

# Сертифікація, стандартизація, якість

УДК 622.242.6

## ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ТРУБОПРОВОДІВ

О.М.Карпаш<sup>1</sup>, П.Я. Криничний<sup>2</sup>, М.О. Карпаш<sup>1</sup>, І.В. Рибіцький<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15, тел.4-24-30, e-mail:  
[mkarpash@nung.edu.ua](mailto:mkarpash@nung.edu.ua)

<sup>2</sup>НВФ „Зонд”, 76002, м.Івано-Франківськ, вул.Микитинецька, 5а, тел.53-63-25

*Сделан обзор существующих неразрушающих методов и соответствующих средств контроля коррозионных повреждений нефтегазопроводов. Проведенный в статье анализ показал, что в данное время нефтегазовая отрасль не обеспечена современными техническими средствами, которые бы позволяли проводить точный и эффективный контроль коррозионных повреждений, которые являются основными причинами отказов и аварий на трубопроводном транспорте.*

*The review of existing non-destructive methods and corresponding technical means for corrosive damage inspection is done in this article. The analysis done in this paper showed that petroleum industry at the moment is not supplied with modern technical means which could allow accurate and effective inspection of corrosive damages regardless of the fact that corrosion is one of the main reasons of pipeline breakdowns failures.*

Серед першочергових завдань, визначених політикою нашої держави, особливої уваги заслуговують питання, пов'язані з вирішенням проблем корозії. Актуальність даної проблеми зумовлена тим, що інтенсивний розвиток найбільш металомістких галузей промисловості супроводжується стрімко зростаючими економічними і екологічними збитками, що спричиняються корозією металевих виробів, обладнання та конструкцій.

Старіння промислових металоконструкцій ускладнюється недостатнім рівнем їх поновлення та невідповідним обсягом заходів технічного обслуговування. Заміна прокородованої труби нафтоперегонної установки коштує декілька сотень доларів, але недовиробіток продукції за час простою може спричинити збитки до 20 000 доларів за годину. Заміна пошкодженого корозією котла або конденсатора на великій електростанції потужністю 300 МВт може призвести до недовиробітку електроенергії на 60 000 доларів за день. Загальна вартість недовиробітку електроенергії і тепла через корозійні

простої становить десятки мільйонів доларів на рік [1].

Для розгляду як об'єкт вибрано магістральні трубопроводи. Причини аварій нафтопроводів наведено в таблиці, 1[2].

Більша частина споруд газотранспортної мережі України виробила свій плановий ресурс на 60-70 % [3]. Причинами відмов газопроводів станом на (1993 рік) стали: корозія зовнішньої поверхні труб – 36.7 % (рисунок 1), дефекти труб та заводського обладнання – 13.3 %, брак будівельно-монтажних робіт – 10 %, механічні пошкодження труб – 13.9 %, стихійні лиха – 26.7 % [4]. Згідно зі статистичними даними, щорічні втрати металу, спричинені корозією, в Україні становлять 12% від загальної маси металофонду, що відповідає втраті до 30% щорічного виробництва металу [5]. Поступовий вихід металоконструкцій з експлуатації через вказані причини супроводжується недостатнім темпом їх заміни та ремонту. Такий процес відбувається як через технічні причини, так і через фінансові.

Одним із ефективних шляхів забезпечення експлуатаційної надійності магістральних наф-

Таблиця 1

Показники	Причини аварій						Всього	Примітки
	зовнішній вплив	корозія	помилка персоналу	дефекти будівництва (в тому числі металургійні)	рух ґрунтів	інші		
Північна Америка	Кількість аварій на 1000км/год						0,56	L=343 тис. км. Аварії: вибух, пожежа, розлив більше 8 м <sup>3</sup> , пошкодження матеріальних цінностей на суму понад 5 тис. дол. США Аварії: витік нафти
Західна Європа	0,17	0,15	0,03	0,05	-	0,16		
Східна Європа	Частка аварій від їх загальної кількості, %						100	L=24 552 км. 10% призвели до розриву труби, 23% експлуатуються понад 25 років. Чехія, Угорщина, Польща L=35 400 км. 54% складають трубопроводи діаметром 1020-1420 мм.
Країни СНД	12	46	-	23	-	29		
	20	32	-	33	-	15		

