

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО СТАНУ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

Р. Т. Мартинюк, О. Т. Чернова, М. Р. Шиян

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +38(0342)72-71-38; e-mail:snr@nupq.edu.ua*

Основний принцип діагностування металоконструкцій довготривалої експлуатації (трубопроводів зокрема) ґрунтується на послідовних і систематичних вимірюваннях певних параметрів конструкції, на виявленні змін цих параметрів у процесі експлуатування і порівнянні їх з вихідними та на прогнозуванні зміни цих параметрів.

Застосування методів технічного діагностування та неруйнівного контролю для визначення фактичного технічного стану є штатною технологічною операцією і, як показує досвід, ефективним шляхом забезпечення технічної надійності та безпечної експлуатації трубопроводів і газотранспортної системи в цілому.

Для визначення фактичного стану нафтогазопроводів в статті використовувались методи неруйнівного контролю, кореляційного аналізу та сучасні методи статистичного оброблення експериментальних і довідкових даних (штучні нейронні мережі). Під час проведення теоретичних досліджень було використано методи факторного та регресійного аналізу. У ході виконання експериментальних досліджень використовувались методи планування експерименту, теорії ймовірностей.

Ключові слова: *живучості металоконструкції, параметри вимірювання, трубопроводи довготривалої експлуатації, технічний стан, технічне діагностування.*

Фізичні параметри поділяють на такі групи: кінематичні, геометричні, статичні, динамічні, теплові, акустичні, електричні та магнітні, механічні, атомно-фізичні, а також такі, що ґрунтуються на молекулярних властивостях матеріалів [1]. Вимірювання фізичних параметрів покладено в основу різних методів і засобів технічної діагностики, за допомогою яких аналізують стан конструкції. Найбільш важливими у практиці технічного діагностування є параметри надійності та живучості металоконструкції, що знаходяться у функціональній залежності від вимірюваних значень, отриманих за проведення електрометрії, віброакустики, дефектоскопії, структуроскопії, вимірювання механічних властивостей, складу речовини, деформацій тощо.

Ускладнення сучасної техніки, підвищення вимог до її надійності та неприпустимість виникнення аварійних ситуацій призводять до збільшення числа контрольованих структурних параметрів, а отже, необхідних вимірювальних засобів. Технічні засоби діагностування за характером використання можна умовно розділити на два класи: оперативні засоби та засоби діагностування, що застосовують при виготовленні, профілактичних оглядах, ремонтах, технологічних випробуваннях, передпускових випробуваннях. Ці засоби можуть бути як апаратними, так і програмними.

Сучасні підходи до оцінювання технічного стану трубопроводів довготривалої експлуатації і розрахунку залишкового ресурсу передбачають ведення історії експлуатування конструкції, вимірювання і моніторинг достатньо великої кількості діагностичних параметрів, передачу отриманих даних, їх оброблення та інтерпретацію.

Оцінювання фактичного технічного стану трубопроводів та прийняття рішень прийняття рішень про їх подальше експлуатування здійснюють з допомогою двох підходів – розрахункового, на основі існуючих моделей механіки руйнування, та фізичного, коли вимірюють і оцінюють визначені параметри матеріалу, зокрема фізико-механічні характеристики [2].

Перший підхід ґрунтується на принципах або лінійної механіки руйнування, або методик граничного переходу матеріалів, що деформуються, у нестійкий стан. Метод лінійної механіки руйнування дозволяє для різних класичних видів дефектів визначити критичні значення їх розмірів, тобто розмірів, які є нестійкими для заданої у розрахунках ситуації і повинні приводити до руйнування конструкції. До недоліків методу можна віднести відсутність чіткої теорії переходу від конфігурації реальної тріщини, виявленої у матеріалі металоконструкції, до тієї, яка покладена у основу розрахунків лінійної механіки руйнування; широкі діапазони зміни фізичних сталих, які входять у формули розрахунку, що приводить до суттєвих помилок у розрахунках. Так, наприклад, величина коефіцієнта інтенсивності напружень може відрізнятись для одного і того ж матеріалу, випробуваного за однакових умов, у 2,4 рази у відношенні до свого найменшого значення.

Застосування методу лінійної механіки руйнування на практиці потребує попереднього виконання широкого об'єму підготовчих робіт і власне робіт з контролювання. Необхідно контролювати достатньо велику кількість параметрів, що входять у розрахункову модель, а потім за ними розраховувати початок руйнування.

