

УДК 620.191.33:620.193

ОЦІНКА РИЗИКУ РУЙНУВАННЯ ТРУБОПРОВОДІВ ЗА МЕХАНІЗМОМ КОРОЗІЙНО-ВТОМНОГО РОЗВИТКУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ

В. Лужецький

Інженер,
Дрогобицький державний
педагогічний університет
імені Івана Франка,
м. Дрогобич

*І а і дееаа³ одоаіі дгага²а ç тауагеі е егдг³еґеі е од³уеґіііа³аґеі е ааоаеоаі е
іаааааіі і дгоааодо дг³даоіео еіаі аепі еоаао³еґео і гаеаіпоае. Чаі дгііііааіі
го³ео егдг³еґіі-і аоаі³-ґео ааоаео²а çа едеоао³оі іі дгагаі; аеаеґе да оі ді е
і³аае³і де-ґіі; од³уеґе. І теаґаіі, лі ç дг³аедеіі од³уеґіііа³аі³ ааоаеде, аіпуаар-е
іі дгагаео ç іа-аіу, поіоіі іаі ааоґроу аепі еоаао³еґі³ і іаеаіпо³ одоаіі дгагао,
çа³еуоґр-е деçеа аеі ееґаіі у ааао³еґео педоао³е.*

трубопровід, корозійно-механічне пошкодження, тріщиноподібний дефект, корозійна боріздка, корозійна виразка, порогова довжина (глибина) тріщини, коефіцієнт інтенсивності напружень, діаграма циклічної корозійної тріщиностійкості

З метою забезпечення надійної роботи та продовження терміну експлуатації трубопровідних систем різноманітного призначення, важливого значення набуває розроблення вірогідних методів оцінки, які базуються на оцінці критичних експлуатаційних параметрів. Тут принципово важливо врахувати широкий спектр експлуатаційних чинників, що впливають на кінетику ймовірного розвитку наявних пошкоджень.

В інженерній практиці відомі катастрофи [1 — 4], які пов'язані з неконтрольованим поширенням тріщини. Характерним прикладом є трубопровідні системи енергоблоків [5]. Як показують численні дослідження [5 — 9], у таких випадках виникають і розвиваються корозійно-механічні тріщини, а довговічність конструкцій визначається закономірностями розвитку корозійних тріщин під впливом втомних навантажень. Останні подають у вигляді діаграм циклічної корозійної тріщиностійкості (діаграма швидкостей росту втомної макротріщини) [3, 5]. Це експериментально встановлена залежність, яка пов'язує швидкість поширення макро-тріщини в матеріалі

з певним параметром, що визначає напружено-деформований стан в околі її вершини. Цими параметрами можуть бути локальні напруження або коефіцієнти інтенсивності напружень; розкриття вершини тріщини чи деформація в її околі; локальні втрати енергії на деформування матеріалу і приріст тріщини.

На основі діаграми циклічної тріщиностійкості встановлюють умови, за яких втомна тріщина не поширюється або росте із заданою швидкістю, чи втрачає стійкість і починає спонтанно розвиватися, що призводить до руйнування конструкції.

З [4, 10, 11] відомо, що технічний стан трубопроводів визначається ступенем їхнього корозійного пошкодження. Причому саме розмір корозійного тріщиноподібного дефекту є визначальним чинником проведення ремонтних робіт, які часто пов'язані з невиннованими витратами, а також з можливим виникненням нових, небезпечніших дефектів. У зв'язку з цим, аналіз розмірів та форми тріщиноподібних дефектів з позицій механіки руйнування [12] дає змогу обґрунтованіше підійти до

проблеми оцінки конструктивної міцності та ресурсу роботи трубопроводних систем.

Нижче запропоновано методику розрахунку та зроблено прогнозні оцінки ризику руйнування трубопроводів за механізмом корозійно-втомного розвитку експлуатаційних дефектів.

Об'єкт та методика досліджень. Оцінку ризику руйнування трубопроводів здійснили на прикладі прямолінійних ділянок трубопроводів живильної води енергоблоків закритичного тиску ТЕС. Тут застосовуються труби таких типорозмірів ($d \times t$, мм): 325×40, 133×16, виготовлені зі сталі марки 16ГС ($\sigma_{0,2}=250$ МПа). Трубопровід навантажений внутрішнім тиском ($p=35$ МПа), спричиненим середовищем (вода високого ступеня очищення). Коефіцієнт асиметрії циклу навантаження $R \approx 0,7$. Значення порогових коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{th} для різних систем „матеріал — середовище” [8] наведені в табл. 1.

