

## ПРОГНОЗУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНИХ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ

**Р. С. Грабовський, І. Я. Федорович, О. М. Лепак**

Національний технічний університет нафти і газу,  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, [igorrrf@bigmir.net](mailto:igorrrf@bigmir.net)

Магістральні нафтогазопроводи після тривалої експлуатації зазнають суттєвих локальних корозійних пошкоджень у вигляді виразок та борозенок. Крім того, в ході їх тривалої експлуатації виникають та поширюються корозійно-механічні дефекти різних форм та розмірів, серед яких найнебезпечнішими є корозійно-втомні тріщини. Під впливом корозивних середовищ, температури, пульсації робочих тисків тощо вони розвиваються, порушуючи цілісність трубопроводу. Зазначимо також, що тривала експлуатація зумовлює деградацію механічних та корозійно-механічних властивостей сталей трубопроводів, особливо характеристик опору крихкому руйнуванню [0]. Тому визначення впливу форми, розміщення та орієнтації поверхневих тріщиноподібних дефектів, робочих середовищ та умов навантаження на характер їх розвитку у стінках труб експлуатованих нафтогазопроводів є актуальною науково-технічною проблемою.

Метою даної роботи є оцінювання закономірностей розвитку поверхневих тріщиноподібних дефектів у стінках труб нафтогазопроводів у залежності від їх форми та робочих середовищ, що ґрунтується на підходах механіки руйнування.

Під час досліджень використали методику аналітично-числової оцінки кінетики та зміни форми корозійно-втомних тріщиноподібних дефектів [0]. Умови експерименту максимально відображали експлуатаційні умови (корозивне середовище, деградаційні процеси та навантаження). Діаграми циклічної тріщиностійкості одержали шляхом випробування балкових зразків, виготовлених із фрагментів експлуатованих труб нафтопроводу “Дружба” (47 років, сталь 10Г2БТЮ3) та газопроводу “Київ-Західна Україна” (41 рік, сталь 17Г1С). Випробування проводили на повітрі і в корозивному середовищі ( $pH 6,7$ ) NS4 (0,483 NaHCO<sub>3</sub> g/l; 0,120 KCl; 0,137 CaCl<sub>2</sub>; 0,131 MgCl<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O), яке слугувало моделлю ґрунтової води. Температура досліджуваних середовищ була постійною  $T = 20^{\circ}C$ . Частота циклічного навантаження синусоїдальної форми становила 1 Гц, а коефіцієнт асиметрії –  $R_n = 0$  – для нафтопроводу та  $R_n = 0,8$  – для газопроводу.

У таблиці 1 наведено значення констант степеневі залежності Паріса [0].

Таблиця 1 – Характеристики циклічної тріщиностійкості експлуатованих сталей нафтогазопроводів

Система “метал труби – середовище”	$C,$ $\frac{M}{цикл} \cdot (MPa\sqrt{M})^{-n}$	$n$	$\Delta K_{th},$ $(MPa\sqrt{M})^{-n}$	$\Delta K_{fc},$ $(MPa\sqrt{M})^{-n}$	$R = \frac{\Delta K_{Imin}}{\Delta K_{Imax}}$
10Г2БТЮ3 - повітря	$3,24 \cdot 10^{-18}$	5,44	39,31	130,19	0
10Г2БТЮ3 - NS4	$7,50 \cdot 10^{-40}$	17,19	48,16	98,28	0
17Г1С - повітря	$9,12 \cdot 10^{-13}$	3,62	8,59	41,87	0,8
17Г1С - NS4	$4,96 \cdot 10^{-14}$	5,14	10,93	37,12	0,8

Вивчали два типи найбільш характерних форм тріщиноподібних дефектів, що виявляються в процесі технічного діагностування трубопроводів: технологічні ризики, продовгуваті експлуатаційні боріздки (канавки) розглядали в інтервалі  $1/100 \leq (a/c)_i \leq 1/10$ , а корозійні виразки – в інтервалі  $1/10 < (a/c)_i \leq 1/3$ .