Щодо другого підходу, то фактичні фізико-механічні характеристики матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації визначають на взірцях-свідках або на взірцях, що вирізані з конструкції. Вирізати взірець з діючої металоконструкції економічно недоцільно. При виготовленні взірців із аварійних елементів металоконструкції виникає

ряд запитань, зокрема чи відповідає ступінь пошкодження металу аварійної ділянки основному об'єму металу всієї конструкції, оскільки при виготовленні взірця пошкоджений метал може видалятись, що приведе до суперечливих результатів.

Існують спроби екстраполяції фізико-механічних характеристик зразків, отриманих за лабораторних випробувань, що імітують експлуатаційні, а також зразків, вирізаних із зруйнованої конструкції, на реальні, які знаходяться у роботі. Проте коректних кореляційних залежностей не отримано.

Тому, більш перспективним видається визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкції неруйнівними методами [3].

Існуючі методи неруйнівного контролю, які використовують на трубопроводах у процесі їх експлуатування, у залежності від фізичних принципів роботи класифікують згідно схеми, наведеної на рис. 1 [2].

Усі методи, перераховані на рисунку, мають ті чи інші суттєві недоліки, через які використання їх для реєстрації пошкоженості металу конструкції, що змінюється у процесі експлуатування, практично неможливо. До них відносяться: жорсткі вимоги до підготовки поверхні, складність та громіздкість апаратури, труднощі однозначної інтерпретації отриманих результатів. Проте, основним недоліком є недостатня чутливість методів, і тому розмір дефектів, що виявляють, є для металоконструкцій близьким до критичного.

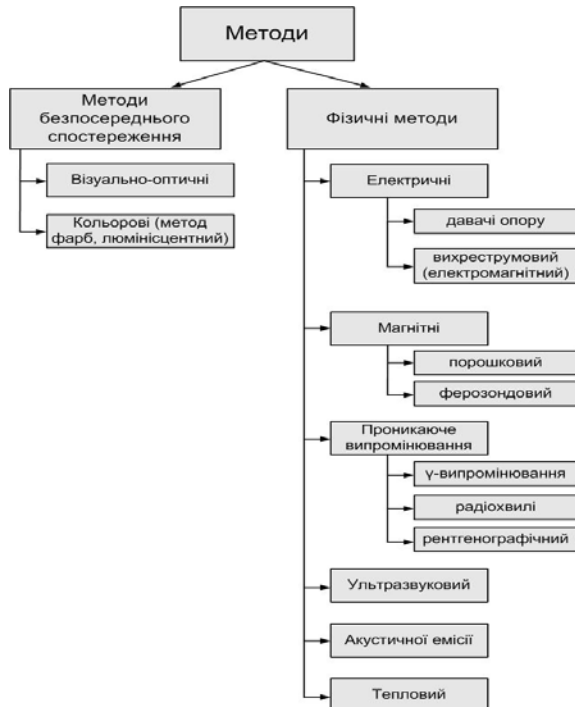


Рис. 1. Неруйнівні методи виявлення та спостереження за дефектами на трубопроводах

Для оцінювання фактичного стану металу трубопроводів позитивно себе зарекомендували електромагнітні методи неруйнівного контролю [4]. Завдяки своїй специфіці електрофізичні властивості металів на рівні кристалічної решітки пов'язані з механічними властивостями, пошкодженням структури, хімічним складом, режимами термообробки, пружними і пластичними деформаціями; електромагнітні методи дозволяють виявити не тільки розвинені дефекти, а також зони концентрації напружень і елементи конструкцій, у яких на рівні структури металу відбулися незворотні зміни. Тому кожна стадія процесу деформування-руйнування металу в умовах дії стискаючих і розтягуючих зусиль, температури може бути охарактеризована сукупністю електрофізичних параметрів, значення яких можуть бути виміряні. Таким чином, електромагнітні методи спрямовані не тільки на пошук розвинених дефектів, але і на здійснення ранньої діагностики, виявляючи ділянки об'єкта, найбільш схильні до пошкоджень.

Процес накопичення пошкоджень досліджують комплексним методом, який включає в себе вихреструмний контроль, вимірювання мікротвердості та металографічний аналіз. Інформацію про накопичення пошкоджень отримують у процесі випробувань при виявленні екстремумів у співставленні параметрів вихреструмного контролю, мікротвердості та мікроструктури зразків. Однак застосування на практиці такого комплексного підходу потребує спеціальної підготовки поверхні та неперервного спостереження за об'єктом.

Оцінку рівня пошкоженості проводять методом акустичної емісії. Цей метод розроблений на достатньо високому рівні та використовується для обстеження конструкцій. Складність його застосування полягає у однозначному виділенні корисного сигналу, що відповідає розвитку дефекту, який в даних умовах експлуатації розвивається з найбільшою швидкістю і може привести до руйнування конструкції.