Базуючись на даних профілактичного огляду трубопроводів [5] методами неруйнівного контролю, тріщиноподібний дефект у стінці трубопроводу (з внутрішнім діаметром d та товщиною стінки t) моделювався півеліптичною тріщиною з розмірами півосей a та c (рис. 1).

Досліджували особливості впливу початкової форми утвореного дефекту, що визначається співвідношенням c/a , а також експлуатаційного середовища на порогові розміри тріщини в стінці труби заданих розмірів. Тут під пороговим розміром тріщини вважали півеліптичну тріщину глибиною $c=c_{th}$, у вершині якої значення коефіцієнта інтенсивності напружень рівне пороговому, тобто $K_I=K_{th}$.

Для підрахунку значень коефіцієнта інтенсивності напружень ΔK_I використовували залежність [8]

$$\Delta K_I = \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot c} \times \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1,12 - 0,48\beta + 0,13 \left(\frac{2\theta}{\pi} \right)^2 \cdot \beta (3\beta - 2 - \alpha)}{1 - \alpha(1 - 0,75\beta)} + 1,13k_f \left[\beta \left(\frac{2\theta}{\pi} \right)^2 \cdot (\alpha - 0,4 + 0,6\beta) + \beta(1 - 1,4\alpha) + 0,62\lambda(1 - \beta) \cdot \psi(\alpha) \right] \right\}, \quad (1)$$

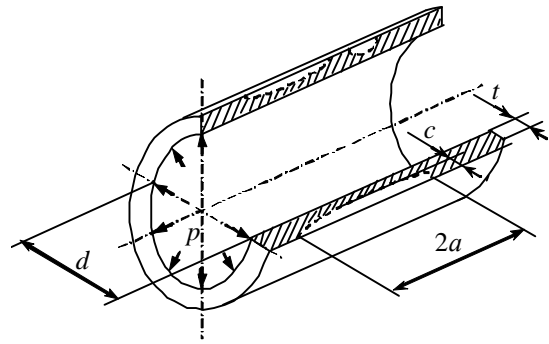


Рис. 1. Схематичне подання тріщиноподібних дефектів різної форми у стінці трубопроводу

де $\Delta \sigma$ — розмах напружень розтягу за цикл навантаження, $\Delta \sigma = (\Delta p \cdot d) / 2t$; Δp — зміна тиску робочого середовища в трубопроводі за цикл навантаження; d — внутрішній діаметр труби; t — товщина стінки труби; c — глибина тріщини; $\beta = c/a$; ($0 \leq \beta \leq 1$; $0 \leq \alpha \leq 0,4$); a — півдовжина тріщини; $\alpha = c/t$; θ — кут від малої осі півеліптичної тріщини; k_f — коефіцієнт, що враховує відхилення поперечного перерізу труби від колового;

$$\lambda = \begin{cases} 1; & \alpha \geq 1/20, \\ 1,15 - 60(\alpha)^2; & 0 \leq \alpha \leq 1/20; \end{cases}$$

$$\psi(\alpha) = (\alpha)^{-1/2} \cdot \sqrt{(1-\alpha)^{-3} - (1-\alpha)^3}.$$

Величину $c=c_{th}$ визначали з формули (1) при величині $\Delta K_I=K_{th}$ у напрямі осі c при $\theta=0^\circ$. Тут на основі аналізу корозійно-механічних пошкоджень трубопроводів [8] задавалися співвідношенням півосей c_{th}/a_0 можливої форми початкової тріщини, тобто $1/1,5 \leq c_{th}/a_0 \leq 1/100$.

Отримані результати (див. табл. 1) показують, що існує дві області, яким притаманні певні характерні форми порогових тріщин. Перша — область глибоких порогових тріщин — змінюється в межах $1/1,5 \leq c_{th}/a_0 \leq 1/3$.

Друга — область коротких тріщин — змінюється в межах $1/5 \leq c_{th}/a_0 \leq 1/100$. Між ними існує перехідна область, яка змінюється в межах $1/3 \leq c_{th}/a_0 \leq 1/5$. Тому

Таблиця 1

Порогові коефіцієнти інтенсивності напружень K_{th} , значення параметрів c_{th}/a_0 та c_{th} для різних систем „матеріал — середовище”

Геометричні розміри труб ($d \times t$), мм	Система „матеріал – середовище”	K_{th} , МПа $\sqrt{м}$	c_{th}/a_0							
			1/100	1/50	1/20	1/10	1/5	1/3	1/2	1/1,5
			c_{th} , 10^{-3} м							
325×40	Новий метал – середовище	6.32	1.08	1.09	1.12	1.18	1.31	1.50	1.89	2.31
	Експлуатований метал – середовище	6.83	1.28	1.29	1.33	1.41	1.57	1.86	2.24	2.72
133×16	Новий метал – середовище	6.32	1.14	1.15	1.18	1.23	1.34	1.53	1.84	2.33
	Експлуатований метал – середовище	6.83	1.31	1.32	1.36	1.42	1.55	1.77	2.15	2.76

