

УДК 539.3

¹О.П. Шугайло²В.Б. Крицький³П.З. Луговий, д-р техн. наук

**МОДЕЛЮВАННЯ МІСЦЕВИХ СТОНШЕНЬ
НА ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХНЯХ ТРУБОПРОВОДІВ
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ В ЗОНІ ДЕФЕКТУ**

^{1,2}Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки

e-mail: ¹ap_shugaylo@sstc.kiev.ua; ²vb_krytskyu@sstc.kiev.ua

³Національна академія наук України, e-mail: desc@imech.kiev.ua

Розроблено моделі дефекту-стоншення фрагменту трубопроводу у вигляді поверхонь еліпсоїда, еліптичного параболоїда та еліптичного конуса з метою аналізу їх впливу на напружений стан конструкції в зоні дефекту.

Вступ

У стінках трубопроводів можуть виникати дефекти, спричинені сумісною дією механічних (ерозія) та електрохімічних (корозія) процесів (ерозійно-корозійний знос), що ведуть до стоншення стінок трубопроводів в умовах робочого тиску і значних позитивних температур.

В околі таких дефектів під час експлуатації трубопроводів виникає висока інтенсивність напружень, що призводить до пластичної плинності матеріалу, утворення і поширення тріщин, тобто до локального чи повного руйнування ділянки трубопроводу [1; 2].

виникають, для її подальшого використання при проведенні оцінки міцності і працездатності трубопроводів з локальними стоншеннями стінок.

Результати досліджень

Під час дослідження було розглянуто дефект-стоншення прямолінійної ділянки тонкостінного трубопроводу (зовнішній діаметр 530 мм, товщина стінки 8 мм).

За результатами технічної діагностики були отримані значення товщини стінки на ділянці 191,8 мм з кроком вимірювання 27,4 мм (див. таблицю) і контури стоншення (рис. 1, 2).

Товщина стінки ділянки трубопроводу в місцевій системі координат

Місцева координата вздовж осі труби, мм	0	27,4	54,8	82,2	109,6	137,0	164,4	191,8
Товщина стінки труби, мм	8,0	6,8	6,4	5,0	5,1	6,0	6,2	8,0

Для достовірної оцінки міцності ділянки трубопроводу з локальним стоншенням стінки необхідно визначити таку геометричну і математичну модель стоншення, яка надасть змогу адекватно відобразити форму реального дефекту [3].

Стоншення стінок трубопроводу внаслідок ерозійно-корозійного зносу здебільшого являють собою порожнину розмиву, вигляд якої в плані є найближчим до форми еліпсу. Під час моделювання цього виду дефектів найбільш придатними за своїми геометричними параметрами є моделі у формі поверхні еліпсоїда, еквівалентної стоншенню за своїми параметрами.

Стоншення можуть бути відтворені поверхнями еліпсоїда, еліптичного параболоїда або еліптичного конуса залежно від реальної форми дефекта.

Постановка завдання – розробити модель дефекту-стоншення поверхнями еліпсоїда, еліптичного параболоїда та еліптичного конуса.

Мета роботи – визначення найбільш консервативної поверхні з погляду напружень, які

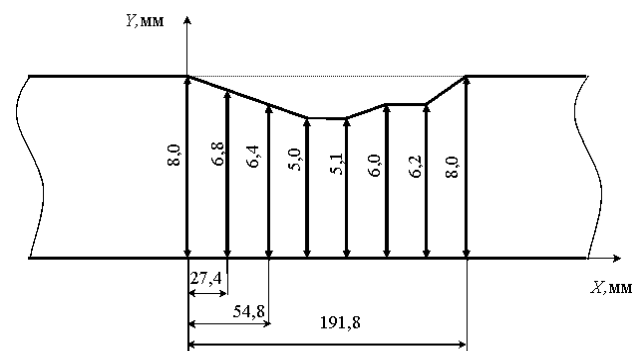


Рис. 1. Ескіз ділянки трубопроводу зі значеннями товщини стінки

Для оцінки впливу різних моделей дефекту-стоншення на напружений стан конструкції було виконано три постановки однієї задачі, в яких змінювалася тільки форма поверхні дефекту при постійному об'ємі порожнини.

