

УДК 621.643:681

О.Ю. ШЕПЕЛЬ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ
МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ**

В статті наведена математична модель визначення стрес-корозійних дефектів на магістральних трубопроводах. Для достовірності результатів діагностики технічного стану МГ слід враховувати оцінку ступеня небезпеки дефектів з урахуванням залишкової довговічності дефектних конструктивних елементів, вибір методу діагностування, розрахунок залишкової працездатності ділянки, визначення терміну подальшого обстеження ділянки. Розглянуто зв'язок розрахункового тиску руйнування з геометричними параметрами окремого дефекту. При оцінці небезпеки декількох поруч лежачих дефектів застосовують метод перебору та виділяють з них групу послідовно розташованих дефектів. Запропонована математична модель дозволяє обчислювати термін безпечної експлуатації дефектної труби та термін контрольного виміру параметрів дефектної області.

Ключові слова: математична модель, магістральні трубопроводи, стрес-корозійні дефекти, розрахунковий тиск.

Вступ

На даний час однієї з основних проблем надійності експлуатаційних магістральних трубопроводів нафтогазової промисловості є фізичний знос трубопроводів. Висока інтенсивність аварій носить не випадковий характер їх прояву. Щоб надійно оцінити експлуатаційний термін трубопроводів, необхідний комплексний підхід, важливою складовою якого є визначення напруженого стану труби, зокрема, в місцях із дефектами та в зварних з'єднаннях, з якими пов'язано 70 – 80% усіх відмов на магістральних трубопроводах.

Складність ремонтно-відновлювальних робіт вимагають проведення подальших досліджень в області підвищення ефективності експлуатації трубопроводних систем, вдосконалення структур управління, організації і проведення технічного обслуговування та ремонту [1].

Аналіз досліджень та публікацій. Усі виявлені дефекти класифікують за ступенем їх небезпеки для ухвалення обґрунтованих рішень про заміну, проведення ремонту труб або організацію спостереження за виявленими дефектами протягом встановленого терміну.

Фактори, що визначають вибір параметрів пошкодження сухопутної частини чи підводного переходу трубопроводу, наступні:

- характер ушкодження (тріщина, свищ, вм'ятина, арка, розрив по перетину і т.п.);
- геологічні та гідрогеологічні умови проходження траси (болото, глибина і ширина водойми,

швидкість течії, хвильовий режим, геологічна будова для водойми);

- техніко-економічне обґрунтування [2].

Моніторинг технічного стану МГ ґрунтується на використанні діагностичної інформації, а саме:

- проектної інформації про результати лабораторних досліджень ґрунтів, матеріалів і конструктивних елементів (КЕ), заводських випробувань виробів і устаткування, виробничої документації, приймально-здавальних випробувань МГ (потенційно руйнівний метод діагностики - випробувальне навантаження конструкцій вище за робоче навантаження на 25 – 50%);

- інформації про поточну експлуатацію системи за матеріалами періодичних обстежень і вимірювань, спостережень (зокрема за робочим внутрішнім тиском і температурою продукту за допомогою вбудованих засобів контролю системи датчиків і контрольно-вимірювальних приладів, вмонтованих в загальну конструкцію газопроводу) за динамікою системи і навколишнього середовища в зоні розташування МГ, включаючи отримання інформації про прийняті заходи по підвищенню надійності і безпеки експлуатації системи, про ремонтні і відновлювальні роботи, аж до реконструкції системи.

Для підвищення достовірності результатів комплексної діагностики технічного стану МГ слід враховувати оцінку ступеня небезпеки дефектів з урахуванням залишкової довговічності дефектних конструктивних елементів, вибір методу діагностування, розрахунок залишкової працездатності ділянки, визначення терміну подальшого обстеження ділянки [3].

Постановка задачі

Розробка математичної моделі для діагностики пошкоджень магістральних трубопроводів.

Рішення задачі

Оцінимо небезпеку стрес-корозійних дефектів по максимальній глибині і довжині поздовжньої проекції дефектів.

