

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В БУРИЛЬНІЙ ТРУБІ, ЩО МІСТИТЬ ТРІЩИНУ

*В.В. Турлич, Т.М. Даляк, О.Ю. Витязь, В.В. Перепічка*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42123,  
e-mail: math@nuing.edu.ua*

*Для попередження аварій із бурильною колоною, що містить тріщину, потрібно знати напружено-деформований стан в околі дефекту, за яким можна дослідити закономірності росту втомної тріщини, чинники впливу, а також її критичні розміри. Для цього методом скінчених елементів розраховано основний розрахунковий параметр лінійної механіки руйнування – коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН).*

*Згідно з принципом декомпозиції задачі фрагмент бурильної колони, що містить еліптичну тріщину, розбили на скінченні елементи. Щоб змодельувати кореневу особливість в околі вершини дефекту сітку суттєво згущено, використано спеціальні елементи.*

*Розглянуто послідовність скінчено-елементних моделей для різних параметрів еліптичної тріщини. З допомогою серії розрахунків залежно від можливого місця локалізації дефекту при дії заданих навантажень на виділену частину труби досліджено напружено-деформований стан моделей, методом апроксимації переміщень берегів тріщини обчислено максимальні значення коефіцієнтів інтенсивності напружень в районі її фронту.*

*Ключові слова:* бурильна колона, тріщина, коливання.

*Для предупреждения аварий с бурильной колонной, содержащей трещину, необходимо знать напряженно-деформационное состояние в окрестности дефекта, по которому можно исследовать закономерности роста усталостной трещины, факторы влияния, а также её критические размеры. Для этого по методу конечных элементов рассчитан основной расчётный параметр линейной механики разрушения – коэффициент интенсивности напряжений (КИН).*

*Согласно принципу декомпозиции задачи, фрагмент бурильной колонны содержащий эллиптическую трещину, разбили на конечные элементы. Для моделирования корневой особенности в окрестности вершины дефекта сетка существенно загущена, использовались специальные элементы.*

*Рассмотрена последовательность конечно-элементных моделей для разных параметров эллиптической трещины. При помощи серии расчетов, в зависимости от возможного места локализации дефекта, при воздействии заданных усилий на выделенную часть трубы, исследовано напряженно-деформационное состояние моделей методом аппроксимации перемещений границ трещины рассчитаны максимальные значения коэффициентов интенсивности напряжений в районе её фронта.*

*Ключевые слова:* бурильная колонна, трещина, колебания.

*For warning of failures with a boring column, that contains a crack, it is needed to know the tense-deformed being at a neighbourhood defect, on the basis of which it is possible to explore conformities to the law of growth of tiresome crack, factors which on it influence, and also its critical sizes. For the decision of this important problem the basic calculation parameter of linear mechanics of destruction is calculated - coefficient of intensity of tensions (KITTY) with application of method of complete elements.*

*Using principle of decomposition of task from a boring column cut out its piece, that contains an elliptic crack. He was dashed on scinchenni elements, in the neighbourhood tops of defect a net substantially rolls up, to model a root feature the special elements are used.*

*The sequence of complete-element models is considered for different parameters of elliptic crack. With the help of series of calculations depending on the possible place of localization of defect at action of the set loadings on the selected part of pipe the naprougeno-deformovanyi being of models is explored, by the method of approximation of moving of banks of crack the maximal values of coefficients of intensity of tensions are calculated at the district of its front.*

*Keywords:* drill column, creak, oscillation.

Попередні дослідження свідчать, що елементи бурильної колони з тріщиною експлуатуються довгий час. Здійснивши перевіряючий аналіз аварійних ситуацій згідно з рекомендованими методиками [1], ми переконались, що в місцях зламу існує значний запас міцності. Це вказує на практичну недосконалість поширених методів розрахунку, що не враховують в повному обсязі напружено-деформований стан (НДС) в околі вершини тріщини пошкодженої труби.

Для дослідження НДС в характерному перерізі колони, де знаходиться тріщина, використовуємо основний розрахунковий параметр лі-

нійної механіки руйнування – коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН), який обчислимо методом скінчених елементів.

