

УДК 539.375

О.І. Гуляр, д-р техн. наук

О.С. Сахаров, д-р техн. наук

О.О. Шкриль, канд. техн. наук

Ю.В. Максим'юк

МОДИФІКОВАНИЙ ВАРІАНТ МЕТОДА РЕАКЦІЙ В ДВОВИМІРНИХ ЗАДАЧАХ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Виконане чисельне обґрунтування можливостей розв'язання двовимірних задач механіки руйнування при фізично та геометрично нелінійному деформуванні та для тіл обертання при використанні модифікованого методу реакцій.

Вступ. В роботі [1] було показано ефективність обчислення J -інтеграла на основі використання вузлових реакцій та переміщень (метод реакцій). В цьому випадку було теоретично доведено його рівність нулю по замкненому контуру, що є фундаментальною властивістю J -інтеграла. В подальшому в роботі [2] було розроблено модифікований варіант методу реакцій, який базується на перемноженні відповідних компонентів реакцій на різницю переміщень в двох вузлах скінчених елементів, що безпосередньо примикають до вершини тріщини. Обчислений таким чином J -інтеграл, який в подальшому буде позначатися як $J(1/2uR)$, для плоских задач при пружному деформуванні тотожно дорівнює результату обчислення методом реакцій по контуру, який позначається $J(PuR)$.

Важливо дослідити можливість використання модифікованого методу реакцій для фізично та геометрично нелінійних задач для тіл обертання, для яких теоретично не доведено його рівність інтегралу, обчисленому по контуру.

Мета даної роботи полягає в чисельному обґрунтуванні достовірності результатів розв'язання вказаного класу двовимірних задач механіки руйнування при використанні модифікованого методу реакцій.

Дослідження ефективності використання модифікованого методу реакцій до вирішення вісесиметричних задач механіки руйнування було проведено на прикладі задачі про розтяг суцільного циліндра діаметром $D=2$ см і висотою $3D=6$ см з кільцевою тріщиною глибиною $L=0,1; 0,3; 0,5$ см (рис. 1). Коефіцієнт Пуассона $\nu=0$, модуль пружності $E=0,1$ МПа. Ефективність модифікованого методу реакцій порівнювалася з традиційним методом при використанні напружень та градієнтів переміщень (метод напружень, $J(P\sigma\xi)$), як в роботі [2].

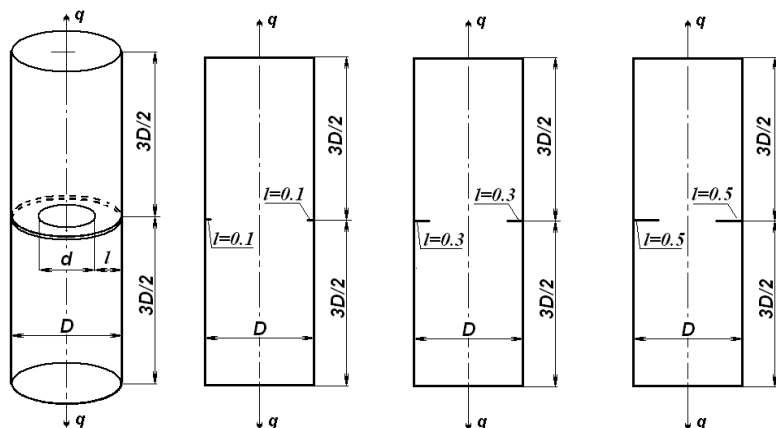


Рис. 1

Як правило, при розв'язанні задач тріщиностійкості виникає необхідність обчислювати параметри механіки руйнування для однієї тієї ж конструкції з тріщинами різної довжини. Тому необхідним є визначити, який вплив на точність обчислення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН), вносить довжина тріщини. Було, розглянуто довжини тріщини 0.1 см, 0.3 см та 0.5 см. Дослідження збіжності результатів проведено із застосуванням скінченоелементних моделей із кількістю невідомих: 1512 і 2376 (рис. 2).

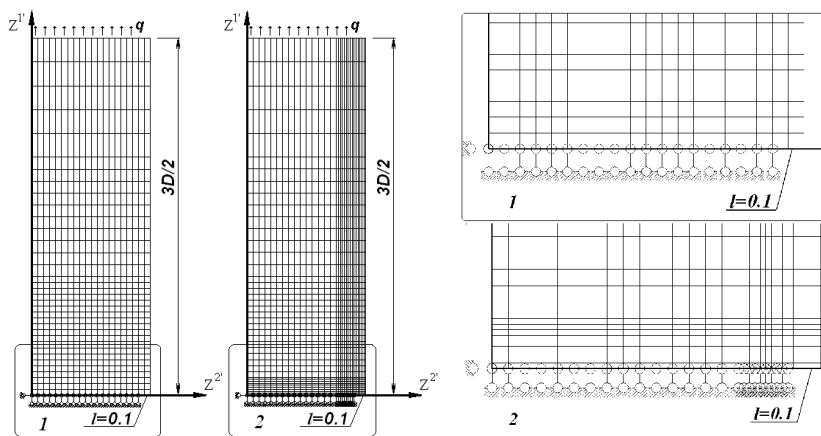


Рис. 2

Аналогічні за структурою і кількістю невідомих скінченоеlementні моделі використовувалися і для тріщин довжиною 0,3 і 0,5 см.

