

**Хворостяний В.В.**

*(ІПМіц ім. Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ)*

**АЛГОРИТМ ЗНАХОДЖЕННЯ ТОЧКИ ЗЛАМУ ЧАСТИННО-ЛІНІЙНОЇ  
АПРОКСИМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ РОЗПОДІЛУ  
ВЕЙБУЛА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ  
МЕХАНІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ КРИХКИХ ТА КВАЗІКРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ**

E-mail: plt2002@ukr.net

В експериментальних дослідженнях крихких та квазікрихких матеріалів при локальних статичних навантаженнях визначають середні значення відповідних механічних характеристик, використання яких для точного та достовірного прогнозування працездатності матеріалів та елементів конструкцій може бути недостатнім. При проектуванні чи цілеспрямованому виборі матеріалів найбільш важливою є інформація про їх механічну поведінку в екстремальних умовах експлуатації. На прикладі розгляду експериментальних даних кераміки, скла та твердосплавних матеріалів, випробуваних в умовах крайового руйнування зразків з використанням стандартного індентора (пуансона) [1, 2], було проведено дослідження, пов'язане з обґрунтованим визначенням гарантованого рівня їх характеристик пошкоджуваності та опору руйнуванню.

Саме для цього був виконаний статистичний аналіз результатів випробувань на основі статистичного розподілу Вейбула, який широко застосовується в інженерній практиці в задачах надійності технічних об'єктів для опису їх часу напрацювання до відмов. Було показано, що загалом для кераміки та скла є прийнятним використання моноmodalьних апроксимацій експериментальних залежностей розподілу Вейбула. Однак в деяких випадках розгляд моноmodalьних апроксимацій може бути не точним і призводити до помилок в оцінці несівної здатності та ресурсу досліджуваних матеріалів. Головним чином це стосувалося вивченню особливостей руйнування твердосплавних пластин, випробуваних методом сканування пуансоном кромки зразка. Для підвищення точності аналітичної апроксимації в області низьких значень, які є визначальними з точки зору працездатності матеріалів і характеризують випадки утворення

найбільших крайових пошкоджень, необхідно використовувати бімодальні апроксимації.

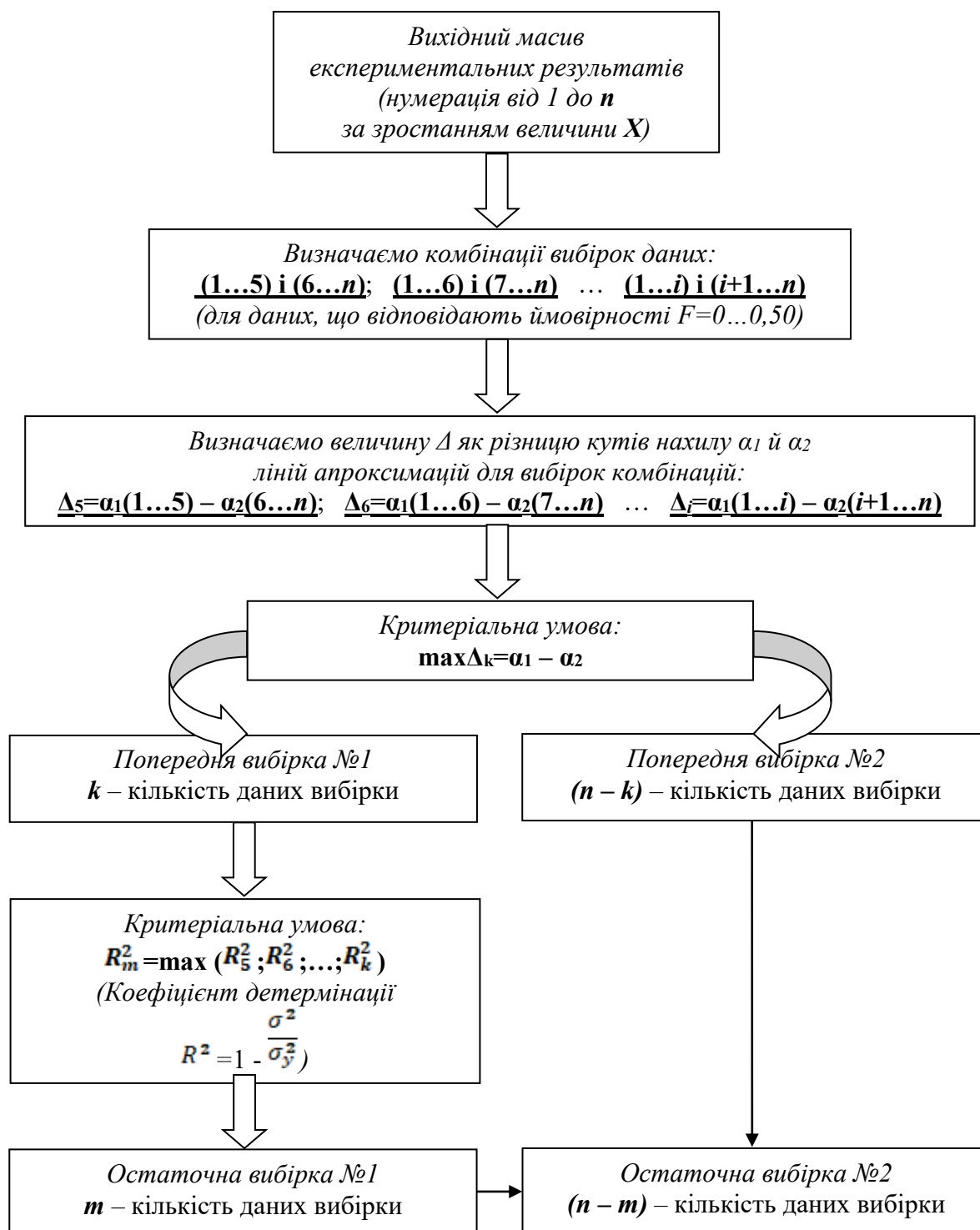


Рис. 1. Блок-схема визначення точки зламу частинно-лінійної апроксимації експериментальної залежності статистичного розподілу Вейбула