Виходячи з проведеного аналізу, щодо тріщини приймемо такі припущення:

1) тріщина розвивається в одній площині, перпендикулярній до діючого навантаження;

2) коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) повністю визначають напружено-деформований стан в околі фронту тріщини;

3) тріщина має півеліптичну форму із характерними розмірами: малою піввіссю –  $a_0$  та великою –  $L_0$ .

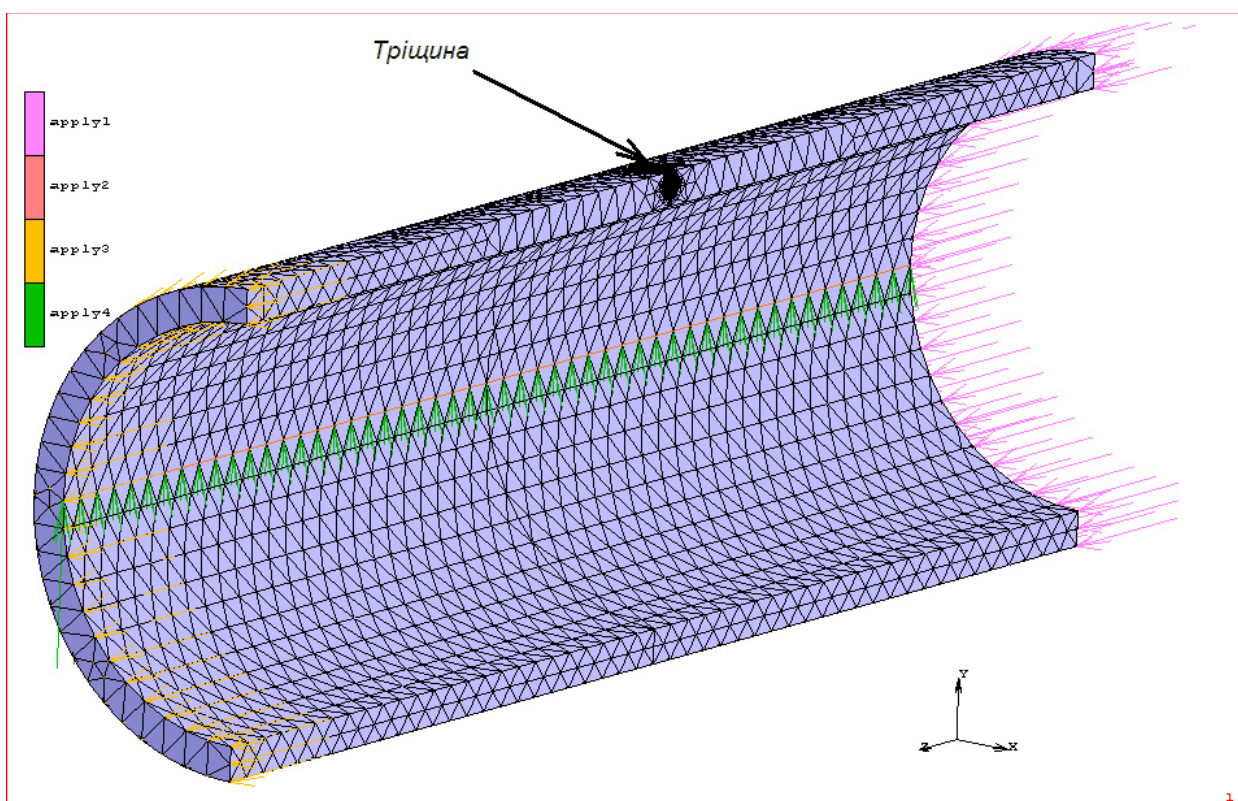


Рисунок 1 – Модель вирізаного фрагмента бурильної колони з тріщиною

Використовуючи розв'язок задачі про коливання бурильної колони [2], яка не містить тріщини, визначаємо загальний НДС бурильної колони з врахуванням того, що крайові ефекти в районах торців зникають на довжині  $2,5\sqrt{R_m t}$  [3], де  $R_m$ ,  $t$  – відповідно середній радіус та товщина труби. Далі умовно вирізаємо частину труби з тріщиною завдовжки не менше  $2H=2,5\sqrt{R_m t}+6L_0$  та розглядаємо рівновагу елемента конструкції з врахуванням вже відомих розв'язків (рис. 1).