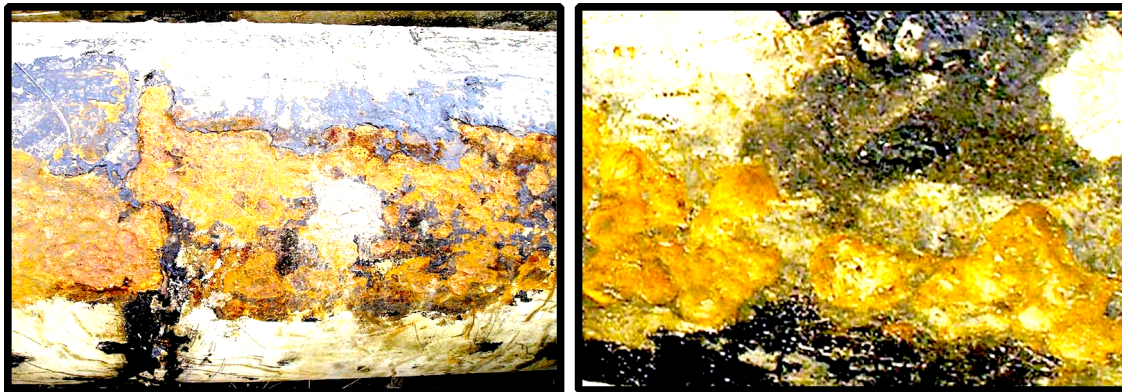


Рисунок 1 – Корозійні пошкодження зовнішньої поверхні труби магістрального газопроводу

то- та газопроводів є впровадження сучасних методів технічного діагностування, зокрема, контролю корозійних пошкоджень.

Визначення залишкового ресурсу старіючих конструкцій є комплексним завданням, з якого можна виділити такі основні:

а) оцінка деградації конструкційних матеріалів у процесі експлуатації;

б) встановлення характеру пошкодження елементів конструкції та методи його усунення;

в) розробка інструменту для діагностики технічного стану матеріалів і елементів конструкції;

г) розробка методології оцінки напружено-деформованого стану елементів конструкцій з конструктивними концентраторами напружень і дефектами типу тріщин під час дії експлуата-

ційних навантажень і середовищ та методів розрахунку їх залишкового ресурсу.

Досвід свідчить, що контроль корозійних пошкоджень дає можливість правильно складати графіки та скоротити простої обладнання в ході ремонтно-профілактичних робіт, запобігти непередбачуваним виходам обладнання з ладу та отримувати інформацію, необхідну для розробки ефективних засобів боротьби з корозією [6].

У статті автори мають на меті провести аналіз існуючих технічних засобів та методів контролю корозійних пошкоджень і виробити вимоги до неруйнівного методу контролю корозійних пошкоджень магістральних трубопроводів.

На даний час для контролю корозії використовуються такі методи [7]: 1) корозійна

втрата маси контрольних зразків; 2) визначення електричного опору; 3) визначення лінійної поляризації (поляризаційного опору); 4) гальваностатичний метод; 5) потенціостатичний метод; 6) неруйнівні методи (вимірювання товщини ультразвуковим, радіографічним чи методом вихрових струмів корозійного шару або “живого” перетину); 7) визначення кількості виділеного водню; 8) визначення опору захисної плівки; 9) візуальні методи; 10) використання контрольних отворів; 11) інфрачервона спектроскопія; 12) контроль корозійного середовища; 13) метод електромеханічного імпедансу; 14) метод активації тонкого шару; 15) метод віброного язичка; 16) метод акустичної емісії.

Багато з перерахованих методів є допоміжними, всі вони, окрім неруйнівних, у поєднанні дають змогу створити систему моніторингу за швидкістю корозії від моменту пуску трубопроводу в експлуатацію і в певний час дають можливість визначення інтегрального значення залишкової товщини в окремих точках. До недоліків зазначених методів можна віднести також тривалість процесу вимірювання, неможливість визначення реального значення глибини корозійного пошкодження (або “живого” перетину) в даний момент та проведення неперервного сканування трубопроводу чи його окремих ділянок.