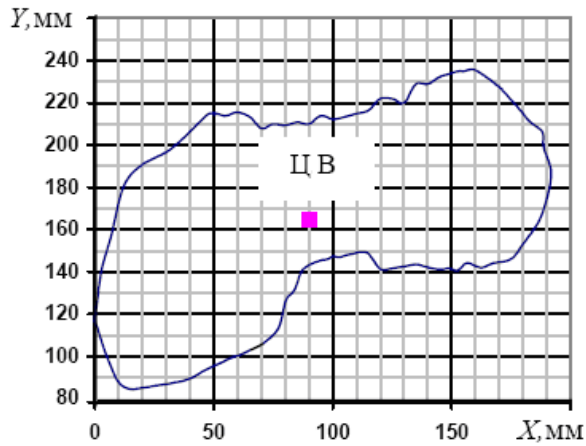


Рис. 2. Розміри та орієнтація дефекту в плані

Задача оцінки впливу моделі дефекту на напружений стан конструкції вирішувалася числовими методами із застосуванням програмного коду «ДИПРОС» [4].

Під час моделювання дефектів-стоншень застосовано п'ять основних принципів [3]:

– площа дефекту F дорівнює площині еліпса $F^{\text{âë}}$:
 $F = F^{\text{eë}}$, (1)

де F – площа плями дефекту; $F^{\text{âë}}$ – площа еліпса;
 – головні осі еліпса $u^{\text{âë}}, v^{\text{âë}}$ збігаються з головними осями плями дефекту u, v ;

– співвідношення головних моментів інерції J_u, J_v дефекту дорівнює співвідношенню головних моментів інерції еліпса $J_u^{\text{âë}}, J_v^{\text{âë}}$:

$$\frac{J_u}{J_v} = \frac{J_u^{\text{eë}}}{J_v^{\text{eë}}}, \quad (2)$$

де u, v – головні центральні осі;

– поверхня стоншення моделюється поверхнею еліпсоїда, еліптичного параболоїда та еліптичного конуса залежно від реальної поверхні, а головна вісь поверхні проходить через центр еліпса в основі і перпендикулярна йому;

– об'єм порожнини, що моделюється, повинен максимально відповідати об'єму реального стоншення.

На підставі співвідношень (1), (2) визначають геометричні розміри еліпса, який відтворює дефект і кут повороту осей еліпса щодо обраної системи координат. Для моделювання дефектів-стоншень використано алгоритм, який побудовано на підставі загальних співвідношень для обчислення геометричних характеристик перетинів, викладених у праці [2].

На пляму дефекту накладають сіткову область з елементами $M(i, j)$, де M – елемент сіткової області, i та j – індекси, які вказують на місцезнаходження елемента в сітковій області та визначають геометричні характеристики дефекту:

– площу F :

$$F = ab \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M(i, j), \quad (3)$$

де a, b – лінійні розміри елемента сіткової області M ; n, m – індекси, що набувають значення 1 або 0 залежно від того чи належить центр ваги (ЦВ) елемента сіткової області до плями дефекту (належить – 1, не належить – 0);

– статичний момент інерції S_x відносно осі ox :

$$S_x = ab \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M(i, j) b(i-0,5) = ab^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M(i, j) (i-0,5);$$

– статичний момент інерції S_y відносно осі oy :

$$S_y = a^2 b \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M(i, j) (j-0,5);$$

– координати центру ваги x_c, y_c :

$$x_c = \frac{S_y}{F};$$

$$y_c = \frac{S_x}{F};$$

– момент інерції J_{x_1} відносно центральної осі ox_1 :

$$J_{x_1} = ab \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M(i, j) [b(j-0,5) - y_c]^2;$$

– момент інерції J_{y_1} відносно центральної осі oy_1 :

$$J_{y_1} = ab \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M(i, j) [a(i-0,5) - x_c]^2;$$

– відцентровий момент інерції $J_{x_1 y_1}$:

$$J_{x_1 y_1} = ab \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M(i, j) [a(i-0,5) - x_c] \times [b(j-0,5) - y_c];$$

– кут повороту головних осей інерції α_0 :

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \arctg \frac{J_{x_1 y_1}}{J_{y_1} - J_{x_1}};$$

– головний момент інерції J_u відносно осі ou :

$$J_u = \frac{1}{2} \left[(J_{x_1} + J_{y_1}) \pm \sqrt{(J_{x_1} - J_{y_1})^2 + 4J_{x_1 y_1}^2} \right]$$

– головний момент інерції J_v відносно осі ov :

$$J_v = \frac{1}{2} \left[(J_{x_1} + J_{y_1}) \mp \sqrt{(J_{x_1} - J_{y_1})^2 + 4J_{x_1 y_1}^2} \right],$$

якщо $J_x > J_y$ – верхній знак, якщо $J_x < J_y$ – нижній;