Зв'язок розрахункового тиску руйнування з геометричними параметрами окремого дефекту має вигляд:

$$P_n = \frac{\sigma \delta}{R} \left(\frac{\delta - K_n t_{\max}}{\delta - K_n t_{\max} M_n^{-1}} \right), \quad (1)$$

де δ – товщина стінки труби, мм; R – внутрішній радіус труби, мм; σ – напруження текучості; P_n – розрахунковий тиск руйнування труби для окремого дефекту, МПа; K_n – коефіцієнт, що враховує конфігурацію дефектів; t_{\max} – максимальна глибина дефекту, мм; M_n – коефіцієнт Фоліаса, розрахований для довжини L_n :

$$M_n = \sqrt{1 + 1,32 \frac{(L_n / 2)^2}{R \delta}}. \quad (2)$$

Попередній термін безпечної експлуатації труби з окремим дефектом визначають за формулами:

при $t_{\max} / \tau_{\text{екс}} > V_{t \min}$

$$\tau_3 = \tau_{\text{екс}} \left(\frac{t_{\text{роб}}}{t_{\max}} - K_n \right); \quad (3)$$

при $t_{\max} / \tau_{\text{екс}} \leq V_{t \min}$

$$\tau_3 = \frac{t_{\text{роб}} - K_n t_{\max}}{V_{t \min}}, \quad (4)$$

де $\tau_{\text{екс}}$ – час роботи газопроводу з моменту його введення в експлуатацію до моменту обстеження, роки; $t_{\text{роб}}$ – допустима при робочому тиску глибина прямокутної апроксимації дефекту, мм; $V_{t \min}$ – швидкість зміни глибини дефектів мм/рік.

При оцінці небезпеки декількох поруч лежачих дефектів методом перебору виділяють з них групу послідовно розташованих дефектів, для яких розрахунковий руйнівний тиск, визначений по формулі (5) є мінімальним:

$$P_c = \frac{\sigma \delta}{R} \left(\frac{\delta \left(\sum_{n=1}^N L_{\text{деф } n} + \sum_{m=1}^M L_{\text{пер } m} \right) - K_n \sum_{n=1}^N L_{\text{деф } n} t_{\max n}}{\delta \left(\sum_{n=1}^N L_{\text{деф } n} + \sum_{m=1}^M L_{\text{пер } m} \right) - \frac{K_n \sum_{n=1}^N L_{\text{деф } n} t_{\max n}}{M_c}} \right), \quad (5)$$

де P_c – розрахунковий тиск руйнування труби з декількома дефектами, МПа; $L_{\text{деф } n}$ – довжина n -го дефекту, мм; n – номер дефекту; N – кількість дефектів в дефектній області; $L_{\text{пер } m}$ – довжина m -ї перемички між дефектами, мм; $t_{\max n}$ – максимальна глибина n -го дефекту, мм; M_c – коефіцієнт Фоліаса, розрахований для довжини дефектної області:

$$M_c = \sqrt{1 + 1,32 \frac{\left(\sum_{n=1}^N L_{\text{деф } n} + \sum_{m=1}^M L_{\text{пер } m} \right)^2}{4R \delta}}. \quad (6)$$

Отримане значення руйнівного тиску порівнюють зі значеннями, розрахованими для кожного дефекту окремо, формула (1). Якщо руйнівний тиск, визначений для будь-якого з окремих дефектів, виконують оцінку небезпеки знайденої групи дефектів по формулі:

$$\tau_3 = \frac{A_{c, \text{роб}} - A_c}{V_{A_c}}, \quad (7)$$

де $A_{c, \text{роб}}$ – допустима при робочому тиску площа проекції дефектної області; A_c – площа втрати металу на проекції дефектної області; V_{A_c} – швидкість зміни площі втрати металу на проекції дефектної області.

В іншому випадку виконують оцінку небезпеки для окремого дефекту за формулами (3), (4).

В межах термін вимірювання параметрів дефектів, визначених по вище наведених формулах, дефектну трубу розкривають, вимірюють параметри дефектів і за отриманими даними виконують класифікацію стрес-корозійних дефектів за ступенем небезпеки.

Повздовжній переріз стінки дефектної труби розбивають на ділянки межі яких співпадають з проекціями точок вимірів глибини дефектної області і площі втрати металу для кожної ділянки. Далі обчислюють термін безпечної експлуатації дефектної труби та термін контрольного виміру параметрів дефектної області.