У роботі [5] описані дослідження з визначення кореляційних залежностей між різними механічними і магнітними характеристиками феромагнітних сталей, при цьому магнітні характеристики визначались на основі аналізу електрорушійної сили від шумів Баркгаузена. Експериментальна установка містила П-подібний електромагніт, що живився струмом низької частоти та вимірювальну котушку на феритовому сердечнику, сигнал з якої подавався на цифровий осцилограф з системою фільтрів. Відфільтровані сигнали електрорушійної сили після їх перетворення у цифровий вигляд аналізувались на комп'ютері. Дослідженню піддавались зразки розміром $10 \times 10 \times 55$ мм, виготовлені із сталі 09Г2С з різною термообробкою. Після вимірювання характеристик сигналу електрорушійної сили зразки випробовувались руйнівними методами з метою визначення їх ударної в'язкості.

Числовому аналізу піддавались характерні пакети стохастичних імпульсів електрорушійної сили, отримані при перемагнічуванні дослі-

джуваних зразків. При цьому кожному півперіоду перемагнічування відповідав один пакет таких імпульсів. Проінтегрувавши отримані пакети по намагнічуючому полю, отримали ряд часткових петель гістерезису, після аналізу яких відтворили криву початкового намагнічування. Провівши аналіз кривої початкового намагнічування. Отримали залежність диференціальної магнітної проникності від прикладеного магнітного поля.

Експерименти показали, що максимум диференціальної магнітної проникності пропорційний ударній в'язкості металу. При цьому кореляційна залежність максимуму диференціальної магнітної проникності від ударної в'язкості, у досліджуваному діапазоні, близька до лінійної. Крім того, значення намагнічуючого поля, що відповідає середині області Релея, прямо пропорційний межі міцності матеріалу.

Останнім часом великий інтерес представляють непрямі магнітні методи контролю напружено-деформованого стану трубопроводів, що ґрунтуються на кореляції магнітних і механічних параметрів металу. Розроблені методи і технічні засоби вимірювання механічних напружень металу за магнітними діагностичними параметрами володіють рядом важливих для раннього діагностування напружено-деформованого стану елементів металоконструкції переваг. Це неруйнівна дія процесу контролю, висока продуктивність контролю у польових умовах, можливість дистанційного контролю з моніторингом напружено-деформованого стану металоконструкції у процесі експлуатування. Проте є й недоліки: однозначність показів індикаторів механічних напружень за магнітними шумами і магнітною анізотропією металу тільки в області пружної деформації металу і невизначеність показів в області його пластичної деформації; значна похибка (близько 30%) визначення величини механічних напружень у металі за пружних та пружно-пластичних деформацій та ін.

Контроль напружено-деформованого стану елементів металоконструкцій проводять із використанням технічних засобів для реєстрації магнітних шумів, магнітної анізотропії металу, коерцитивної сили та магнітної пам'яті металу [3, 4].

Очевидно, що всі або навіть більшість факторів, що впливають на технічний стан трубопроводу, а отже і на його залишковий ресурс експлуатування, врахувати неможливо. Однак розширення кількості таких факторів буде сприяти підвищенню точності розрахунку залишкового ресурсу.

У більшості практичних розрахунків залишкового ресурсу трубопроводів застосовують підхід, що ґрунтується на оцінюванні зносу стінки за рахунок поверхневої корозії (загальної або локальної). У деяких випадках такий підхід є виправданим, проте у решті він є занадто спрощеним, оскільки у розрахунку враховують і використовують тільки один найбільш доступний фактор, який впливає на ресурс – ко-

розійний знос. Проте добре відомо, що у процесі експлуатування метал деградує, а ступінь деградування у кінцевому результаті визначає залишковий ресурс металокопструкції. Цей процес є багатофакторним і, зокрема, залежить не тільки від поверхневого корозійного зносу, але й від процесів, що погіршують тріщиностійкість металу, у тому числі зміни (погіршення) механічних характеристик.