Розрахунок КІН здійснено методом скінченних елементів. До торців вирізаної частини труби прикладено поле переміщень, отримане із задачі про коливання стержня без тріщини. Важливим моментом у побудові розв'язку сформульованої задачі є вибір типів елементів та генерація скінченно-елементної сітки. У нашому випадку вона має здебільшого регулярну структуру, і складається з стандартних лінійних елементів тетраедричної форми. В околі фронту тріщини виконано згущення сітки з використанням квадратичних елементів: стандартний елемент модифікований в сингулярний шляхом зсуву на  $1/4$  довжини ребра так, щоб реалізувати функцію форми з кореневою особливістю. Кінцева модель з вписаною тріщиною складає близько 12000 вузлів та 20000 елементів залежно від розмірів тріщини. Загальний вигляд скінченно-елементної моделі вирізаної частини труби наведено на рис. 1.

Розглянуто послідовність скінченно-елементних моделей труби, які відрізнялись лише

розмірами тріщини. За допомогою серії розрахунків визначено напружено-деформований стан моделей при дії стаціонарних навантажень. Ці величини для моделі фрагменту глибиною тріщини 5 мм подано на рисунках 3, 4; розподіл еквівалентних напружень Мізеса по фронту тріщини. Зазначимо, що zdeформований елемент зображено для наочності з врахуванням коефіцієнта масштабування.

Поступово збільшуючи навантаження та задовольняючи граничні умови для кожного кроку, визначено параметри напружено-деформованого стану та обчислено J-інтеграл. Методом апроксимацій J-інтеграла з врахуванням сформульованих припущень обчислено максимальні значення коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_I$  вздовж фронту тріщини.

Для статичного навантаження розглянуто три випадки різних розмірів тріщин: 1 –  $a_0 = 3$  мм,  $L_0 = 3,5$  мм; 2 –  $a_0 = 5$  мм,  $L_0 = 5,9$  мм; 3 –  $a_0 = 7$  мм,  $L_0 = 8,3$  мм. На основі результатів чисельного моделювання одержано величини КІН, розподіл яких залежно від відносного видовження подано на рис. 6. З графіків можна зробити висновок, що при максимальному відносному видовженні КІН не досягають критичних значень (напр., для сталі 40ХН2МА, з якої виготовлені бурильні труби  $K_{fc} = 96 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ ) і можуть бути використані для розрахунку залишкової довговічності пошкодженої труби.