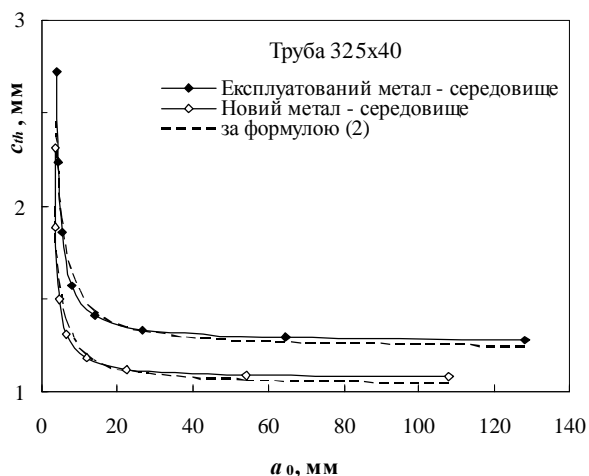
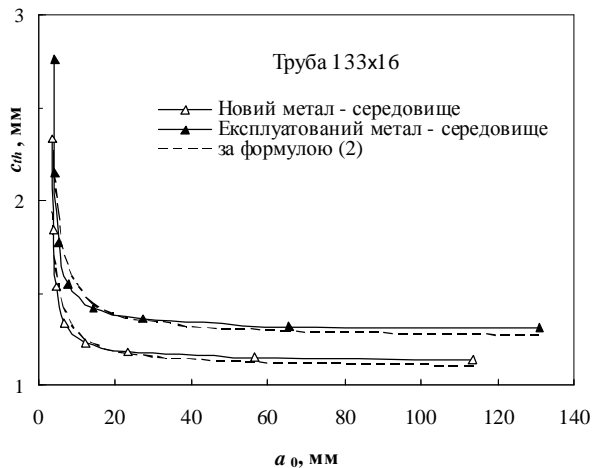


Рис. 2. Взаємозв'язок між пороговими значеннями глибини тріщини c_{th} та півдовжиною початкової тріщини a_0 при випробуваннях у середовищі для нового і експлуатованого металу труб

можна зробити висновок, що існує дві характерні форми початкової тріщини, притаманні першій та другій областям. Типовою для першої області можна вважати тріщину, яка за формою ($c_{th}/a_0^I=1/3$) має вигляд корозійної виразки. Характерною для другої області можна вважати тріщину, яка за формою ($c_{th}/a_0^{II}=1/20$) нагадує ризик, тобто має вигляд корозійної боріздки.

Аналіз наведених результатів (рис. 2) виявив такі особливості впливу початкової форми утвореного корозійно-механічного дефекту й експлуатаційного середовища на порогові розміри тріщини.

По-перше, півеліптична форма зароджених корозійних виразок і, як наслідок, глибина порогових тріщин істотно залежить від розмірів її півосей a та c . Так, для порогових тріщин у вигляді корозійної боріздки розміром $c/a=1/20$ їхня глибина є в півтора рази менша, ніж для порогових тріщин у вигляді корозійної виразки розміром $c/a=1/3$. Таким чином, форма тріщини у вигляді корозійної боріздки є небезпечнішою.

По-друге, в експлуатованому металі труби глибина порогових тріщин при випробуваннях у середовищі є на

Значення констант A та B у залежності (2)

Геометричні розміри труби ($d \times t$), мм	Система „матеріал – середовище”			
	Новий метал – середовище		Експлуатований метал – середовище	
	A	B	A	B
325×40	1.033	-1.687	1.228	-2.042
133×16	1.095	-1.553	1.257	-1.866

18 % більшою від порогових тріщин, що виникають у новому металі труб.

По-третє, вплив геометричних розмірів трубопроводів (d , t) на величину порогових тріщин є неістотним.

Слід зазначити, що отримані дані задовільно описуються аналітично за допомогою формули

$$c_{th} = \frac{A \cdot a_0}{B + a_0}, \quad (2)$$

де A і B — константи системи „матеріал — середовище” (див. табл. 2).

Використання залежності (2) дає змогу здійснювати прогнозовані оцінки порогової (безпечної) глибини півеліптичної тріщини в залежності від її початкової довжини, а також експлуатаційних особливостей трубопроводу (різні системи „матеріал — середовище”).