У роботі [6] для розрахунку залишкового ресурсу запропоновано використовувати комплексну методикку аналізу безпеки, яка окрім оцінювання фактичного технічного стану, ще й врахування ризику експлуатування. Такий підхід ґрунтується на поєднанні існуючих методів оцінки фактичного технічного стану, які, в свою чергу, потребують доповнення, і методів аналізу ризику. Проведення ризик-аналізу дає змогу врахувати такі чинники, зокрема, як помилкові дії персоналу, зовнішні впливи природного і техногенного характеру, що не беруться до уваги в існуючих методиках розрахунку, але які, як свідчать статистичні дані, не рідко стають причиною виникнення аварії в межах розрахованого безпечного терміну експлуатації металокопструкцій. Серед існуючих методів аналізу ризику у даній методиці рекомендовано використовувати метод дослідження небезпеки і пов'язаних з нею проблем (HAZOP-метод), аналіз видів і наслідків відмов (FMEA-метод), аналіз всіх можливих наслідків відмов і аварій системи (FTA-метод або метод «дерева відмов»), аналіз можливих наслідків події (ETA-метод або метод «дерева подій») та оцінювання впливу на надійність людського фактору (HRA-метод).

Ще одним із основних аспектів вирішення проблеми безпечного експлуатування трубопроводів, які відпрацювали значну частину проектного ресурсу або вже вичерпали його, є удосконалення методик розрахунку залишкового ресурсу з урахуванням зміни механічних характеристик металу.

Розраховуючи залишкову міцність трубопроводів, в основному використовують межу текучості та межу міцності, які і обмежують допустимі напруження. Разом з тим літературні дані свідчать, що показники міцності сталей можуть неоднозначно змінюватися після експлуатування від 10 до 30 років: міцність або залишається незмінною або ж підвищується. Зрозуміло також, що завершальному етапу руйнування металокопструкції повинна передувати зміна механічних властивостей металу, які забезпечували її роботоздатність на початку експлуатування. Тому розрахунок залишкового ресурсу металокопструкції з використанням показників, які однозначно знижувалися би зі зростанням тривалості експлуатації і були б максимально чутливими до змін у металі, відкрис перспективу коректного прогнозування ресурсу таких відповідальних об'єктів, як металокопструкції довготривалої експлуатації [5].

Література

1. Ключев В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов / В. Ключев, А. Фурсов, М. Филинов // Контроль. Диагностика. – 2007.- № 3. – С. 18-23.
2. Работоспособность трубопроводов. Сопротивляемость разрушению. Ч. 2. / Г. А. Ланчаков, Е. Е. Зорин, Ю. И. Пашков, А. И. Степаненко. – М.: Недра, 2001. – 350 с. ISBN 5-247-03080
3. Карпаш О. Общий обзор методов оценки физико-механических характеристик металлов/ Олег Карпаш, Игорь Молодецкий, Максим Карпаш. //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – №2. – С.18-22.
4. Горкунов Э.С. Взаимосвязь между магнитными, электрическими свойствами и структурным состоянием термически обработанных сталей – основа определения прочностных характеристик изделий неразрушающими методами: [методические рекомендации] / Э.С. Горкунов – Свердловск: УЦ АН СССР, 1985. – 62с.
5. Морозов И.Л. Определение механических свойств ферромагнитных конструкционных материалов неразрушающими методами / И.Л. Морозов, Н.В. Турик, Г.Г. Золотенин // Безопасность и живучесть технических систем: II Всерос. конф., Красноярск, 8-12 окт. 2007 г.: тез. докл. – Красноярск, 2007. – С. 15-16.
6. Карпаш О. Удосконалення методів оцінки технологічної безпеки експлуатування нафтогазового устаткування / Олег Карпаш, Назарій Тацакович // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №3(28). – С. 32-35.

Стаття надійшла до редакційної колегії 23.10.2020 р.

**ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF DETERMINATION
OF THE FACTORY OF OIL PIPELINES AND THE CALCULATION
OF THEIR RESIDUAL RESOURCES**

R. T. Martyniuk, O. T. Chernova, M. R. Shyan

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;

76019, Ivano-Frankivsk, str. Carpathian, 15;

ph. 72-71-38, e-mail: snp@nunq.edu.ua

The basic principle of diagnosing long-life metal structures, and pipelines in particular, is based on consistent and systematic measurements of certain design parameters, on detecting changes in these parameters during operation and comparing them with the original ones, and on predicting changes in these parameters.

The application of technical diagnostics and non-destructive testing methods to determine the actual technical status is a regular technological

operation and, as experience shows, an effective way of ensuring the technical reliability and safe operation of pipelines and the gas transmission system as a whole.

The methods of non-destructive testing, correlation analysis and modern methods of statistical processing of experimental and reference data (artificial neural networks) were used to determine the actual state of oil and gas pipelines. Factor and regression analysis methods were used during theoretical studies. In the course of the experimental studies, the methods of experiment planning, probability theory were used.

Key words: *survivability of metal structures, measurement parameters, long-term pipelines, technical condition, technical diagnostics.*