



національного технічного університету нафти і газу. – 2009. – № 2 (20). – С.12 – 23.

3. BP Statistical Review of World Energy, June 2014
[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.bp.com/statistical review](http://www.bp.com/statistical%20review).

УДК 593.375, 669.788

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПОСЛАБЛЕНОЇ ТРІЩИНОЮ ДІЛЯНКИ ТРУБОПРОВОДУ

В.Р. Скальський¹, Р.М. Басараб², С.Р. Яновський²

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України; вул.
Наукова 5, м. Львів, 79060.

E-mail: skal@ipm.lviv.ua;

²Львівська філія “Магістральні нафтопроводи “Дружба” ВАТ
“Укртранснафта”;

вул. Липинського 12, м. Львів, 79000; *E-mail:*

RBasarab@druzhiba.lviv.ua

Метою досліджень є створення методики оцінки залишкового ресурсу елемента нафтопроводу з наявною у ньому тріщиною.

Приймемо, що методами неруйнівного контролю (наприклад, акустичною емісією) встановлено наявність ростучої поверхневої півеліптичної втомної тріщини, що розташована на внутрішній стінці елемента нафтопроводу. Матеріал цього елемента сталь 16ГС і він підданий циклічній зміні внутрішнього тиску $p = 3,7$ МПа із асиметрією циклу $R = 0,85$ (рис. 1). Механічні характеристики сталі: межа текучості $\sigma_0 = 450$ МПа, нижнє порогове значення циклічної тріщиностійкості $K_{th} = 3,5$ МПа м^{1/2}, статична тріщиностійкість $K_{Ic} = 120$ МПа м^{1/2}.

Для визначення залишкового ресурсу потрібно встановити кінетику росту втомної тріщини. Нехай a_0 , b_0 – початкові

розміри тріщини, r – внутрішній радіус труби, $h = 0,01$ м – товщина стінки.

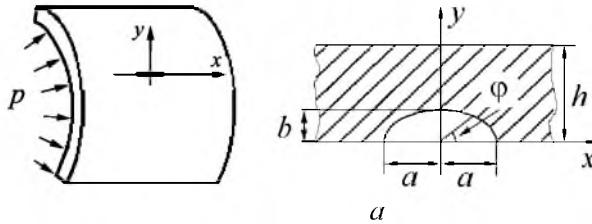


Рис. 1. Схема елемента труби нафтопроводу (а) та розташування півеліптичної тріщини (б).

Для визначення кінетики контуру тріщини (рис. 1, б) вважали, що контур тріщини під час її поширення завжди залишається плоским та близьким до півеліптичного. Тоді залежність довжини півосей цього контуру від кількості циклів навантаження можна отримати із розв'язку системи двох звичайних диференціальних рівнянь у двох точках контуру, що відповідають великій та малій півосі ($\varphi = 0, \varphi = \pi/2$) (рис 1, б)

$$\begin{cases} \frac{da}{dN} = V \left[K_{I \max}(a, b, \varphi = 0), C_H \right], \\ \frac{db}{dN} = V \left[K_{I \max}(a, b, \varphi = \pi/2), C_H \right], \end{cases} \quad (1)$$

де $K_{I \max}$ – максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) у відповідних точках контуру тріщини, C_H – концентрація водню в стінці труби біля контуру тріщини.

Граничні умови:

$$\begin{aligned} N = 0: \quad a = a_0; \quad b = b_0; \\ N = N_d: \quad b = h, \end{aligned} \quad (2)$$

де N – кількість циклів зміни тиску в трубі, N_d – залишкова довговічність стінки труби.

Швидкості росту V півосей контуру тріщини визначали на основі рівняння, отриманого у праці [1]



$$V(a, b) = \frac{0,03\sigma_0^{-2}(1-R)^2(1-R^4)K_{I\max}^4(a, b)}{\alpha(K_{Ic}^2 - A_1E\sigma_0C_H) - K_{I\max}^2(a, b)}, \quad (3)$$

де E – модуль пружності, α та A_1 – деякі постійні матеріалу.

Для тріщини в нашому випадку КІН в кожній точці її контуру можна представити у вигляді [2]

$$K_I(a, b, \varphi) = \sigma\sqrt{\pi b}F(\xi, \chi, \varphi), \quad (4)$$

$$\text{де } \xi = \frac{b}{h}; \chi = \frac{b}{a}; \sigma = p\left(\frac{r}{h} - \frac{H_1}{2}\right); F = \frac{H_2 + H_3\xi^3 + H_4\xi^4}{q} f_1 f_2;$$

$$H_1 = H_5 + (H_6 - H_5)\sin^q \varphi; q = 0,2 + \chi + 0,6\xi;$$

$$H_5 = 1 - 0,34\xi - 0,11\chi\xi;$$

$$H_6 = 1 - (1,22 + 0,12\chi)\xi + (0,55 - 1,05\chi^{0,75} + 0,47\chi^{1,5})\xi^2;$$

$$Q = \sqrt{1 + 1,464\chi^{1,65}};$$

$$H_2 = 1,13 - 0,09\chi; H_3 = -0,54 + \frac{0,89}{0,2 + \chi};$$

$$H_4 = 0,5 - \frac{0,1}{0,65 + \chi} + 14(1 - \chi)^{24};$$

$$f_1 = (\chi^2 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)^{1/4}; f_2 = 1 + (0,1 + 0,35\chi^2)(1 - \sin \varphi)^2.$$

Система звичайних нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку (1) з врахуванням (2)–(4) була розв'язана числовим методом Рунге-Кутта

Для виявлення зародження чи розвитку тріщиноподібних дефектів у стінці трубопроводів використовували лінійну локацію джерел АЕ. При цьому коефіцієнт п'єзочутливості первинного перетворювача АЕ (ПАЕ) становив $\eta = 1,6 \cdot 10^9$ В/м. Внаслідок АЕ-контролю було зареєстровано 3 події з амплітудами на виході ПАЕ 3; 3,8; 5 мВ. Відстань від джерела АЕ до ПАЕ була 2,8 м.