Отже, в результаті проведених досліджень, запропоновано оцінку корозійно-механічних дефектів за критерієм порогової глибини c_{th} та форми (c_{th}/a_0) півеліптичної тріщини на основі взаємозв'язку з пороговими значеннями коефіцієнта інтенсивності напружень K_{th} , що дає змогу в кількісній аргументованій формі за даними експериментальних досліджень циклічної корозійної тріщиностійкості сталей, які використовуються при виготовленні труб, і даними діагностування стану трубопроводів (величини й форми тріщин) передбачити потенційну можливість їхнього поширення в процесі подальшої експлуатації, а, отже, визначити показники ресурсу, надійності та безпеки експлуатації трубопровідних систем.

Література

1. *Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій* / Під заг. ред. В.В.Панасюка. — Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. — 2004. — 912 с.

2. *Усталість* и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О.Н. Романив, С.Я. Ярема, Г.Н. Никифорчин, Н.А. Махутов // *Механика разрушения и прочность материалов*. Справочное пособие в 4-х томах под общ. ред. В.В. Панасюка. — К.: Наук. думка, 1990. — Т. 4. — 680 с.

3. *Панасюк В.В.* Механика квазіхрупкого разрушения материалов. — К.: Наук. думка, 1991. — 416 с.

4. *Fracture* / Ed. by H.Liebowitz. — New York and London: Academic Press, 1968—1972. — Vol. 1—7.

5. *Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібн.* / Під заг. ред. В.В.Панасюка. Т. 7: Надійність та довговічність елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування / І.М. Дмитрах, А.Б. Вайнман, М.Г. Стащук, Л. Тот. Під ред. І.М. Дмитраха. — К.: ВД „Академперіодика”, 2005. — 378 с.

6. *Механика разрушения и прочность материалов: Справочное пособие: В 4-х томах* / Под общ. ред. В.В. Панасюка. — К.: Наук. думка, 1988—1990.

7. *Мелехов Р.К., Похмурський В.І.* Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. — К.: Наук. думка, 2003. — 374 с.

8. *Дмитрах І.М., Панасюк В.В.* Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень. — Львів: НАН України. Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка. — 1999. — 341 с.

9. *Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій (випуск 2): В 3-х томах* / Під заг. ред. Панасюка В.В. — Львів: Каменяр, 1999. — Т. 3. — 288 с.

10. *Фартушок І.М., Касій О.Т., Матієчко О.В.* До оцінки потенційно небезпечних розмірів тріщиноподіб-

них корозійно-механічних дефектів у трубопроводах // Фізико-хімічна механіка матеріалів. — 2006. — Спец. вип. — №5. — Т. 1. — С. 321—324.

11. *Panasyuk V.V.* Strength and fracture of solids with cracks. — Lviv: Karpenko Physico-Mechanical Institute National Academy of Sciences of Ukraine, 2002. — 468 p.

12. *Р. Грабовський, В. Луژهцький, Т. Горб'як.* До оцінки кінетики росту втомних тріщин у стінках трубопроводів // *Машинознавство*. — 2005. — №4 (). — С. 7—10.

Отримана 18.03.08

V. Luzhetskyy

Fracture risk assessment of pipelines by corrosion fatigue mechanism of service defects development

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych

On the sample of pipelines with existent corrosion crack-like defects, the calculation procedure of their operating ability is presented. It has been shown that crack-like defects growth can achieves of the threshold sizes and that leads to significant restriction of pipeline operating ability and increases of risk of emergency conditions arising.

21 01 01 203y

1-а Міжнародна науково-технічна конференція

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мінісимпозіуми:

„Проблеми проектування, ресурсу та безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин”

„Стан і перспективи впровадження комп'ютерно-інтегрованого виробництва у машинобудуванні”

22 — 24 жовтня 2008 р.

м. Львів, Україна

Тематика конференції:

1. Конкурентоспроможність продукції машинобудування України в умовах глобалізації.
2. Автоматизація проектування, підготовки і управління виробництвом.
3. Моделювання механічних систем.
4. Структурно-параметричний синтез і оптимізація машинобудівних конструкцій.
5. Теорія машин і механізмів.
6. Динаміка та міцність машин.
7. Теорія коливань і захист від вібрацій.
8. Матеріалознавство.
9. Трибологія.
10. Механіка руйнування матеріалів та міцність конструкцій.

11. Новітні технології у машинобудуванні.
12. Проектування і технологія виготовлення зварних конструкцій.
13. Діагностика та прогнозування залишкового ресурсу конструкцій та споруд тривалої експлуатації.
14. Проблеми якості та контролю в машинобудуванні.

Адреса для кореспондування:

Кіндрацькому Б. І.

А/с 6758, м. Львів, 79058, Україна

E-mail: me@in.lviv.ua

Тел.: 38 (032) 258-23-81; 38 (032) 231-92-99;

(38) 0679998734