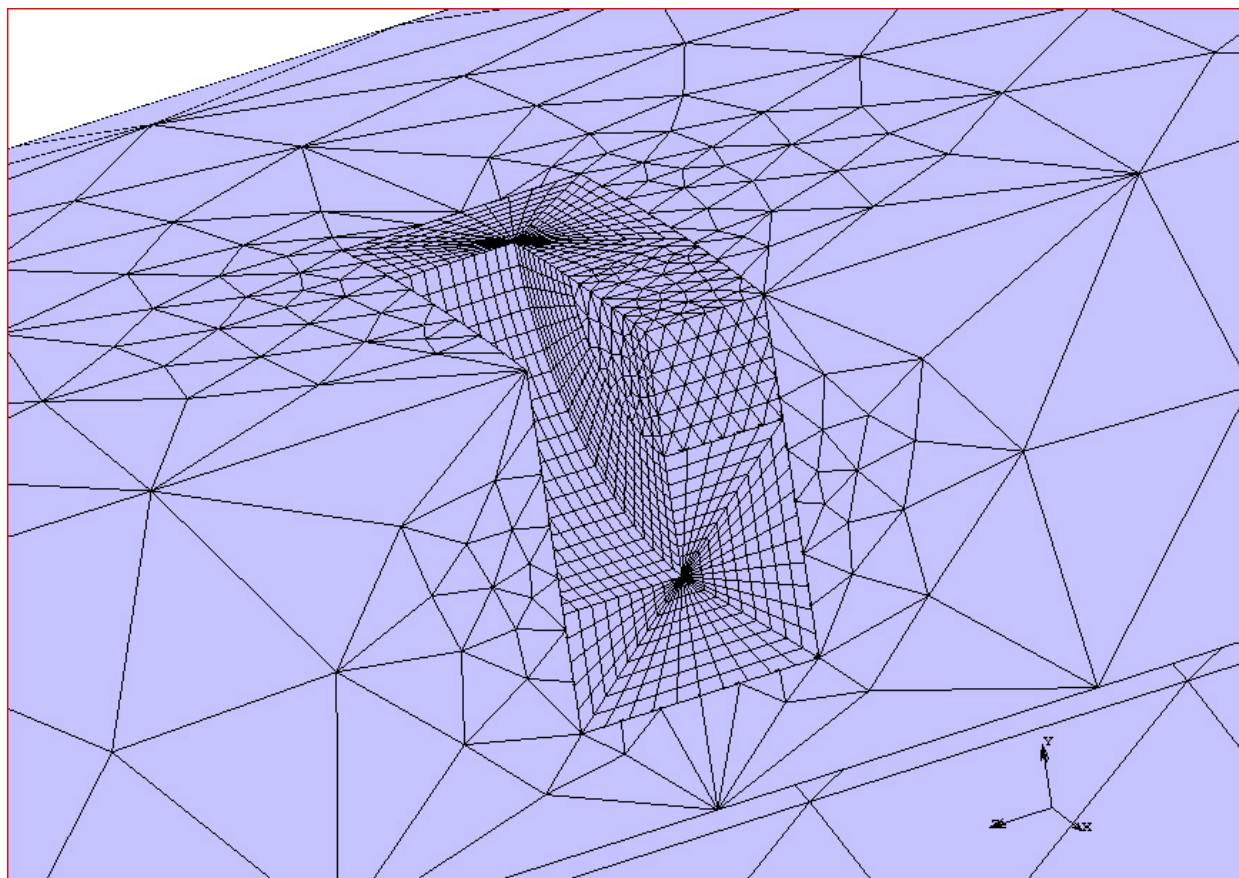


Рисунок 2 – Скінченно-елементна модель тріщини глибиною  $a_0 = 5$  мм