Порівнювалися результати визначення коефіцієнта інтенсивності напружень K модифікованим методом реакцій і методом напружень. В якості еталонного прийнято метод піддатливості результати якого в подальшому будуть позначатися $J\left(\frac{W_2 - W_1}{\Delta l}\right)$. Зв'язок між J - інтегралом і коефіцієнтом інтенсивності напружень K визначається за формулою (1):

$$J = \frac{K^2}{E} (1 - \nu^2). \quad (1)$$

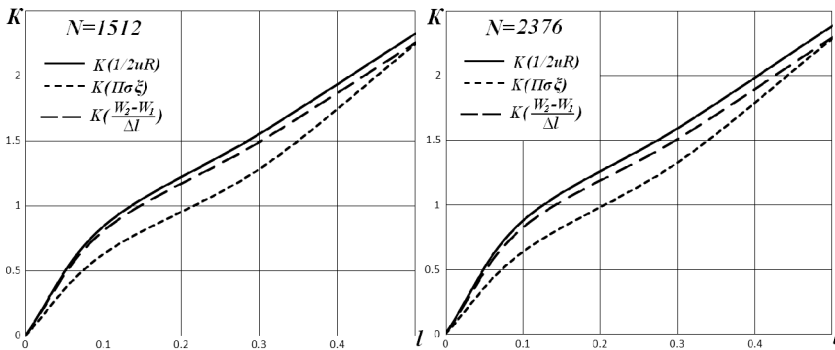


Рис. 3

Наведені на рис. 3 графіки залежності коефіцієнта інтенсивності K від довжини тріщини свідчать, що при обох варіантах скінченоеlementної моделі з істотно різною кількістю невідомих модифікований метод реакцій краще збігається з еталонним.

Таким чином, визначення КІН із використанням методу реакцій дозволяє достовірно обчислювати даний параметр механіки руйнування не тільки для плоских тіл, а й для тіл обертання.

З метою обґрунтування ефективності та достовірності використання модифікованого методу реакцій для обчислення J -інтеграла, в умовах плоскої деформації з урахуванням геометричної нелінійності, було розглянуто тестовий приклад про розтяг нескінченної пластини з тріщиною скінченної довжини $2l=2$ см (рис. 4), дискретна модель якої наведена на рис. 5.

Вихідні дані: розтягуюче зусилля $q = 100$ кг/см²; модуль пружності $E = 10^n$ кг/см² змінюється в інтервалі значень показника ступеня n від 3 до 4, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.333$.

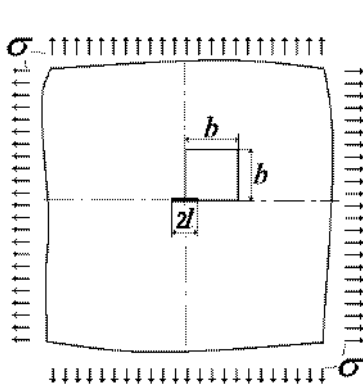


Рис. 4

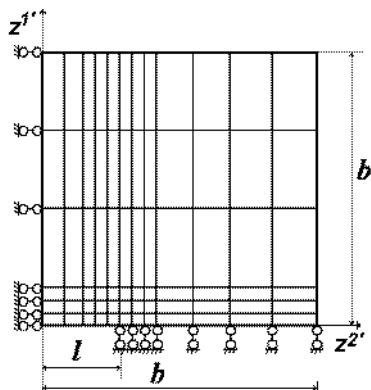


Рис. 5

Наведені на рис. 6 графіки дозволяють зробити висновок, що модифікований і основний варіанти методу реакцій практично співпадають.

Для доведення високої ефективності модифікованого варіанту методу реакцій при розв'язанні задач з урахуванням фізичного та геометрично нелінійного деформування, було розглянуто тестовий приклад про

деформування прямокутної пластини з боковою тріщиною (рис. 7).

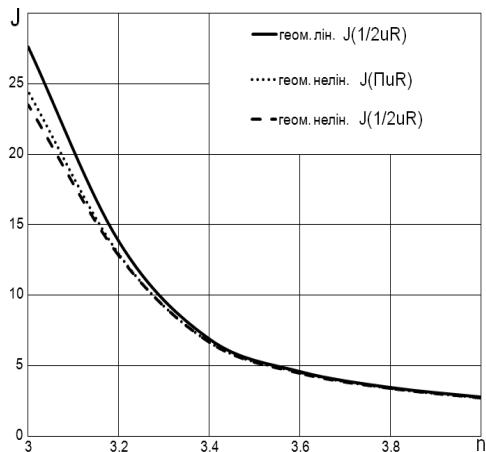


Рис. 6

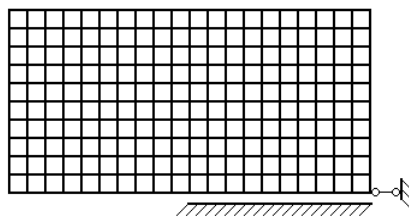
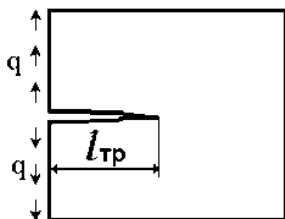