Через об'єктивні причини використання згаданих методів (окрім неруйнівних) у нашому випадку для вибраного об'єкта контролю не є доцільним. Це пов'язано з тим, що для трубопроводів, які, як згадувалось попередньо, перебувають в довготривалій експлуатації і майже випрацювали свій ресурс, необхідно з метою визначення залишкового ресурсу проводити вимірювання залишкової товщини (глибини зовнішнього та внутрішнього корозійного пошкодження) в конкретний момент часу. Також негативним є те, що встановлення систем (моніторингових), які базуються на цих методах, призводить до значних витрат матеріальних ресурсів, а деколи не має доцільності або є неприпустимим з точки зору експлуатаційної безпеки.

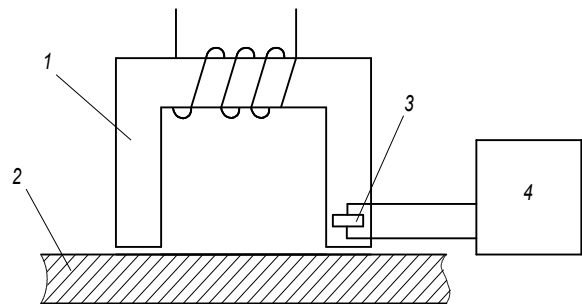
Визначення корозійних пошкоджень трубопроводів у нашому випадку може бути знайдене шляхом використання різноманітних неруйнівних методів, які базуються на взаємодії об'єкта контролю з різними фізичними полями (магнітними, електричними, акустичними та іонізуючого випромінювання). Кожен з цих методів окремо або в поєднанні дають змогу створити технічний засіб, який би дозволяв виявити та кількісно оцінити втрату металу внаслідок корозії.

На даний час проблема визначення корозійного пошкодження вирішується через визначення залишкової товщини, тому величину корозії отримують здебільшого шляхом віднімання від виконавчого значення товщини металоконструкції вимірюваного значення товщини, отриманого за допомогою відповідного технічного засобу. Проведемо аналіз деяких методів

та приладів визначення товщини металевих виробів.

**Магнітні методи** вимірювання товщини виробів з феромагнітних матеріалів порівняно з магнітними методами товщинометрії покриття застосовуються значно менше. Це пояснюється складністю створення давачів з малою похибкою, особливо під час вимірювання великих товщин [8] та обмеженнями сфери застосування методу (тільки феромагнітні матеріали).

Метод базується на магнітостатичному принципі. Перетворювачі приладів являють собою дво полюсні циліндричні магніти з перетворювачами Холла. У перетині магніти зображені на рис. 2. За допомогою даного методу можна вимірювати товщини феромагнітних матеріалів від 0 - 3мм.



1 - електромагніт; 2 - феромагнітна деталь; 3 - перетворювач Холла; 4 - вимірювальний пристрій

#### Рисунок 2 – Конструкція П-подібного електромагніту для магнітостатичного методу вимірювання товщини

Використання конструкції перетворювача, яка дає змогу проводити вимірювання товщини методом магнітного моста, два плеча якого складають еталонна і контрольована труби, два інших - сердечник електромагніт, робить можливим значне розширення діапазону. У перемичці моста як вимірювальний елемент застосований ферозонд.

Перевагами цього методу є відсутність контактної речовини, можливість контролю листів металу малої товщини, можливість проведення двостороннього вимірювання корозійних втрат за одностороннього доступу до поверхні контролю. До недоліків методу можна віднести інтегральність значення вимірюваної величини, значний вплив на результати вимірювань неоднорідності фізико-хімічних характеристик матеріалу, зазора між електромагнітом та об'єктом контролю, стану поверхні контролю та вплив зовнішніх електромагнітних полів, а також використання електромагнітів створює складність виготовлення скануючого блоку для неперервної товщинометрії через необхідність забезпечення постійного контакту електромагніту з поверхнею контролю.

Незважаючи на деякі переваги методу магнітної товщинометрії, широкого промислового впровадження в приладах та системах він не отримав через неможливість вимірювання великих товщин та недостатньої точності. Існують тільки окремі розробки приладів. Зокрема,

інститут доктора Ф. Ферстера (ФРН) розробив товщиноміри металевих листів – Лептоскоп Т-500 і Лептоскоп універсал SMG-8.

Використання описаного методу для нашого випадку не є доцільним, оскільки товщини стінок магістральних трубопроводів виходять за межі діапазонів вимірювання магнітних товщиномірів.