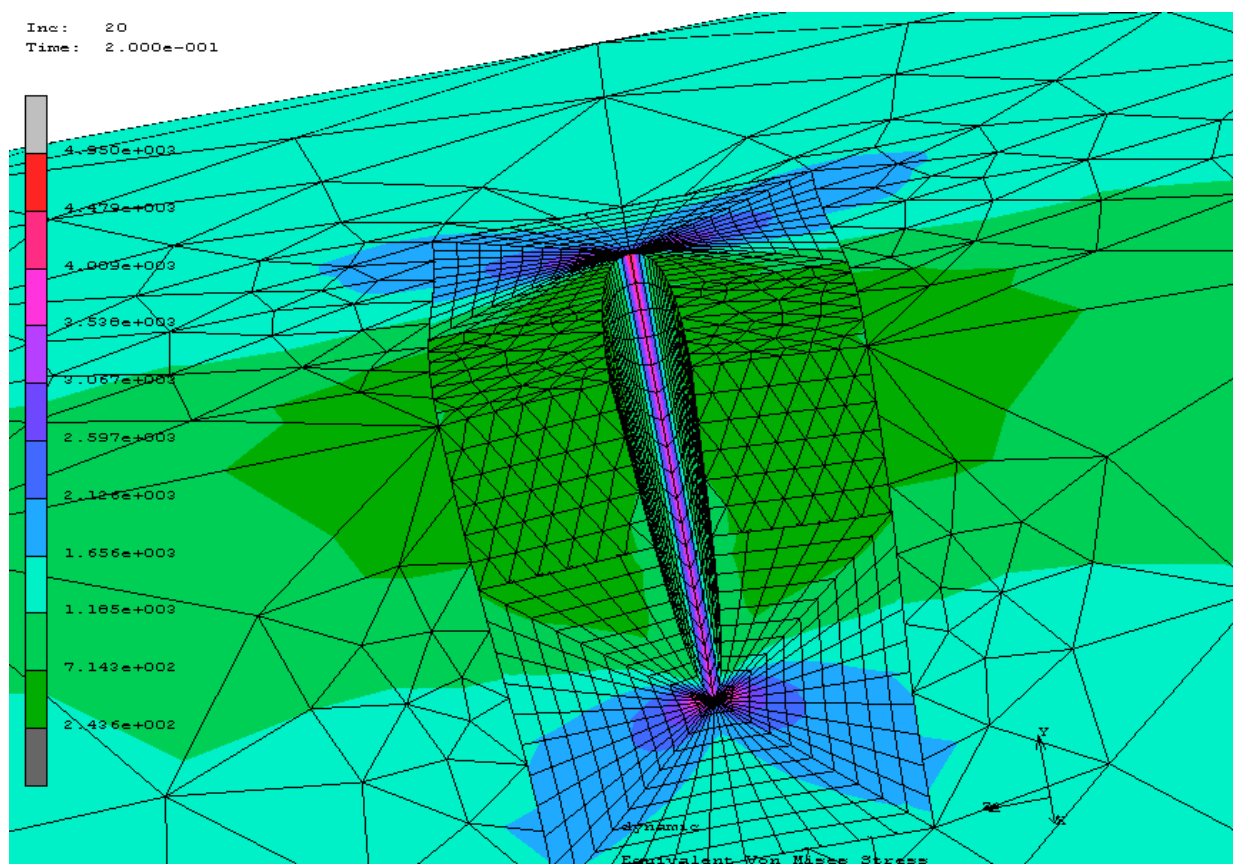


Рисунок 3 – Напружено-деформований стан в околі фронту