В наведеній роботі було запропоновано спосіб знаходження точки зламу частинно-лінійної апроксимації експериментальної залежності статистичного розподілу Вейбула. Алгоритм цього способу показано у вигляді блок-схеми на рис. 1. Слід зазначити, що у стандарті [3] допускається можливість проводити апроксимування розподілів частинно-прямими лініями з різним нахилом, припустивши змішаний розподіл Вейбула. Проте докладний розгляд виконання таких пропозицій не входило в рамки зазначеного нормативного документу. В літературних джерелах вказується на необхідності врахування відхилення нижніх значень від прямолінійної мономодальної форми кривих розподілу Вейбула, але не зазначається строгого математичного розв'язання такого врахування, а безпосередній розподіл вибірок для побудови мультимодальних залежностей мав суб'єктивний характер.

Запропонований в цьому дослідженні алгоритм полягав у поділі вихідного масиву даних на дві вибірки так, що лінія апроксимації області низьких значень параметра найбільш точно відповідала експериментальним результатам. Для цього вихідний масив даних формували за зростанням величини  $X$  з нумерацією від 1 до  $n$ . Потім визначали комбінації вибірок (що містять не менше 5 експериментальних результатів) і обчислювали величину  $\Delta_i$  як різницю кутів нахилу  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  ліній апроксимацій для комбінацій вибірок. Попередні дві вибірки даних №1 і №2 одержували з критеріальної умови максимуму величини  $\Delta_k$ . Для першої вибірки, що містить  $k$  емпіричних точок, перевіряли критеріальну умову максимуму коефіцієнту детермінації  $R^2$  і таким чином знаходили остаточні обсяги вибірок №1 і №2.

З використанням представленого алгоритму поділу результатів на дві окремі вибірки були побудовані бімодальні апроксимації експериментальних залежностей розподілів Вейбула для характеристик пошкоджуваності та опору руйнуванню твердосплавних матеріалів. Таким чином, є очевидним для цих матеріалів неоднорідний характер їх дефектності, що демонструє наявність двох механізмів утворення крайових відколів. Перша (нижня) лінія апроксимації бімодального характеру розподілу Вейбула описує виникнення великих

пошкоджень кромки. Тому використання частинно-лінійних апроксимацій дозволяє уточнити величину гарантованої границі пошкоджуваності та опору руйнуванню при низьких значеннях ймовірності руйнування. Запропонований підхід дає можливість істотно (в 2 – 8 разів) збільшити точність оцінки механічних властивостей розглянутих матеріалів для ймовірностей  $F = 0,01 \dots 0,001$ , які приймаються при розрахунках будівельних конструкцій, проектуванні деталей машин у машинобудуванні (рис. 2).

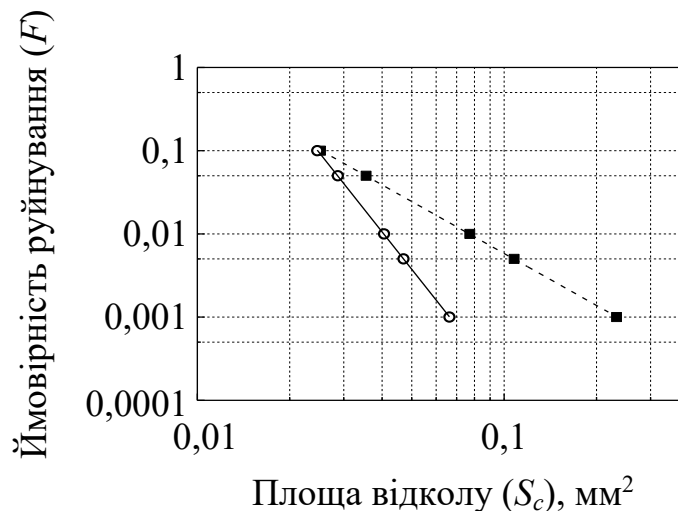


Рис. 2. Залежність площі відколу від ймовірності руйнування кромки  $F$  (в долях одиниці) для результатів випробувань твердосплавного матеріалу, наведених з використанням моноmodalної (■) та біомодальної (○) апроксимації

#### Література:

1. Хворостяный В. В. Механическое поведение керамики и стекла при локальных разрушениях кромок образцов индентором Роквелла / В. В. Хворостяный // Проблемы прочности. – 2014. – № 3. – С.106 – 115.
2. Хворостяный В. В. Оценка повреждаемости кромок твердосплавного инструмента при локальных нагрузениях / В.В. Хворостяный, А.В. Панасенко // Сверхтвердые материалы. – 2015. – № 1. – С. 75 – 82.
3. Glass in building – Procedures for goodness of fit and confidence intervals for Weibull distributed glass strength data. EN 12603:2002. – [Current from 2003-01-09]. – BSI Group, 2003. – 36 p. – (European Standard).