**Радіохвильовими методами** можна вимірювати і контролювати товщину діелектричного шару, одного діелектричного шару на іншому, діелектричного шару на металі і товщину металевого листа. Вимірювання можна проводити під час технологічного процесу виготовлення виробу, послідовно контролюючи товщину по всій поверхні чи в окремих точках і подаючи відповідні сигнали на виконавчі механізми [8].

Спосіб вимірювання товщини за допомогою радіохвиль забезпечує високу швидкість, що залежить тільки від засобів індикації, малі похибки вимірювань (до долей відсотків), можливість дистанційного контролю, проведення вимірів за умови двостороннього доступу до контрольованих поверхонь. Інформація про товщину може бути закладена в амплітуді, фазі, зсуві резонансної кривої, часі поширення імпульсу, положенні максимуму відбитої хвилі.

На сьогодні відомо декілька радіохвильових методів вимірювання товщини металевих листів, які пов'язані із застосуванням надвисокочастотних резонаторів напіввідкритого (квазізамкнутого) типу і випромінюючих пристроїв. Реалізація цих методів вимагає наявності доступу електромагнітної енергії до обох сторін металевого листа. У цих приладах використовується явище дзеркального відображення хвилі від металевої поверхні. Чутливість приладів може досягати 0,05 мм. Цей метод також не отримав широкої промислової реалізації. Існують тільки деякі промислові розробки, зокрема, прилад СТ-21И.

Перевагами цього методу є висока швидкість і точність проведення вимірювання, незалежність результатів від фізичних характеристик металоконструкції, можливість проведення контролю безпосередньо на виробництві під час виготовлення металопрокату. Недоліками методу, що унеможливають його застосування для вибраного нами об'єкта контролю є: необхідність двостороннього доступу до поверхні контролю, складність інтерпретації результатів вимірювання, що пов'язана з використанням високочастотного електромагнітного випромінювання, а також реалізація методу вимагає дорогої елементної бази.

**Акустичні товщиноміри** за характером фізичних принципів, які використовуються для вимірювання товщини, поділяють на [9]:

- імпульсні, товщина яких вимірюється за часом проходження ультразвукового імпульсу у виробі чи шарі;

- імпульсні або з безперервним випромінюванням, товщина яких визначається за зміною амплітуди ультразвукових хвиль, що пройшли через виріб;

- з безперервним випромінюванням, товщина вимірюється за фазою ультразвукових хвиль, що пройшли через виріб;

- резонансні, в яких для вимірювання товщини використовується локальний резонансний метод чи локальний метод вільних коливань, а також інші інтерференційні явища, які виникають під час поширення акустичних хвиль у виробі.

За способом передачі пружних коливань розрізняють товщиноміри контактні, імерсійні і безконтактні.

Найбільш розповсюджені акустичні товщиноміри - луно-імпульсні [8], які дають змогу контролювати виріб як із гладкими плоскопаралельними, так і з грубо обробленими, кородованими, еродованими, криволінійними і непаралельними поверхнями.

Резонансні товщиноміри застосовуються тільки для контролю виробів з шорсткістю поверхонь  $Rz \ll 40 \text{ мкм}$  за умови відхилення від паралельності поверхонь не більше ніж 2-3°. Промислове використання резонансних товщиномірів у даний час обмежено контролем товщини в діапазоні 0,15 – 2 мм в установках автоматизованого контролю тонкостінних труб й інших виробів. Товщиноміри інших видів є спеціалізованими і не одержали широкого застосування. В останні роки луно-імпульсні товщиноміри практично повсюдно витіснили всі інші різновиди ультразвукових товщиномірів, включаючи і резонансні.

Імпульсними товщиномірами, як правило, вимірюють час між зондуємим і одним з відбитих імпульсів або між двома луно-імпульсами. При цьому вимірювана товщина визначається за формулою [9]

$$d = \frac{vt}{2}, \quad (1)$$

де:  $t$  - час поширення ультразвукового імпульсу у виробі;  $v$  - швидкість поширення ультразвукового імпульсу у виробі.

Похибка вимірювання за допомогою луно-імпульсних товщиномірів викликана зміною товщини контактної поверхні шару; рівня сигналу; тривалості переднього фронту луно-імпульсу [10]. В останньому випадку похибка виникає у зв'язку з тим, що згасання ультразвукових коливань в акустичному тракті залежить від частоти. У першу чергу згасають високочастотні складові спектра імпульсу, які утворюють його передній фронт. Похибка індикаторного пристрою, що залежить від класу точності, помилка настроювання і вимірювання, зміна швидкості звуку внаслідок неоднорідності хімічного складу і властивості матеріалу, а також інші причини (зміна температури, розмірів шукача і виробу) також впливають на точність вимірів за допомогою луно-імпульсних товщиномірів.

