



УДК 620.191.33:620.194.8

## **ЕКСПРЕС-ОЦІНКА УМОВ ПОТЕНЦІЙНОГО РУЙНУВАННЯ ДЕФЕКТНИХ ТРУБОПРОВОДІВ**

**І.Я. Федорович, О.М. Лепак**

*Національний технічний університет нафти і газу,  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15  
igorrrrf@bigmir.net*

Аналіз аварійних ситуацій що виникають в процесі експлуатації трубопроводів засвідчує, можливість реалізації двох сценаріїв. У першому випадку спостерігається розгерметизації труби, другий випадок характеризується катастрофічним (лавинним) руйнуванням трубопроводу, яке інколи сягає декількох кілометрів. Визначальною умовою реалізації одного з двох сценаріїв є критичний розмір наскрізного тріщиноподібного дефекту.

У зв'язку з цим, визначення критичних розмірів наскрізних тріщиноподібних дефектів та прогнозування умов неконтрольованого руйнування дефектних труб магістральних нафтогазопроводів є актуальною науково-технічною проблемою.

Метою даної роботи є оцінка умов руйнування магістральних трубопроводів тривалої експлуатації ґрунтуючись на підходах механіки руйнування.

Процесу руйнування металу трубопроводу притаманна певна стадійність, яка визначається впливом як робочих корозійних середовищ так і тривалих механічних навантажень. На першій стадії на поверхні металу труби наявні технологічні (риски) або утворені корозійні (виразки) дефекти переростають в макротріщину з пороговим розміром  $c_{th}$ . На другій стадії, при домінуючій участі механічного фактору, відбувається поширення макротріщини під впливом діючих в трубі циклічних навантажень  $K_I$  до критичних розмірів  $2a_c$ . Третя стадія характеризується за певних умов катастрофічним поширенням тріщини вздовж твірної труби.

Цілісність трубопроводу з наскрізною тріщиною необхідно оцінювати за енергетичним критерієм руйнування: тріщина починає рости, якщо інтенсивність енергії  $J$ , що звільнилася, досягає критичної величини  $J_c$ .



Досліджували експлуатований 41 рік при максимальному робочому тиску газу  $p_{max}=5,4$  МПа метал (сталь 17Г1С,  $\sigma_B=562,5$  МПа) магістрального газопроводу “Київ–Західна Україна” та експлуатований 47 років при максимальному тиску нафти  $P_{max}=4,1$  МПа метал (сталь 10Г2БТЮ3,  $\sigma_B=584,7$  МПа) магістрального нафтопроводу “Дружба”. Випробування проводили як на повітрі так і в корозійному середовищі ( $pH$  6,7) NS4, яке слугувало моделлю ґрунтової води.

Враховуючи стабільність процесу руйнування металу трубопроводу, оцінювання умов руйнування експлуатованих трубопроводів проводили у два етапи.

Використовуючи методіку аналітично-числової оцінки кінетики та зміни форми корозійно-механічних тріщиноподібних дефектів у процесі їх розвитку в стінці труби, яка дає змогу прогнозувати особливості її руйнування в експлуатаційних умовах та обчислили руйнівні розміри напівеліптичної тріщини  $2a_t^*$ .

Оцінку цілісності трубопроводу з наскрізною тріщиною проводили шляхом порівняння її розміру  $2a_t^*$  із обчисленим за критерієм тріщиностійкості розміром ( $2a_c$ ) наскрізної критичної тріщини

$$a_c = \frac{1}{\pi} \cdot \left( \frac{K_{Jc}}{F_I \cdot \sigma_p} \right)^2$$

де  $\sigma_p$  – максимальні розтягувальні напруження,

$$\sigma_p = \frac{P_{max} R}{t}, \quad \lambda = \frac{a_{K_i}}{\sqrt{R \cdot t}},$$

$a_{K_i}$  – півдовжина наскрізної тріщини,

$$F_I = 1 + 0,072449 \cdot \lambda + 0,64856 \cdot \lambda^2 - 0,2327 \cdot \lambda^3 + 0,038154 \cdot \lambda^4 - 0,0023478 \cdot \lambda^5,$$

$$K_{Jc} = \sqrt{\frac{J_c \cdot E}{(1 - \mu^2)}},$$

$J_c$  – критична тріщиностійкість,  $E$  – модуль Юнга,  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Критичну тріщиностійкість  $J_c$  визначали дослідним шляхом використовуючи експериментально одержану діаграму руйнування зразків “зусилля–прогин”. Випробування проводили на універсальній розривній машині FP-100/1. Швидкість навантаження зразка становила 1 мм/хв і залишалася постійною протягом усіх випробувань. За даними експерименту визначали роботу руйнування



$$A = \int_0^{f_{\max}} P(f) df .$$

**Таблиця 1 – Наскрізнi  $2a_t^*$  та критичні  $2a_c$  розміри корозійно-втомних тріщин для труби газопроводу**

| Система<br>“сталь–середовище” | $c_{th}/a_0$ | $2a_t^*$ ,<br>мм | $K_{Jc}$ ,<br>МПа $\sqrt{м}$ | $2a_c$ ,<br>мм |
|-------------------------------|--------------|------------------|------------------------------|----------------|
| 10Г2БТЮ3–пов.                 | 1/300        | 376,7            | 431,8                        | 426,8          |
| 10Г2БТЮ3–NS4                  | 1/225        | 419,2            | 421,4                        | 419,2          |
| 10Г2БТЮ3–NS4                  | 1/300        | 555,9            | 421,4                        | 419,2          |
| 17Г1С–повітря                 | 1/40         | 214,9            | 232,8                        | 248,6          |
| 17Г1С–NS4                     | 1/38         | 220,0            | 201,8                        | 220,0          |
| 17Г1С–NS4                     | 1/40         | 242,2            | 201,8                        | 220,0          |

Після експерименту проводили заміри зламу поверхні руйнування зразка та визначали її площу  $S$ .

Величину  $J_{Ic}$  визначали як роботу витрачену на деформування зразка з наведеною тріщиною, як елемента конструкції при якій він втрачає свої несучі властивості, віднесену до нетто площі деформованої поверхні зразка

$$J_c = \frac{A}{S} .$$

## Висновки

Запропоновано методикау визначення критичної тріщиностійкості металу трубопроводів на базі експериментально одержаних діаграм руйнування зразків “зусилля–прогин”. Розраховано за критерієм тріщиностійкості критичні розміри наскрізної тріщини ( $2a_c$ ) для досліджуваних нафтогазопроводів. Обчислено руйнівні розміри напівеліптичних тріщин ( $2a^*$ ) враховуючи початкову форму півеліптичних експлуатаційних дефектів використовуючи методикау аналітично-числової оцінки кінетики та зміни форми корозійно-механічних тріщиноподібних дефектів у процесі їх розвитку в стінці труби.

Одержані числові дані можуть слугувати базою для інтерпретації тріщиноподібних дефектів виявлених в процесі технічного діагностування тривало експлуатованих нафтогазопроводів.