

УДК 519.718

*Сеснедес Гарсія П.Д., наук. співробітник,
Сеснедес Гарсія Н.В., наук. співробітник*

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТРУБОПРОВОДІВ З УРАХУВАННЯМ КОРОЗІЙНИХ ЗОН

Запропонована методологія прогнозування залишкового ресурсу трубопроводів базується на застосуванні ймовірісно-фізичної моделі відмов, що використовує статистичні або прогнозні дані для визначення її параметрів. Модель описується дифузійно-монотонним DM -розподілом і дозволяє визначати як наробіток до граничного стану за заданою ймовірністю, так і ймовірність відмови за заданий період.

За обмеженої або відсутньої статистики застосовуються альтернативні підходи для визначення параметрів DM -розподілу: детерміністичний метод стандарту API 570 [1] для прогнозування швидкості розвитку дефекту та підхід ASME B31G [2] для встановлення граничного значення його розміру. За цими методами визначають розрахунковий тиск руйнування і оцінюють допустимість дефекту відносно робочого тиску. Для кородованого трубопроводу граничний стан визначається глибиною корозії або товщиною стінки і використовується як критерій відмови при ймовірнісному моделюванні часу його досягнення. Це значення застосовується у моделі дифузійно-монотонного DM -розподілу відмов за ДСТУ 8646:2016 для оцінки залишкового ресурсу об'єкта.

Практична реалізація підходу базується на оцінці допустимості корозійного дефекту за модифікованою методикою рівня 1 відповідно до стандарту ASME B31G. Для цього з урахуванням коефіцієнта форми дефекту z_c визначається фактор Фоліаса M , який залежить від довжини дефекту L , номінального діаметра труби D та товщини стінки wt .

$$M = \begin{cases} \sqrt{1 + 0,6275z_c - 0,003375z_c^2}, z_c \leq 50 \\ 0,032z_c + 3,3, z_c \geq 50 \end{cases}, \text{ де } z_c = \frac{L^2}{Dwt} \quad (1)$$

Далі визначається рівень напруження S_F , що призводить до відмови, на основі глибини корозії d та напруги потоку $S_{flow} = SMYS + 68,95$ МПа [2], де $SMYS$ – мінімальна межа плинності. Допустимість дефекту визначається умовою, що прогнозований тиск руйнування перевищує робочий тиск P_o з урахуванням коефіцієнта безпеки $SF \approx 1,39$ [2].

$$\left(S_{flow} \left[\frac{1 - 0,85(d/wt)}{1 - 0,85(d/wt)/M} \right] 2wt / D \right) \geq (SF \cdot P_o) \quad (2)$$

Для оцінки придатності об'єкта з урахуванням плинності часу необхідно визначити швидкість розвитку дефекту за детерміністичним методом відповідно до API 570 на основі параметрів d та L , після чого проводиться прогноз зміни розмірів дефекту та перевірка умов придатності об'єкта для подальшої експлуатації за ASME B31G.

Вищеописані методи дозволяють визначити залежність прогнозованого тиску руйнування від розмірів дефекту та строку експлуатації. За результатами цієї серії розрахунків встановлюється глибина дефекту d_f , при якій умова (2) порушується, що свідчить про недопустимість подальшої експлуатації трубопроводу відповідно до вимог ASME B31G.

Для застосування ймовірно-фізичного методу прогнозування залишкового ресурсу на основі дифузійно-монотонного DM -розподілу відомо визначаються параметри форми v та масштабу μ . Для цього на дефектній ділянці виконують вимірювання товщини стінки у $n = 30$ рівномірно розташованих сегментах P_i по окружності та вздовж об'єкта, наприклад за допомогою оптичних 3D-сканерів або глибиномірів, що дозволяє врахувати вплив окружних напружень. Параметри DM -розподілу визначаються класичними методами на основі вимірювань товщини стінки: масштаб μ розраховується за граничним значенням d_f , наробітком τ та середньою швидкістю дефекту з урахуванням лише ненульових значень P^* (n^* – кількість елементів), а параметр форми v – через коефіцієнт варіації глибин корозії вибірки P^* .

Оцінка залишкового ресурсу здійснюється за кумулятивною функцією наробітку до граничного стану $\Phi(z)$, яка залежить від параметрів масштабу μ та форми v і визначає ймовірність відмови до часу t :

$$F(t) = DM(t; \mu; v) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right), \text{ де } \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (3)$$

Параметри масштабу μ та форми v визначають ймовірність досягнення граничного стану $\Phi(z)$ для заданих наробітків t , що дозволяє оцінити залишковий ресурс, наробіток до граничного стану за заданою ймовірністю та ймовірність відмови за певний період.

Список використаних джерел:

1. API 570: Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems, 5th ed. Washington, DC: American Petroleum Institute, 2024.

2. ASME B31G: Manual for Determining Remaining Strength of Corroded Pipelines. New York: American Society Mechanical Engineers, 2023.