тріщини глибиною 5 мм

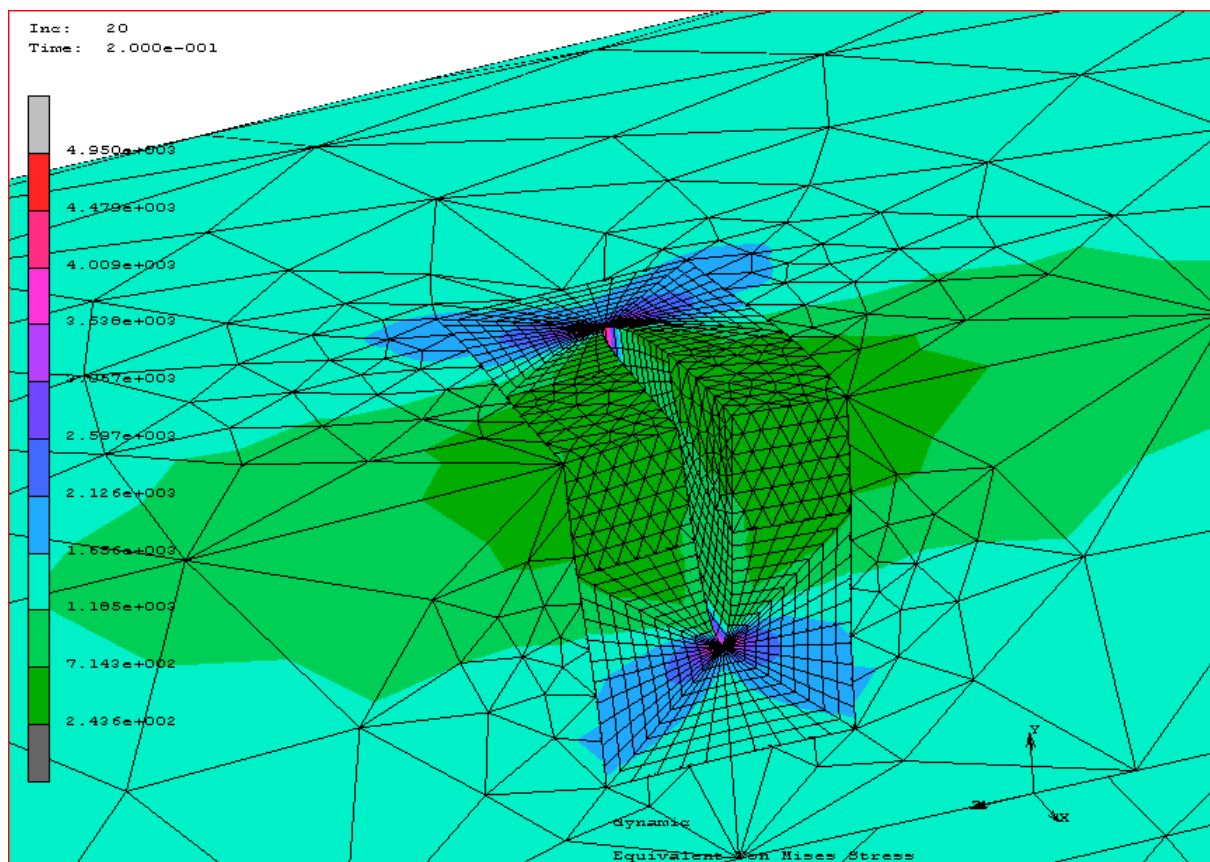
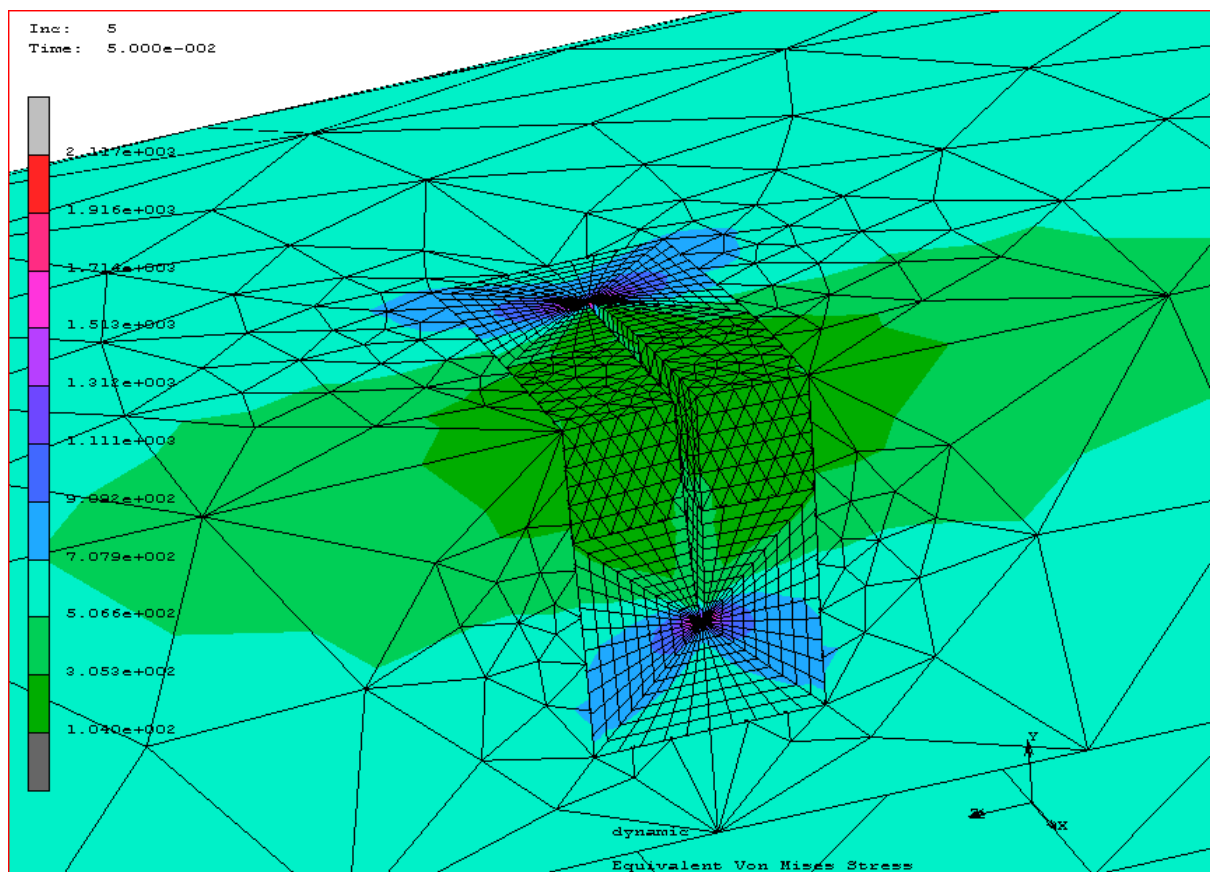


