

# ГРАНИЧНО-РІВНОВАЖНИЙ СТАН ФРАГМЕНТУ ТРУБОПРОВОДУ ПОСЛАБЛЕНОГО ВНУТРІШНЬОЮ ЕЛІПТИЧНОЮ ТРІЩИНОЮ

Національний університет «Львівська політехніка»

## Анотація

Запропоновано модифікований гранично-інтегральний метод визначення концентрації напружень у фрагменті надземної ділянки трубопроводу, що містить внутрішню еліптичну тріщину за сумісної дії внутрішнього тиску, згину та розтягу. Використано апарат теорії пружних потенціалів та методу граничних елементів, що уможливило врахування впливу криволінійної поверхні труби на КІН в околі контуру тріщини.

**Ключові слова:** еліптична тріщина, метод граничних елементів, коефіцієнти інтенсивності напружень, граничні інтегральні рівняння.

## Вступ

Трубопровідний транспорт за економічними та технологічними показниками є найефективнішим способом транспортування енергетичних ресурсів завдяки низькій собівартості транспортування, незначним відносним капітальним затратам, безперервності технологічного процесу, що практично не залежить від кліматичних умов. За умов транспортування значних обсягів енергетичних ресурсів (нафти, газу) важливо забезпечити надійність магістральних трубопроводів для запобігання відмовам та аваріям.

За оцінкою фахівців більшість аварій нафтогонів України зумовлено людським фактом або утворенням і подальшим розвитком тріщиноподібних дефектів [1]. Поєднання методів неруйнівного контролю технічної діагностики магістральних трубопроводів з розробленням адекватних розрахункових моделей міцності тіл з тріщинами за умови їх взаємодії з поверхнею труби є ключовим засобом для точної оцінки ресурсу магістральних трубопроводів та можливості їх подальшої безпечної експлуатації. На стадії неруйнівного контролю сучасні інтелектуальні поршні, озброєні чутливим та надійним акустичним і магнітним обладнанням і потужними процесорами, виявляють тріщиноподібні дефекти, класифікують їх визначають розміри, топологічну форму, орієнтацію відносно осі труби і глибину залягання [2].

Однак на етапі прийняття рішення, щодо допустимості дефекту чи встановлення його в ремонтну чергу для забезпечення безпечної експлуатації нафтопроводу, зібрана в процесі діагностики інформація використовується далеко не у повному обсязі. Кривизна зовнішньої та внутрішньої поверхні труби, орієнтація площини тріщини відносно її осі має суттєвий вплив на КІН на контурі тріщини. Все це значно обмежує можливість використання наявних аналітичних методів механіки руйнування. Натомість, запропонований в роботі модифікований метод ГР таких обмежень не має.

## Результати дослідження

Розглядається фрагмент трубопроводу  $\Omega$  – пружне однорідне тіло обмежене двома циліндричними поверхнями:  $S_{out}$  радіусом  $R+h$  та  $S_{in}$  радіусом  $R$  (рис. 1) і торцевими поверхнями  $S_{ef}$  перпендикулярними до осі труби. Нехай тіло  $\Omega$  містить еліптичну тріщину  $S_c$  та знаходиться під дією статичного зовнішнього навантаження (розтяг, згин) прикладеного до торців та постійного тиску  $p$  на внутрішній поверхні  $S_{in}$ . Поверхні тріщини вільні від навантажень. Механічні властивості труби визначаються модулем зсуву і коефіцієнтом Пуассона.

Використовуючи принцип суперпозиції та інтегральні представлення Сомільяно компонент напружено-деформованого стану, здійснюючи граничний перехід до точок поверхні труби та

поверхонь тріщини, враховуючи граничні властивості пружних потенціалів простого і подвійного шару та задовольняючи крайові умови на поверхнях тріщини та внутрішній і зовнішній поверхні труби, отримуємо систему шести граничних інтегральних сингулярних рівнянь відносно компонент вектора поверхневих переміщень та функцій розкриття тріщини.

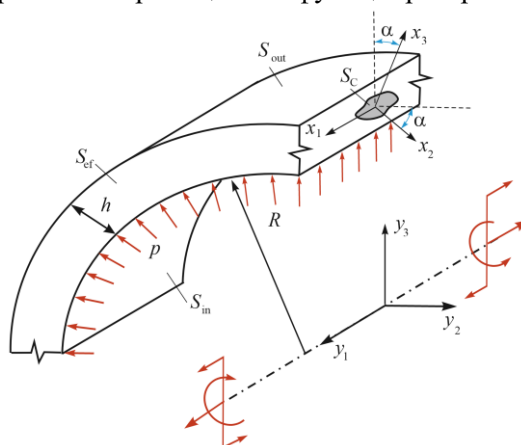


Рис. 1. Розташування осьової тріщини у фрагменті трубопроводу.

Числове розв'язування отриманої системи рівнянь здійснюємо шляхом апроксимації зовнішніх поверхонь тіла сіткою суперпараметричних восьмивузлових граничних елементів, а поверхонь тріщини сіткою колокаційних точок на перетині концентричних кривих до контуру області тріщини з її радіусами. Дискретизацію системи інтегральних рівнянь здійснюємо заміною інтегралів по поверхнях моделі сумою інтегралів по граничних елементах з попередньою їх регуляризацією. Значення функцій розкриття тріщини у колокаційних точках використовуємо для визначення КІН на контурі тріщини.

### Висновки

Досліджено залежності КІН приповерхневої еліптичної тріщини від кутової координати точки її контуру за різної глибини залягання та зміни ексцентриситету її області. Встановлено тенденцію до зменшення КІН в точках контуру тріщини, що наближені до поверхні від'ємної кривини та поверхні навантаженої тиском. Доведено можливість зміщення локальних максимумів КІН на контурі внутрішньої еліптичної тріщини за умови, що у трубі, яка її містить з'являється внутрішній тиск.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитрах І. М., Панасюк В. В. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка. – Л., 1999. – 341 с.
2. Скальський В. Р., Божидарник В. В., Станкевич О. М. Акустико-емісійне діагностування типів макроруйнування конструкційних матеріалів. Київ : Наукова думка, 2014. 264 с.

**Стасюк Богдан Мирославович** – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри опору матеріалів та будівельної механіки, Національний університет «Львівська політехніка»

### *Boundary-equilibrium state of a pipeline fragment weakened by an internal elliptical crack*

#### **Abstract**

*A modified boundary integral method is proposed for determining the stress concentration in a segment of an aboveground pipeline containing an internal elliptical crack under the combined action of internal pressure, bending, and tension. The approach utilizes the theory of elastic potentials and the boundary element method, allowing for the consideration of the influence of the curved surface of the pipe on the stress intensity factors in the vicinity of the crack contour.*

**Keywords:** elliptical crack, boundary element method, stress intensity factors, boundary integral equations.

**Stasyuk Bohdan M.** – Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Strength of Materials and Structural Mechanics, Lviv Polytechnic National University.