

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ МАГІСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ ПРИ КАПІТАЛЬНОМУ РЕМОНТІ

DETERMINATION OF RELIABILITY OF MAIN PIPELINE DURING THE OVERHAUL

д.т.н., проф., Пічугін С.Ф., к.т.н., ст. викл. Зима О.Є., аспірант Винников П.Ю. (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

Dr.Sc., Prof. Pichugin S.F., PhD, senior lecturer Zyma O.E., post graduate Vynnykov P.Yu. (Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University)

Анотація

В статті розглянуто чинники, що впливають на надійність сталевих магістральних трубопроводів під час виконання робіт із капітального ремонту з заміною його ділянки. Пропонується методика оцінювання надійності таких конструкцій під час капітального ремонту (визначення ймовірності відмови та параметру надійності магістрального трубопроводу).

Abstract

Factors affecting the reliability of steel pipelines during the overhaul with the replacement of its areas are under consideration in the paper. The method for estimating the reliability of such structures during the overhaul is suggested (the determination of the probability failure and reliability parameter of the pipeline).

Вступ. На кожному з етапів життєвого циклу конструкція магістрального трубопроводу має певний рівень надійності [1]. Будемо вважати, що одразу після закінчення монтажу підземного магістрального трубопроводу та запуску його в експлуатацію, його надійність відповідає проектному рівню – рис. 1. У нормальному режимі роботи під дією зовнішніх впливів елементи конструкції зношуються, а загальна надійність трубопроводу поступово знижується. Тому для підвищення безпеки конструкції протягом терміну експлуатації проводяться поточні ремонти, котрі пов'язані із заміною ізоляції магістрального трубопроводу.

Однак з часом дефекти та пошкодження труби накоплюються, а фізичний знос самої труби досягає того рівня, при якому неможливо

забезпечити мінімальний рівень надійності конструкції при заданому режимі роботи. Визначення цього моменту є складною та неоднозначною задачею [2], котра пов'язує питання теорій міцності, надійності та технічного керування ризиками з практикою проведенень різного рівня технічних обстежень конструкцій та встановлення їх якісного технічного стану споруди. У такому випадку необхідно проводити капітальний ремонт магістральних трубопроводу шляхом заміни зношених ділянок його основного несучого елемента – труби.

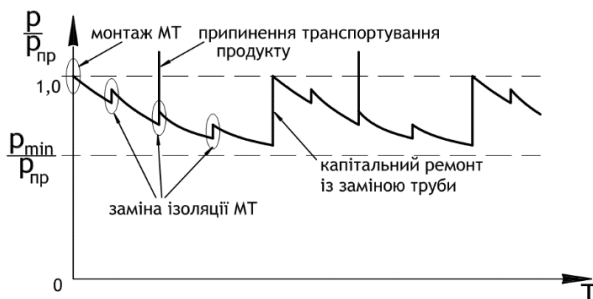


Рисунок 1. Схема зміни відносної надійності магістрального трубопроводу протягом його життєвого циклу: P – імовірність безвідмовної роботи початкова; $P_{пр}$ – імовірність безвідмовної роботи проектна; P_{min} – імовірність безвідмовної роботи мінімальна

Цей етап життєвого циклу має за мету відновлення проектного рівня надійності магістрального трубопроводу (або його ділянки). Він характеризується значною трудомісткістю робіт та капітальними витратами на замінювані елементи. Крім цього, з огляду на те, що проведення капітального ремонту пов'язане з втручанням в існуючу конструкцію, можна вважати, що надійність усього магістрального трубопроводу залежить від характеру прикладання зовнішніх навантажень до замінюючої та існуючої ділянок під час виконання монтажних операцій.

Огляд останніх джерел досліджень. На сьогоднішній день в основному розраховується експлуатаційний напружено-деформований стан конструкції трубопроводу, при цьому стану конструкції у нестационарних умовах роботи достатня увага не приділяється. Останнім часом ведуться спроби по оцінці надійності магістральних трубопроводів [3, 4, 6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Певну кількість праць присвячено питанням капітального ремонту та міцності конструкції під час його проведення [5], але майже не

дослідженням залишається питання оцінки надійності магістральних трубопроводів під час проведення робіт із капітального ремонту. Тому **метою роботи** є оцінити надійність конструкції магістрального трубопроводу під час проведення капітального ремонту та отримати числові значення імовірності безвідмовної роботи в цих умовах.

Основний матеріал і результати досліджень. Капітальний ремонт магістрального трубопроводу шляхом заміни ізоляційного (антикорозійного) покриття – специфічний етап життєвого циклу магістрального трубопроводу. Під час виконання необхідних для цього технологічних операцій у конструкції трубопроводу виникають додаткові напруження від згину під дією маси трубопроводу та продукту, що транспортується (у випадку проведення ремонту без зупинки перекачування). Такі напруження не притаманні трубопроводу під час його нормальної експлуатації. Оскільки на їх величину значною мірою впливає прийнята технологічна схема проведення ремонту (наприклад, у випадку збереження положення трубопроводу), то урахування цього фактору на етапі проектування є досить складною задачею, що залежить від багатьох факторів.

