program for calculation automation and optimization of critical temperature of brittleness based on impact toughness on temperature dependence.

Easy-to-use software was created in the course of work. It allowed to reduce an expenses of time in the calculation  $T_{KI}$  or  $T_{KF}$ .

**Вступ.** Метою представленої роботи є аналіз підходу ПНАЕ-Г-7-002-86 [1] до побудови залежності  $KCV$  від  $T$  та побудова алгоритму для подальшого написання комп'ютерної програми. Необхідність проведення такої роботи обумовлена тим, що досить багато часу витрачається не на сам аналіз кінцевих результатів випробувань, а на одні і ті ж операції, що постійно повторюються при обрахунку проміжних дій.

За нині діючим в Україні нормативним документом ПНАЕ-Г-7-002-86 [1] обрахунок критичної температури крихкості здійснюється за наступною схемою.

Залежність ударної в'язкості від температури має вигляд:

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

де  $A$  – середнє значення  $KCV$  між верхнім  $KCV_{max}$  і нижнім  $KCV_{min}$  значеннями ударної в'язкості;  $B = (KCV_{max} - KCV_{min}) / 2$ ;  $T_0$  – температура, при якій значення ударної в'язкості залежності (1) рівне  $A$ ;  $C$  – емпірична константа.

Значення  $C$  і  $T_0$  визначають обробкою експериментальних даних методом найменших квадратів. На графік ударна в'язкість ( $KCV$ ) від температури випробування ( $T_{випр}$ ) наносять експериментальні значення ударної в'язкості для кожного з випробуваних зразків. Отримані за наведеним вище рівнянням графіки є вихідною інформацією для визначення критичної температури крихкості.

За відомим значенням межі плинності матеріалу при температурі  $20^\circ C$  в початковому стані (при визначенні значення  $T_{KI}$ ) або після опромінення (при визначенні значення  $T_{KF}$ ) відповідно до табл. П2.1 [1], вибирається критеріальне значення ударної в'язкості  $KCV_1$ .

На графіку  $KCV(T_{випр})$  на осі ординат відкладається значення  $KCV_1$ . Через отриману точку проводиться лінія, паралельна осі абсцис, до перетину з кривою ударної в'язкості. Температура, що відповідає точці перетину, позначається як  $T_1$ .

Потім на осі ординат відкладається значення  $1,5(KCV_1)$ . Через отриману точку проводиться лінія, паралельна осі абсцис, до перетину з кривою ударної в'язкості. Температура, що відповідає точці перетину, позначається як  $T_2$ .

Якщо різниця температур  $T_2 - T_1$  виявиться менше  $30^\circ C$ , то температура  $T_{KI}$  або  $T_{KF}$  (для вихідного та опроміненого станів відповідно) набуває значення  $T_1$ . Якщо ж різниця виявиться більше  $30^\circ C$ , то температура  $T_{KI}$  або  $T_{KF}$  набуває значення  $T_2 - 30^\circ C$ .

**Результати дослідження.** Відповідно до вище написаного було розроблено алгоритм для обрахунку температури крихко-в'язкого переходу на основі даних залежностей ударної в'язкості від температури (рис.1).

Суть алгоритму наступна:

Крок перший – введення результатів експерименту, а саме температури та ударної в'язкості для групи зразків.

Крок другий – обрахунок коефіцієнтів регресії формули (1), коефіцієнт  $A$  визначається як середнє значення  $KCV$  між верхнім  $KCV_{max}$  і нижнім  $KCV_{min}$  значеннями

ударної в'язкості, коефіцієнт  $B = (KCV_{max} - KCV_{min}) / 2$ , а коефіцієнти  $C$  та  $T_0$  обраховуються по методу найменших квадратів [2].

Крок третій – введення критеріального рівня  $(KCV)_1$ .

Крок четвертий – обрахунок значення температури  $T_1$ , що відповідає значенню ударної в'язкості  $(KCV)_1$  за відомими коефіцієнтами регресії  $A, B, C, T_0$  за формулою (1). Після цього іде обрахунок  $1,5 \cdot (KCV)_1$ . Далі за відомими  $1,5 \cdot (KCV)_1$  та коефіцієнтами регресії  $A, B, C, T_0$  за формулою (1) визначаємо  $T_2$ .

Крок п'ятий – якщо різниця температур  $T_2 - T_1$  виявиться меншою  $30^\circ C$ , то температура  $T_{ки}$  або  $T_{кф}$  (для вихідного та опроміненого станів відповідно) набуває значення  $T_1$ . Якщо ж різниця виявиться більше  $30^\circ C$ , то температура  $T_{ки}$  або  $T_{кф}$  набуває значення  $T_2 - 30^\circ C$ .