Оцінювали також міцність та ризик руйнування експлуатованих нафтогазопровідних труб за показником “опірність елемента конструкції (труби) поширенню тріщини”. Крім того, визначали глибину корозійно-втомної тріщини, тобто характерний для системи “метал труби – середовище”

параметр  $(a/t)^*$ , починаючи з якого різко зростає швидкість зміни  $(dK_I/da)$  коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_I$  [0].

Аналіз отриманих результатів засвідчує: 1) що розвиток продовгуватих півеліптичних тріщин  $(1/100 \leq (a/c)_i \leq 1/20)$  відбувається насамперед за умови різкого зростання параметра  $(dK_I/da)$ , тоді як для “коротких” півеліптичних тріщин  $(1/10 \leq (a/c)_i \leq 1/3)$  параметр  $(dK_I/da)$  змінюється незначно. Як наслідок, за умови  $(a/t)^* < (a_{th}/t)$ , різко зростає швидкість поширення тріщини. Також із зменшенням співвідношення  $(a/c)_i$  значення параметра  $(a/t)^*$  знижується, що свідчить про знеміцнення матеріалу.

2) тривалість експлуатації трубопроводів (деградація металу труб) та середовище (NS4) суттєво впливають на швидкість поширення тріщин. Оскільки у металу нафтопроводу “Дружба” в середовищі вона в 1,93 раза більша, ніж на повітрі, а для металу газопроводу “Київ-Західна Україна” – у 1,35 рази відповідно.

Таким чином, продовгуваті півеліптичні корозійно-втомні тріщини  $(1/100 \leq (a/c)_i \leq 1/20)$  більш небезпечні, ніж “короткі” тріщини з формою у вигляді корозійної виразки  $(1/10 \leq (a/c)_i \leq 1/3)$ . Також встановлено, що гранична форма півеліптичної тріщини в логарифмічній системі координат практично лінійно зв’язана з її початковою формою

$$(a/c)_i = B \cdot ((a/c)_0)^m. \quad (1)$$

Аналіз взаємозв’язку початкових та граничних форм півеліптичних тріщин для досліджуваних магістральних нафтогазопроводів дає підставу стверджувати, що між ними існує певна критеріальна залежність. Це дає змогу інтерпретувати результати їх технічного діагностування, а також оцінити небезпечність виявлених дефектів та ризик руйнування трубопроводів.

### Висновки

Запропоновано методику оцінювання поведінки поверхневих тріщиноподібних дефектів та експлуатаційних середовищ, що ґрунтується на підходах механіки руйнування та враховує зміну форми дефекту під час його розвитку. Вона дає можливість виокремити потенційно небезпечні та потенційно безпечні корозійно-втомні тріщини; оцінити кінетику їх розвитку і залишкову довговічність (кількість циклів до руйнування) нафтогазопроводу.

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посіб. / За заг. ред. В. В. Панасюка. – Том 13: Працездатність матеріалів і елементів конструкцій з гострокінцевими концентраторами напружень / І. М. Дмитрах, Л. Тот, О. Л. Білий, А. М. Сиротюк. – Львів: СПОЛОМ, 2012. – 316 с.
2. Грабовський Р. С. До оцінки кінетики росту втомних тріщин в стінках трубопроводів / Р. С. Грабовський, В. С. Лужецький, Т. М. Горб’як // *Машинознавство*. – 2005. – №4 (94). – С. 7-10.

УДК 622.24.058

## ОЦІНКА ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ МАХОВИХ МАС БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

*Гриджук Я.С.*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76019, Івано-Франківськ,  
Карпатська, 15, тел. (0342) 717967, [jaroslav.gridzhuk@gmail.com](mailto:jaroslav.gridzhuk@gmail.com).*

Вибір оптимальних параметрів режиму буріння є одним із основних факторів, які впливають на покращення техніко-економічних показників при спорудженні свердловин. Така особливість обумовлюється сучасними вимогами щодо точності та швидкості проводки свердловин, а також вартості метра проходки. На даний час використовують різні методи для оптимізації процесу буріння шляхом аналізу показників ефективності через регулювання режимно-технологічних параметрів в