Рис. 7

Матеріал об'єктів – сталь 12Х2МФА, фізико-механічні характеристики якої $E = 2.05 \times 10^5 \text{ МПа}$, $\nu = 0.3$ [3]. Закон пластичного деформування має наступний вигляд :

$$\bar{\sigma}/\sigma_m = 1 + 0.645(\bar{\epsilon}_p)^{0.388},$$

де $\sigma_m = 637 \text{ МПа}$ - межа текучості; $\bar{\sigma}$ - інтенсивність нормальних напружень; $\bar{\epsilon}_p$ - інтенсивність деформацій.

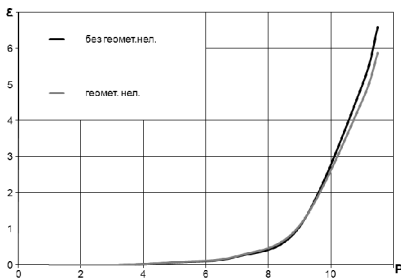


Рис. 8

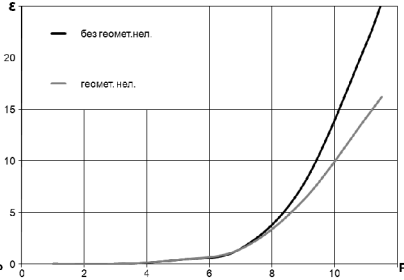


Рис. 9

Розвиток деформацій пластичності при збільшенні навантаження показаний на рис. 8 для плоскої деформації та на рис. 9 для плоско напруженого стану. Графіки залежності J-інтеграла від рівня навантаження показані на рис. 10,11 відповідно для плоскої деформації та для плоско напруженого стану.

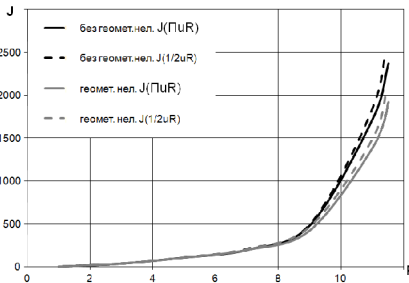


Рис. 10

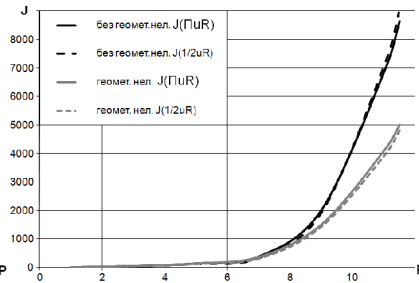


Рис. 11

Наведені результати показують, що як для плоско деформованого так і для плоско напруженого станів розв'язки задач в пружнопластичній постановці отримані модифікованим $J(1/2uR)$ і основним $J(\Pi uR)$ методом

реакцій практично збігаються між собою. Аналогічні результати отримані у випадку врахування геометричної нелінійності.

Таким чином, можна зробити висновок, що модифікований метод реакцій може бути застосований для визначення параметрів механіки руйнування в тілах обертання та в геометрично і фізично нелінійних задачах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Сахаров О.С., Шкріль О.О.* Особливості визначення J -інтеграла в дискретних моделях метода скінченних елементів. – Опір матеріалів і теорія споруд. 2005. № 76. – С. 86-97.
2. *Гуляр О.І., Пискунов С.О., Сахаров О.С., Максим'юк Ю.В.* Визначення J -інтеграла при скінченноелементному розв'язанні задач змішаного руйнування // Опір матеріалів і теорія споруд. 2008. № 82 – С.109-123.
3. *Морозов Е.М., Никшиков Г.П.* Метод конечных элементов в механике разрушения. – М.: “Наука”, 1980. – 256 с.

Стаття надійшла до редакції 06.07.2011 р.

Гуляр А.И., Сахаров А.С., Шкріль А.А. Максимюк Ю.В.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ МЕТОДА РЕАКЦИЙ В ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧАХ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Выполнено численное обоснование возможностей решения двумерных задач механики разрушения при физически и геометрически нелинейном деформировании и для тел вращения при использовании модифицированного метода реакций.

Guliar A.I., Sakharov O.O., Shkryl' O.O., Maksymiuk Y.V

MODIFIED VARIANT OF REACTIONS METHOD FOR TWO-DIMENSIONAL FRACTURE MECHANICS PROBLEMS

The numeral ground of possibilities of decision two-dimensional fracture mechanics problems for physically and geometrically nonlinear deformation and bodies of rotation using of the modified reactions method has been made.