Крок шостий – отримання значення температури  $T_{ки}$  або  $T_{кф}$ , а також відповідного графіка, які ідуть у звіт.

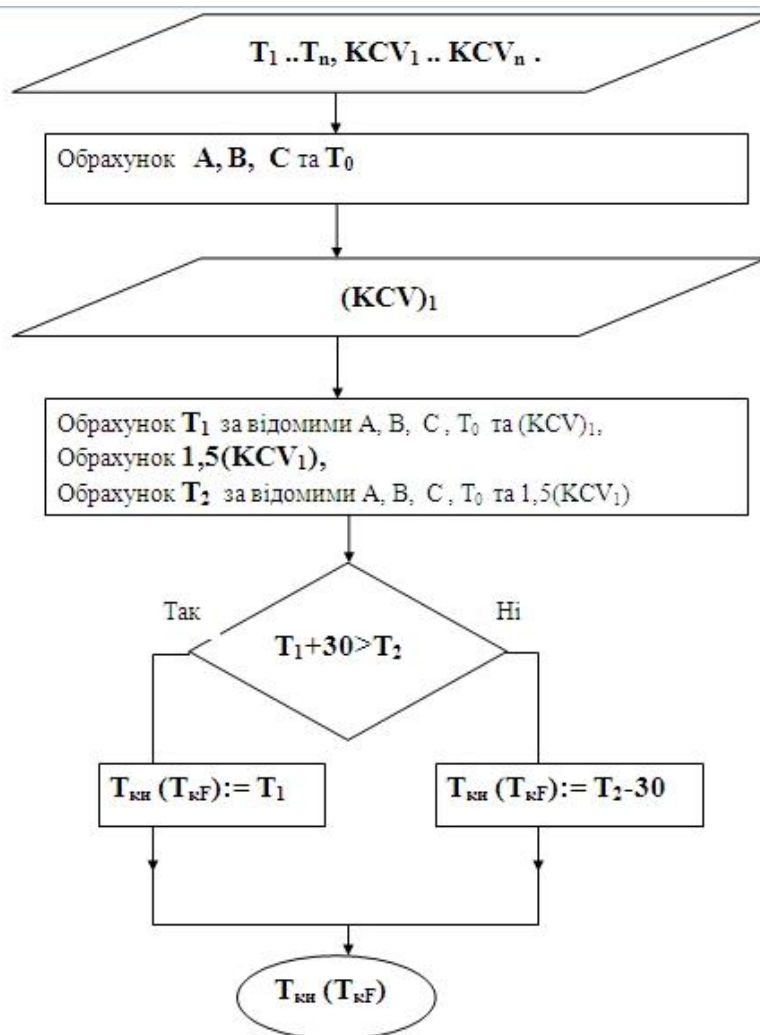


Рис.1 Алгоритм для обрахунку критичної температури крихкості

Для реалізації розробленого алгоритму було використано пакет програм для числового аналізу MATLAB R2013b, в середовищі якого створено спеціальну функцію `kcvtest` для обрахунку температури крихко-в'язкого переходу.

Робота програми складається з трьох етапів. На першому з них треба заповнити дві таблиці, одна з яких містить температуру випробувань та ударну в'язкість (табл. 1), а друга значення верхнього шельфу ( $KCV_{max}$ ), нижнього шельфу ( $KCV_{min}$ ) і критеріального рівня  $(KCV)_1$  (табл. 2). Слід відзначити, що в роботі програми передбачено автоматичне визначення верхнього шельфу ( $KCV_{max}$ ). Цифра 0, введена як значення верхнього шельфу ( $KCV_{max}$ ), – це умова його автоматичного обрахунку при введених в третю колонку табл. 1 значень долі в'язкого зламу для кожного зразка.