– геометричні характеристики еліпса:

довжину півосі еліпса a^* і b^* :

$$a^* = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \sqrt[4]{\frac{J_u}{J_v}}; b^* = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \sqrt[4]{\frac{J_v}{J_u}},$$

де a^* і b^* – півосі еліпса;

– кут нахилу осей α :

$$\alpha = \alpha_0;$$

– об'єм порожнини стоншення у вигляді: еліптичного конуса:

$$V = \frac{1}{3} Fh,$$

де h – максимальна глибина стоншення;

– еліпсоїда:

$$V = \frac{2}{3} Fh;$$

– еліптичного параболоїда:

$$V = \frac{1}{2} Fh.$$

На підставі даних вимірювань товщини стінки прямолінійної ділянки трубопроводу, що розглядається, принципів побудови моделі дефекту-стоншення алгоритму побудови виконано моделювання дефекту-стоншення у вигляді поверхні еліпсоїда, еліптичного параболоїда та еліптичного конуса (рис. 3).

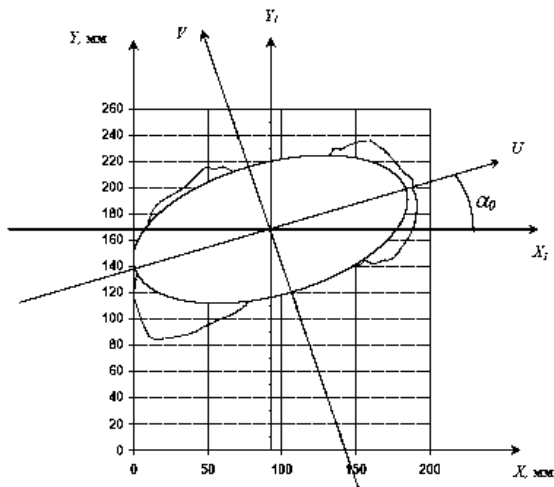


Рис. 3. Модель дефекту-стоншення

Разработаны модели дефекта-утончения фрагмента трубопровода в виде поверхностей эллипсоида, эллиптического параболоида и эллиптического конуса с целью анализа их влияния на напряженное состояние конструкции в зоне дефекта.

The models of a defect-thinning of pipes fragment as an ellipse, elliptic paraboloid and elliptic cone are developed in order to analyze their impact on a stress state of a construction at the defect zone.

Основні результати розрахунку фрагменту трубопроводу з дефектом-стоншенням, який моделюється поверхнею еліпсоїда, еліптичного параболоїда та еліптичного конуса зображені на рис. 4.

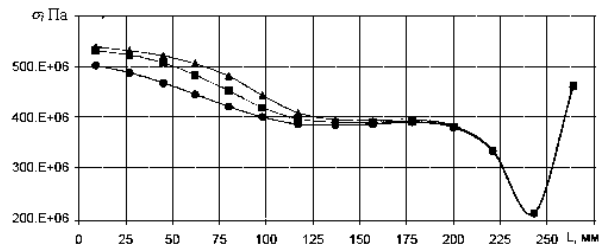


Рис. 4. Інтенсивність напружень на внутрішній поверхні в меридіональному напрямку

для трьох типів поверхонь:

– еліптичний параболоїд; – еліпсоїд; – еліптичний конус

Висновок

Аналіз результатів розрахунку свідчить про те, що найбільш консервативною поверхнею з погляду напружень, що виникають, є поверхня еліпсоїда. На підставі отриманих результатів у подальшому під час визначення напруженого стану фрагментів трубопроводу з місцевими стоншеннями перевагу при моделюванні дефектів буде віддано саме поверхні еліпсоїда.

Література

1. Кушнір Р.М., Николишин М.М., Осадчук В.А. Пружний та пружно-пластичний граничний стан оболонок з дефектами. – Л.: СПОЛЮМ, 2003. – 318 с.
2. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: Справ. пособие. – К.: Наук. думка, 1994. – 734 с.
3. Крицкий В.Б., Луговой П.З., Шугайло А.П., Бажуков А.В. Методология и программные средства для определения предельного допустимого утонения стенок трубопроводов, подверженных эрозионно-коррозионному износу// Ядерная и радиационная безопасность. – 2003. – №1. – С. 65–73.
4. Комплекс программ "ДИПРОС" (Динамика и прочность оболочечных систем). Описание применения (сокращенный вариант). – К., 1990. – 70 с. – Деп. в УкрНИИТИ 26.07.90, № 1222–Ук90.

Стаття надійшла до редакції 10.01.06.