Зміна рівня надійності конструкції магістрального трубопроводу на цьому етапі його життєвого циклу взагалі не враховується. Розрахункові схеми проведення ремонту приймаються досить приблизно.

Очевидно, що оцінка фактичного рівня надійності магістрального трубопроводу, яка дає можливість застосувати теорію керування ризиками, дає змогу об'єктивно встановити необхідні параметри розрахункової схеми і розробити економічно доцільну технологічну карту на проведення даного рівня робіт. Враховуючи значну кількість подібних робіт, які щорічно проводяться на магістральних трубопроводах України, запропонований підхід дасть значний економічний ефект.

В якості прикладу виконаємо ймовірнісний розрахунок для ділянки магістрального трубопроводу з наступними параметрами: зовнішній діаметр магістрального трубопроводу складає $D_{зовн} = 1020$ мм, товщина стінки трубопроводу – $\delta = 9$ мм.

З урахуванням усіх перерахованих вимог технологічних параметрів при проведенні капітального ремонту магістральних трубопроводів було визначено деформовану схему нової ділянки конструкції трубопроводу (рис. 2).

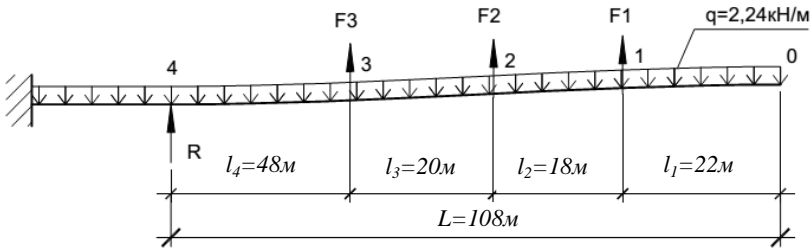


Рисунок 2. Розрахункова схема магістрального трубопроводу під час капітального ремонту

Оцінку надійності магістрального трубопроводу будемо проводити на основі аналізу резерву міцності з умови:

$$\tilde{Y} = \tilde{R} - \tilde{S} = \tilde{\sigma}_y - \tilde{\sigma} \geq 0,$$

де $\tilde{\sigma}_y$ – випадкова величина межі текучості сталі трубопроводу;

$\tilde{\sigma}$ – функція випадкової величини напружень від зовнішнього навантаження і впливів об'ємного напружено-деформованого стану трубопроводу.

Розрахунковими випадковими величинами у розглядуваній задачі надійності є:

- 1) межа текучості сталі трубопроводу $\tilde{\sigma}_y$;
- 2) відстань між трубоукладачами ТУ-1 та ТУ-2, що складає від 20 до 25 м;
- 3) відстань між трубоукладачами ТУ-2 та ТУ-3, що складає від 15 до 25 м.

Таким чином, функція надійності для сталевих магістральних трубопроводів під час капітального ремонту має вигляд:

$$\tilde{Y}(\tilde{\sigma}_y, \tilde{l}_2, \tilde{l}_3) = \tilde{\sigma}_y - \left(\begin{aligned} &-\frac{qx^2}{2} + (-F_1 l_1 + F_1 x) + (-F_2(l_1 + \tilde{l}_2) + F_2 x) + \\ &+ (-F_3(l_1 + \tilde{l}_2 + \tilde{l}_3) + F_3 x) \end{aligned} \right) / W. \quad (2)$$

Для подальшого аналізу отриманої функції необхідно визначитися із значеннями статистичних параметрів розрахункових величин. Для цього окреслимо вихідні дані до розрахунку надійності сталевих трубопроводів.

Матеріалом трубопроводу є сталь марки 17Г1С-Т з нормативним значенням опору $R_1'' = 589$ МПа і розрахунковим опором за методикою СНиП 2.05.06-85 $R_1 = 379$ МПа. Коефіцієнт варіації для

трубних сталей рівний $V_R = 0,1$, що визначає математичне очікування і стандарт для розглядуваної сталі $\bar{R} = 704,55$ МПа; $\hat{R} = 70,46$ МПа.

Середнє значення відстані між трубоукладачами ТУ-1 та ТУ-2 $\bar{l}_2 = 22,5$ м. Вважаючи, що величина цієї відстані практично не може бути більше вказаних значень, можна визначити стандарт та коефіцієнт варіації відстані між трубоукладачами ТУ-1 та ТУ-2: $\hat{l}_2 = (l_{\max} - \bar{l}_2) / 3 = 0,833$ м; $V_{l_2} = \hat{l}_2 / \bar{l}_2 = 0,037$.