Для вимірювання товщини стінок використовуються два способи, що розрізняються областю застосування та конструктивними особливостями приладів і перетворювачів [10].

У першому способі використовуються широкосмугові перетворювачі для одержання ду-

же короткого акустичного імпульсу. Час проходження в цьому способі визначається за двома або більше відображеннях від протилежної стінки деталі (донної поверхні). Мінімальне вимірюване значення товщини виробу визначається частотою зондуючого імпульсу і буде тим менше, чим вища частота. Недолік способу полягає в тому, що вимірювання можливе у випадку, коли є серія луно-імпульсів від задньої стінки виробу, тому до стану поверхні контролюваного виробу ставляться дуже високі вимоги. Вимірювати товщину стінки з "грубими" поверхнями (наприклад, прокородованими) описаним способом не можна, тому що на нерівностях поверхні, корозійних виразках відбувається сильне розсіювання ультразвуку, що не дозволяє одержати багаторазові відображення.

У другому способі для вимірювання товщини використовується тільки перший відбитий імпульс. Цей спосіб не забезпечує точності попереднього, але він забезпечує вимірювання на неякісній поверхні.

Основними перевагами ультразвукових методів вимірювання товщини порівняно з іншими є незалежність результатів вимірювань від неоднорідності і непостійності магнітної й електричної структури матеріалу виробу, можливість контролю сумарної товщини біметалевих виробів (наприклад, виробів з феромагнітних і неферомагнітних матеріалів і сплавів), можливість вимірювання внутрішньої та зовнішньої корозії за одностороннього доступу до об'єкта контролю, відсутність шкідливої дії на людину випромінювань (ядерних або рентгенівських) і принципова можливість вимірювання як малих, так і великих (до декількох метрів) товщин. Недоліками ультразвукових методів є вимоги до стану поверхні контролю, для ультразвукових п'єзоелектричних перетворювачів обов'язкова наявність контактної речовини, неможливість отримання значення товщини металоконострукцій з неплоскопаралельними поверхнями.

В основному, завдяки перерахованим перевагам ультразвукові методи знайшли широке впровадження в промислових приладах. На сьогодні на ринку приладів для неруйнівного контролю вони представлені в значній кількості, зокрема, розробка НВС „Діагностика та контроль” ультразвуковий товщиномір УТ-98 „Скат”, ультразвуковий електромагнітноакустичний товщиномір УТ-04 ЕМА „Дельта” НВФ „Спеціальні наукові розробки, серія товщиномірів фірми „Ультракон-сервіс” ТУЗ-1, ТУЗ-2. Усі вони мають широкий діапазон вимірювання, високу точність вимірювання, зручні у використанні та портативні. Відрізняються, в основному, тільки набором сервісних функцій.

Незважаючи на переваги існуючих ультразвукових товщиномірів, використання їх для нашого випадку вирішує тільки частково поставлене завдання. Усі вони як інформаційний параметр використовують часовий інтервал між зондуємим та першим луно-сигналом або між серією луно-імпульсів з урахуванням затримки

в призмі п'єзоперетворювача. Використання такого способу робить недостовірними дані про глибину корозійного пошкодження трубопроводу, особливо у випадку двосторонньої корозії. Дійсне значення про величину корозійного пошкодження можна отримати у випадку односторонньої корозії за відомого значення вихідної товщини.

**Радіаційний метод** контролю товщини базується на властивості іонізуючого випромінювання проходити крізь об'єкт контролю. За характером вимірюваної величини прилади, що працюють на основі цієї властивості, поділяють на товщиноміри і дефектоскопи. Окрім того, класифікаційними ознаками є умови вимірювання (поглинання випромінювання і його зворотне розсіювання), вид використовуваного іонізуючого випромінювання і конструктивно-експлуатаційні особливості [5].

Радіометричні товщиноміри зазвичай працюють за малих сумарних відносних похибок. У процесі роботи аналоговим методом можливі два режими: стаціонарний і нестаціонарний. Перший з них є режимом товщинометрії, коли вимірювання проводиться за сталим вихідним сигналом.