Згідно концепції визначення об'ємної пошкодженості матеріалу визначали еквівалентну площу новоутворених поверхонь тріщин, які генерували АЕ, а саме – радіус r_0



еквівалентного круга. Для цього урахували заникання амплітуди пружної хвилі АЕ. Отримали, що сумарна еквівалентна площа дала радіус $r_0 \approx 10^{-4}$ м.

На рис. 2. графічно зображено результати прикладів розрахунку довговічності N_d стінки труби нафтопроводу для різних величин площі S півдискової тріщини на основі розв'язку рівнянь системи (1).

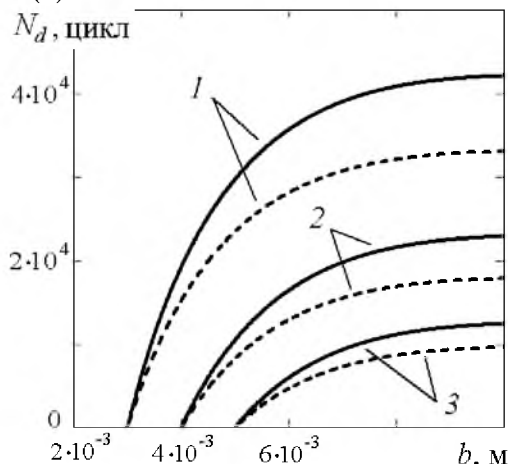


Рис. 2. Залежність залишкової довговічності N_d елемента нафтопроводу за різних початкових розмірів півдискової тріщини: 1 – $r_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ м, 2 – $r_0 = 4 \cdot 10^{-3}$ м, 3 – $r_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ м (суцільні лінії – без врахування наводнювання стінки труби, пунктирні лінії – із врахуванням).

Отже, тріщини із початковим радіусом поверхні $r_0 < 3 \cdot 10^{-3}$ м не розвиваються, оскільки за даних умов експлуатації ділянки трубопроводу величина КІН для таких тріщин менша його порогового значення – K_{th} . Отож виявлені тріщиноподібні дефекти розміром $r_0 \approx 10^{-4}$ м під час АЕ-діагностування ділянки нафтопроводу помпувальної станції є безпечними з точки зору втомного розтріскування за даних умов експлуатації.

1. *Андрейків О.Є.* Розрахункова модель поширення втомних тріщин у наводнених зварних з'єднаннях/ *О.Є. Андрейків, Д.В. Рудавський, О.В. Гембара* // Фіз.-хім механіка матеріалів.– 2002.– №6.– С. 18–24.



2. *Newman J. C. An empirical stress intensity factor equation for the surface crack / J. C. Newman, I. S. Raju // Int. J. Fract. Mach. – 1981. – 15, N 1/2. – P. 185 – 192.*

УДК 539.21:669.01:548

ВОДЕНЬ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИЙ ЕНЕРГОНОСІЙ

Ю.Б.Басараба, Т.І.Луцишин

*Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу*

*76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15
yubasaraba@ukr.net*

На сьогодні майже 85 % енергії людство отримує із викопних ресурсів, таких як нафта, газ, кам'яне вугілля, торф, які є вичерпними. Прогнозується, що запасів цієї енергомісткої сировини людству, можливо, вистачить тільки на 100-160 років. Вичерпність викопного палива і зумовлені його використанням "парникові ефекти", які негативно впливають на екологічну ситуацію та спричиняють глобальне потепління планети, роблять надзвичайно актуальним розвиток нових підходів до енергетичного забезпечення людства. Радикальним чином вирішити енергетичну проблему можна тільки завдяки впровадженню альтернативних та відновлюваних джерел енергії. Таке впровадження передбачає використання водню як пального, розробку високоенергоємних хімічних джерел струму і накопичувачів енергії (зокрема паливні комірки, металогідридні джерела струму, літєві хімічні джерела енергії), біопаливо, використання гідроелектроенергії малих та гірських рік, енергії геотермальних вод, енергії Сонця, вітру, енергії за рахунок спалювання відходів тощо. За прогнозом Світового енергетичного конгресу за рахунок альтернативних енергогенеруючих систем у 2020 р. планувалося забезпечити 5,8 % загального енергоспоживання планети. Високорозвинені країни (США, Японія, Євроспільнота та інші) планували довести частку альтернативного енергоспоживання до 20 % [1,2].

Чому останнє десятиліття серед глобальних шляхів вирішення енергетичних проблем людства інтенсивно обговорюється можливість використання водню як ефективного палива? Теплотворна здатність водню складає 142 МДж/кг і за