Приймають рішення про заміну або подальшу експлуатацію дефектної труби. Дефекти труби, що залишаються в трубопроводі, як правило усувають. Якщо усунення дефекту являється неможливим, рекомендується встановлювати закладні датчики для контролю подальшого розвитку даного дефекту.

В разі встановлення закладного датчика, періодично визначають термін безпечної експлуатації труби, у випадку якщо закладний датчик на дефекти не встановлювався, після закінчення терміну контрольного виміру параметрів дефектної області трубу розкривають, виконують контрольний вимір і знову визначають термін безпечної експлуатації дефектної труби [4].

Висновок

В статті розглянуто математичну модель, що дає уявлення про термін безпечної експлуатації дефектної труби магістрального трубопроводу та термін контрольного виміру параметрів дефектної області.

Своєчасне виявлення та правильне визначення фактичних геометричних розмірів (величин зносу) в обладнанні магістральних газопроводів є однією з вимог забезпечення його безаварійної експлуатації, а прогнозування залишкового ресурсу різних видів обладнання має здійснюватися з дійсної величини зносу та його характеру.

Важливим етапом у вирішенні поставленої проблеми є розроблення нових та удосконалення існуючих методів математичного моделювання взаємодії зовнішніх фізичних полів з об'єктами контролю для кількості та достовірності діагностичної інформації.

Література

1. Оценка технического состояния и определение сроков безопасной эксплуатации трубопроводов / С.В. Алимов, Б.Н. Антипов, А.В. Захаров, А.Н. Кузнецов // Газовая промышленность. – 2009. – № 1. – С. 60-61.

2. Заміховський Л.М. Основи теорії надійності та технічної діагностики систем: навч. посібник / Л.М. Заміховський, В.П. Калявін. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2004. – 230 с.

3. Завойчинский Б.И. Прогнозирование долговечности конструкций магистральных газопроводов с учетом диагностики их технического состояния и условий безопасности / Б.И. Завойчинский, Э.Б. Завойчинская // Газовая промышленность. – 2008. – № 9. – С. 84-87.

4. Карпаш О.М. Технічна діагностика систем нафтогазопостачання / О.М. Карпаш, М.П. Возняк, В.М. Василюк. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – 341 с.

Надійшла до редакції 27.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедри інформаційних технологій В.П. Квасніков, Національний авіаційний університет, Київ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

А.Ю. Шепель

В статье рассматривается математическая модель определения стресс-коррозионных дефектов на магистральных трубопроводах. Для достоверности результатов диагностики технического состояния МГ следует учитывать оценку степени опасности дефектов с учетом остаточной долговечности дефектных конструктивных элементов, выбор метода диагностики, расчет остаточной трудоспособности участка, определение срока дальнейшего обследования участка. Рассмотрена связь расчетного давления разрушения с геометрическими параметрами отдельного дефекта. При оценке опасности нескольких рядом лежащих дефектов применяют метод перебора и выделяют из них группу последовательно расположенных дефектов. Предложенная математическая модель позволяет вычислять срок безопасной эксплуатации дефектной трубы и срок контрольного измерения параметров дефектной области.

Ключевые слова: математическая модель, магистральные трубопроводы, стресс-коррозионные дефекты, расчетное давление.

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF PIPELINES DAMAGES

O.U. Shepel

In this paper a mathematical model for determining the stress-corrosion defects on the pipelines. For the diagnostic of the results of technical evaluation of pipelines should consider the risk of defects, taking into account the residual life of defective structural elements, the choice of diagnostic method, the calculation of residual disability areas, the definition of areas for further examination. The relationship between the design pressure of fracture geometric parameters single defect. In assessing the dangers lying next few defects using the method of exhaustive search and distinguish them from the group consistently located defects. The proposed mathematical model allows to calculate the term of safe exoperating costs of the defective pipe and term control measurement of the defect area.

Key words: mathematical model, pipelines, stress-corrosion defects, the design pressure.

Шепель Олександра Юріївна – аспірантка кафедри інформаційних технологій Національного авіаційного університету, Київ, Україна.