За принципом вимірювання і способів реєстрації іонізуючих випромінювань товщинометрію можна віднести до різновиду радіометричного методу радіаційної дефектоскопії. Схема вимірювання товщини базується на ослабленні іонізуючого випромінювання. Пройшовши через досліджуваний матеріал промінь містить інформацію про товщину і реєструється детектором випромінювання. Електричний сигнал, пропорційний інтенсивності випромінювання, що відбулося, з детектора через підсилювач надходить на вимірювальний прилад, шкала якого градуйована в одиницях товщини вимірюваного матеріалу.

Відмінності дефектоскопії від товщинометрії зумовлені тим, що товщину деталей можна виміряти за наявності еталонів, оскільки режим товщинометрії розрахований на абсолютні вимірювання.

Перевагами радіаційного методу товщинометрії є незалежність результатів від фізико-хімічних характеристик та стану поверхні об'єкта контролю, можливість контролю товщини металоконострукцій з неплоскопаралельними поверхнями, висока швидкість вимірювання та можливість проведення неперервної товщинометрії. Основним недоліком даного методу є наявність іонізуючого випромінювання, що вимагає відповідної кваліфікації оператора, необхідність використання еталонних зразків для калібрування приладу, інтегральне значення вимірюваної величини, також у більшості випадків необхідний двосторонній доступ до поверхні контролю, що частково ускладнює, а у деяких випадках і унеможливує їх використання для поставленого завдання.

Даний метод отримав реалізацію у промислових стаціонарних рентгенівських товщиномірах серії РИТ-10 фірми МНПО „СПЕКТР”.

Для зручності порівняння та вибору оптимального методу контролю корозійних втрат кожного значення;

Таблиця 2

Методи контролю корозійних втрат	<u>Переваги</u>	<u>Недоліки</u>
<i>Магнітні</i>	+ відсутність контактної речовини; + можливість контролю листів металу малої товщини; + можливість проведення двостороннього вимірювання корозійних втрат за умови одностороннього доступу до поверхні контролю.	- значний вплив на результати вимірювань неоднорідності фізико-хімічних характеристик металоконструкції; - вплив зазора між електромагнітом та об'єктом контролю; - вплив стану поверхні контролю та вплив зовнішніх електромагнітних полів.
<i>Радіохвильові</i>	+ висока швидкість і точність проведення вимірювання; + незалежність результатів від фізичних характеристик металоконструкції; + можливість проведення контролю безпосередньо на виробництві під час виготовлення металопрокату.	- необхідність двостороннього доступу до поверхні контролю; - складність інтерпретації результатів вимірювання, що пов'язана з використанням високочастотного електромагнітного випромінювання.
<i>Акустичні</i>	+ незалежність результатів вимірювань від неоднорідності і непостійності магнітної та електричної структури матеріалу виробу; + можливість контролю сумарної товщини біметалічних; + можливість вимірювання внутрішньої та зовнішньої корозії за умови одностороннього доступу до об'єкту контролю; + відсутність шкідливої дії на людину випромінювань; + можливість вимірювання як малих, так і великих товщин.	- високі вимоги до стану поверхні контролю; - для ультразвукових п'єзоелектричних перетворювачів обов'язкова наявність контактної речовини; - неможливість отримання значення товщини металоконструкцій з неплоскопаралельними поверхнями.
<i>Радіаційні</i>	+ незалежність результатів від фізико-механічних характеристик та стану поверхні об'єкта контролю; + можливість контролю товщини металоконструкцій з неплоско-паралельними поверхнями; + висока швидкість вимірювання та можливість проведення неперервної товщинометрії.	- наявність іонізуючого випромінювання, що вимагає відповідної кваліфікації оператора; - необхідність використання еталонних зразків для калібрування приладу.

металоконструкцій об'єднаємо переваги та недоліки проаналізованих методів у таблиці 2.

Враховуючи аналіз стану аварійності магістральних трубопроводів, умов їх експлуатації, а також проаналізувавши існуючі методи та засоби неруйнівного контролю корозійних пошкоджень, можемо сформулювати вимоги до технічного засобу, який би:

- давав змогу проводити безперервне вимірювання корозійних втрат та залишкової товщини металоконструкцій за умови одностороннього доступу до поверхні контролю з можливістю автоматизації процесу вимірювання;

- забезпечував достовірність отриманої інформації про глибину та протяжність корозійних пошкоджень;

- забезпечував можливість одночасного вимірювання величини двостороннього коро-

- забезпечував високу точність вимірювань, яка би зменшувала суб'єктивну помилку;
- давав можливість проведення вимірювання в промислових та польових умовах без шкідливого впливу на оператора;
- не потребував дорогої елементної бази та складності реалізації вибраного методу в технічному засобі.