Середнє значення відстані між трубоукладачами ТУ-2 та ТУ-3 $\bar{l}_2 = 20$ м, що, приймаючи вищевказані припущення, визначає стандарт та коефіцієнт варіації: $\hat{l}_3 = 1,67$ м; $V_{l_3} = \hat{l}_3 / \bar{l}_3 = 0,083$.

Приймаємо, що всі випадкові величини, які впливають на загальний резерв міцності розглядуваного трубопроводу, мають нормальний закон розподілу. Для параметра відстані між трубоукладачами це виходить із припущення про те, що на практиці прагнуть встановити техніку у відповідності з проектом (на відстані зі значенням математичного очікування), але внаслідок дії випадкових факторів технологічного або природного характеру можливе відхилення від передбачених параметрів. Причому це відхилення ймовірно відбудеться як у сторону збільшення, так і в сторону зменшення.

Зважаючи на вищесказане, функція надійності \tilde{Y} також має нормальний характер. При нормальному законі розподілу для визначення імовірності відмови необхідно обчислити характеристику безпеки за формулою $\beta = \bar{Y} / \hat{Y}$.

Математичне очікування $\bar{Y} = Y(\bar{\sigma}_y, \bar{l}_2, \bar{l}_3)$, стандарт $\hat{Y} = \sqrt{A_1^2 \hat{\sigma}_y^2 + A_2^2 \hat{l}_2^2 + A_3^2 \hat{l}_3^2}$, де $A_1 = \left. \frac{\partial Y}{\partial \sigma_y} \right|_{\sigma_y = \bar{\sigma}_y}$, $A_2 = \left. \frac{\partial Y}{\partial l_2} \right|_{l_2 = \bar{l}_2}$, $A_3 = \left. \frac{\partial Y}{\partial l_3} \right|_{l_3 = \bar{l}_3}$.

Після обчислення розглянутих статистичних параметрів для розглядуваної задачі $\bar{Y} = 426,55$ МПа.

Для визначення стандарту \hat{Y} спочатку обчислимо необхідні розрахункові коефіцієнти:

$$A_1 = \frac{\partial Y}{\partial \sigma_y} = 1; A_2 = -0,016 \text{ МПа} / \text{м}; A_3 = -0,0082 \text{ МПа} / \text{м}.$$

Підставимо отримані значення у формулу для обчислення \hat{Y} , будемо мати

$$\hat{Y} = \sqrt{1^2 \cdot 70,45^2 + (-0,016)^2 \cdot 0,74^2 + (-0,0082)^2 \cdot 1,67^2} = 70,45 \text{ МПа.}$$

Значення характеристики безпеки для розглядуваного трубопроводу рівне: $\beta = \bar{Y} / \hat{Y} = 6,05$, що відповідає ймовірності безвідмовної роботи $Q(\beta = 6,05) = 8,87 \cdot 10^{-10}$.

Висновок. В статті показано, що створення такого специфічного та нетипового напружено-деформованого стану конструкції, який виникає при капітальному ремонті, змінює надійність магістрального трубопроводу. Для оцінки фактичного рівня надійності конструкції на цьому етапі необхідно проводити принципово інший розрахунок надійності, котрий відрізняється від проектного як складом вихідних даних, так і за значеннями статистичних параметрів розрахункової схеми.

Список літератури:

1. Владимиров, В. И. Промышленная безопасность и надежность магистральных трубопроводов / В. И. Владимиров, В. Я. Каршенбаум. – М. : Нац. институт нефти и газа, 2009. – 696 с.
2. Использование категоризации напряжений и деформационных критериев при оценке прочности магистральных трубопроводов / И. В. Орыняк, А. В. Богдан, М. В. Бородий, В. В. Розгонюк, С. Ф. Билык // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – №4. – С. 12 – 23.
3. Pichugin S. F. Calculation of the reliability of steel underground pipelines / S. F. Pichugin, A. V. Makhin'ko // Strength of Materials.– Springer Science, 2009. – Vol. 41, Number 5. – P. 541 – 547.
4. Pichugin, S. Method for reliability estimation of the main pipeline steelwork structure / S. Pichugin, O. Zuma // Металеві конструкції. – Том 20. – № 2. – Макіївка, 2014. – С. 77 – 87.
5. Капитальный ремонт подземных нефтепроводов / А. Г. Гумеров, А. Г. Зубаиров, М. Г. Векштейн, Р. С. Гумеров, Х. А. Азметов – М. : 000 «Недра-Бизнесцентр», 1999. – 525 с.: ил.
6. Зима О.Є. Надійність сталеві конструкції магістрального трубопроводу: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Зима О.Є. – Полтава: ТОВ «Фірма «Техсервіс», 2014 – 24 с.