Рисунок 4 – Переміщення в околі фронту тріщини глибиною 5 мм, що відповідає величині поздовжньої деформації  $\varepsilon_z = 10^{-4}$  та  $\varepsilon_z = 2,5 \cdot 10^{-3}$

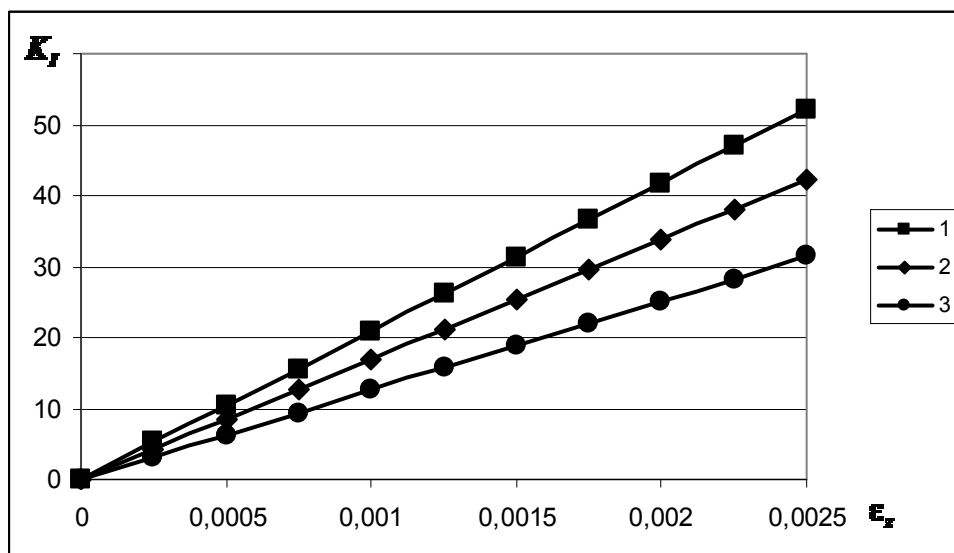


Рисунок 5 – Залежності  $K_I$  від відносного видовження для різних розмірів тріщини

### Література

1 Инструкция по расчёту бурильных колонн [Текст]. – Куйбышев: ВНИИТнефть, 1986. – 130 с.

2 Перепічка В.В. Дослідження коливних процесів в бурильній колоні з урахуванням зосереджених чинників пружності та в'язкості в крайових областях // В.В. Перепічка, В.В. Тирлич, Т.М. Даляк, В.Д. Яцишин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – № 3(36). – С. 30-34.

3 Морозов Е.М. Метод конечных элементов в механике разрушения [Текст] / Е.М.Морозов, Г.П. Никишков. – М.: Наука, 1980. – 254 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
23.11.11

Рекомендована до друку Оргкомітетом  
науково-технічної конференції  
“Нафтогазова енергетика – 2011”,  
яка відбулася в ІФНТУНГ  
10-14 жовтня 2011 р.