### Висновки

Аналіз методів та засобів контролю корозійних пошкоджень трубопроводів засвідчив, що, незважаючи на те, що корозійні пошкодження є однією із основних причин відмов та аварій на нафтогазопроводах, галузь не оснащена засобами, які давали б змогу здійснювати надійний контроль у промислових умовах шля-

хом неперервного сканування за умови одностороннього доступу.

#### Список використаних джерел

1. Глоба В.М., Мартинюк О.Т. Основи будівництва трубопроводів: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ, ІФДТУНГ, 2000. – 156 с.
2. Курочкин В.В., Малюшин Н.А., Степанов О.А., Мороз А.А. Эксплуатационная долговечность нефтепроводов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 231 с.
3. О.П. Осташ, В.М. Учанін, І.М. Андрейко, І.Р. Маковійчук. Технічна діагностика і ресурс конструкцій після довготривалої експлуатації // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Львів: Фізико-механічний інститут НАН України. – 1999. Вип. 4 – с. 3-8.
4. Системная надежность трубопроводного транспорта углеводородов/ В.Д. Черняев, К.В. Черняев, В.Л. Березин и др.; Под ред. В.Д. Черняева. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 1997. – 517 с.
5. Горохов Е.В., Корольов В.П. Диагностика и оценка остаточного ресурса строительных металлоконструкций в коррозионных средах// Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1998. - №3. - С.57-59.
6. О.М. Карпаш, П. Я. Криничний, Я. Б. Даниляк, І. А. Молодецький. Стационарна установка “Зонд-СОТ” для автоматизованого комплексного неруйнівного контролю стальних труб//Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів: Зб.наук.праць.- Київ-Львів 1999.- С.37-38.
7. Коллакот Р. Діагностика повреждений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 512 с., ил.
8. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. В 2-х кн / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; Под ред. В.В. Клюева. Кн. 2. - М.: Машиностроение, 1995. – 448 с.
9. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. В 2-х кн / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; Под ред. В.В. Клюева. Кн. 1. М.: Машиностроение, 1995. – 448 с.
10. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий: Учеб. для ПТУ.— М.: Высш. шк., 1991. —271 с.

#### Міжнародна науково-технічна конференція

## ДИНАМІКА, МІЦНІСТЬ І РЕСУРС МАШИН ТА КОНСТРУКЦІЙ

95-річчю з дня народження  
Георгія Степановича Писаренка  
ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ

м. Київ

(1-4 листопада 2005 р.)

#### Оргкомітет конференції

01014, Київ-14, вул. Тімірязєвська, 2  
Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка  
НАН України

Тел: (044) 286 26 57, 286 28 57

Факс: (044) 286 16 84

E-mail: [mle@ipp.kiev.ua](mailto:mle@ipp.kiev.ua),  
[lepikhin@ipp.kiev.ua](mailto:lepikhin@ipp.kiev.ua)

Валерій Трохимович ТРОЩЕНКО  
Петро Павлович ЛЕПІХІН

#### Тематика конференції:

- **Динаміка машин і споруд**
  - власні і вимушені коливання, методи їх аналізу
  - методи зниження вібронапружено-сті, демпфування коливань
  - динамічна стійкість
  - коливання систем з пошкодженнями і технологічними відхиленнями
  - вібраційна діагностика
- **Міцність матеріалів і конструкцій**
  - критерії граничного стану матеріалів та статичного, динамічного, мало- і багато циклового навантажування
  - методи врахування впливу технологічних і експлуатаційних чинників на граничний стан
  - термоміцність і повзучість
  - механіка руйнування і граничний стан конструкцій з тріщинами
  - створення нових експериментальних засобів дослідження міцності і руйнування
- **Ресурс машин і споруд**
  - методи оцінювання ресурсу, зокрема залишкового
  - продовження термінів експлуатації устаткування
  - оцінювання деградації структури і властивостей матеріалів при експлуатації
  - експертиза руйнування