Таблиця 1. Масив даних з температури випробувань, ударної в'язкості та долі в'язкого зламу, який використовує програма kcvtest

Температура випробувань, T, °C	Ударна в'язкість, KCV, Дж*см <sup>-2</sup>	Доля в'язкого зламу, φ, %
20	106	40
0	95	20
-20	76	10
-40	45	5
-20	106	25
100	239	100
100	237	100
20	180	70
-40	23	0
140	226	100
60	192	90
-60	45	0

Таблиця 2. Масив даних з верхнього шельфу, нижнього шельфу та критеріального рівня (KCV)<sub>1</sub>, який використовує програма kcvtest

Верхній шельф, (KCV <sub>max</sub> ), Дж*см <sup>-2</sup>	Нижній шельф, (KCV <sub>min</sub> ), Дж*см <sup>-2</sup>	Критеріальний рівень, (KCV) <sub>1</sub> , Дж*см <sup>-2</sup>
234	0	59

На другому етапі роботи програма видає таблицю з вихідними проміжними даними (табл. 3), а саме: коефіцієнти регресії (1), та температура крихко-в'язкого переходу.

Третій етап роботи програми - це побудова графіка залежності ударної в'язкості від температури (рис.2).

Таблиця 3. Масив вихідних даних роботи програми kcvtest

Коефіцієнт регресії, A, Дж*см <sup>-2</sup>	Коефіцієнт регресії, B, Дж*см <sup>-2</sup>	Коефіцієнт регресії, T <sub>0</sub> , °C	Коефіцієнт регресії, C, °C	Температура крихкості, T <sub>кп</sub> (T <sub>кф</sub> ), °C
117,000	117,000	4,093	64,769	-31

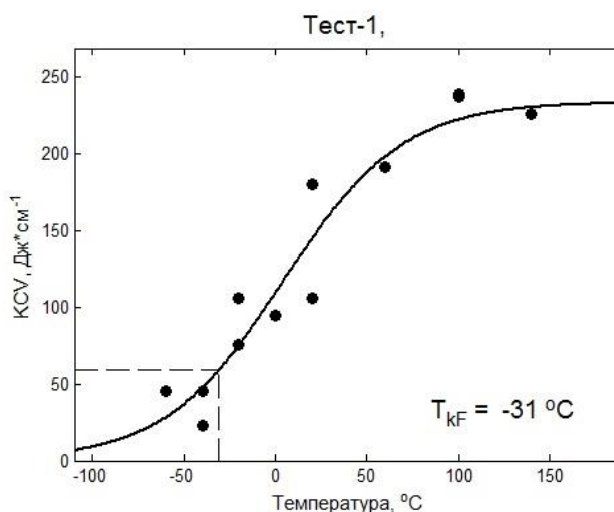


Рис.2. Графік залежності ударної в'язкості від температури

Достовірність розробленої програми була перевірена за допомогою програмного пакета Origin 6.1 на основі розрахунків реальних наборів результатів випробувань на ударну в'язкість зразків-свідків атомних електростанцій України (табл. 4). Всі використані в аналізі результати досліджень зразків-свідків є представницькими й отримані з дотриманням нормативних вимог згідно стандарту ГОСТ 9454 [3]. Похибка в першому знаку після коми – це похибка заокруглень. Оскільки для наших досліджень достатньо цілої частини числа, то цією похибкою можна знехтувати [4].

Таблиця 4. Значення  $T_{ки}(T_{кф})$ , розрахованих за допомогою розробленої програми та програмного пакета Origin 6.1

Набір даних	kvctest, $T_{ки(кф)}, ^\circ C$	Origin 6.1, $T_{ки(кф)}, ^\circ C$
SET 1	-31,1	-31,0
SET 2	-48,1	-48,0
SET 3	58,4	58,4
SET 4	14,6	14,5
SET 5	-44,9	-44,9
SET 6	-63,1	-63,1
SET 7	-83,0	-83,0
SET 8	-46,4	-46,4
SET 9	-78,4	-78,4

**Висновки.** У ході виконання роботи створено зручний в користуванні програмний продукт, що дозволив зменшити часові витрати при обрахунку  $T_{ки}$  або  $T_{кф}$ , та відкрити нові можливості для швидкого обрахунку великої кількості однотипних даних з використанням різних методик, при подальшому удосконаленні алгоритму та тіла програми.

#### Література

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) / Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 524 с.
2. Справочник по вычислительным методам статистики / Пер. с англ. В.С. Занадворова; Под. ред. и с предисл. Е. М. Четыркина. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с., ил.
3. ГОСТ 9454-78 (СТ СЭВ 472-77, СТ СЭВ 473-77). Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах. - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 12 с.
4. Л.І. Чирко, О.В. Шкапяк. Створення алгоритму та написання програми для обрахунку критичної температури крихкості на основі даних залежностей ударної в'язкості від температури.// Тези доповідей XXI Щорічної наукової конференції ІЯД НАНУ, Київ, Україна, 28 січня – 31 січня 2014 р. – Київ, 2014. – С. 125 – 127.