

Для наближеного до об'єктивного оцінювання продукція повинна володіти такими характеристиками:

- параметри продукції, які характеризують її технічний рівень;
- декілька технічних характеристик, які можна числово виразити, але їх сприймають споживачі по-різному (тобто що достатньо для одного, для іншого може бути мало);
- характеристикою, яку можна виразити виключно лінгвістичною змінною (не обов'язкова умова).

Для послуги критерії такі:

- характеристики послуги, які можна виміряти і виразити числами, але різні споживачі сприймають їх по-різному;
- суб'єктивні характеристики надання послуги, які неможливо виміряти.

Ми розробили алгоритм методу оцінювання якості продукції на основі математичного апарату нечіткої логіки, зображений на рис. 4.

**Висновки.** Використання нечіткої логіки в кваліметрії відкриває нові можливості для оцінювання якості продукції та послуг, оскільки дає змогу оцінити якість не тільки з позиції виробника, але й з урахуванням думки споживачів. Оцінюючи якість продукції та послуг, експертам легше оцінити властивості продукції та послуг лінгвістичними термами, ніж числами.

1. Варжапетян А. Г. *Кваліметрія: учеб. пособие / СПбГУАП. СПб., 2005. – 176 с.* 2. Азгальдов Г.Г. *Теория и практика оценки качества товаров. – М.: Экономика, 1989. – 256 с.* 3. Орловский С.А. *Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.* 4. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.* 5. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.*

УДК 504.75:681.2.543

## НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ЩОДО ЗАХИСТУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ВІД КОРОЗІЇ

О Чабан Олеся<sup>1</sup>, Юзевич Лариса<sup>2</sup>, 2012

<sup>1</sup>Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, кафедра медичної інформатики, вул. Пекарська, 69, 79010, Львів, Україна

<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Запропоновано поєднати в одному комплексному підході вимоги нормативних документів, які дають змогу контролювати й покращувати характеристики міцності, надійності та антикорозійного захисту магістральних трубопроводів зі сталі.*

*Предложено соединить в одном комплексном подходе требования нормативных документов, которые позволяют контролировать и улучшать характеристики прочности, надежности и антикоррозийной защиты магистральных трубопроводов из стали.*

*The paper deals with the requirements of connection in one complex approach the requirements of normative documents that allow to control and improve characteristics of strength, reliability and anticorrosive defence of main steel pipelines.*

Аналіз сучасних тенденцій в галузі забезпечення надійності магістральних трубопроводів (із сталі) дав змогу виявити ряд недоліків, пов'язаних з недостатньою актуальністю нормативно-технічних документів (НТД). До першої групи НТД належать ті, які

регламентують якість виготовлення труб і конструкцій та виконання робіт. Вони, як правило, містять суб'єктивні і достатньо консервативні вимоги до розмірів дефектів, які не завжди відповідають реальному стану матеріалу й умовам експлуатації. І якщо впровадження

їх на етапі підготовки доцільне, щоб забезпечити достатню якість виконання зварювальних робіт, то під час експлуатації трубопроводів це призводить до невиправданих витрат на ремонтні роботи, які часто пов'язані з виникненням додаткових, зокрема корозійних, дефектів чи збільшенням рівня механічних навантажень [1].

Проблема надійності поступово розв'язується, оскільки дедалі ширше в трубопровідній промисловості застосовують загальнометодичні інструкції оцінювання міцності елементів з дефектами [1]. Це пояснюють тим, що механізми пошкоджуваності та зменшення міцності спільні для різних матеріалів та елементів конструкцій і описуються фундаментальними положеннями механіки деформівного твердого тіла та механіки руйнування [1]. Тому зрозуміла й певна тенденція до розроблення універсальних процедур та міжгалузевих стандартів з оцінювання міцності. Основний недолік таких документів полягає в тому, що вони недостатньо узгоджені з конкретними вимогами щодо системи коефіцієнтів запасу міцності та надійності [1].

Очевидно, що стандарти щодо забезпечення надійності магістральних підземних трубопроводів, виготовлених із сталі, мають бути гнучкішими і прогресивнішими, ніж документи на проектування. Проте вони мусять оперувати аналогічними базовими поняттями, критеріями і принципами розрахунку, які були в минулому [1]. Інакше, крім можливих суперечностей в оцінюванні надійності та міцності трубопроводів, доведеться визнати, що проектувана конструкція далека від реальної. Зокрема, оцінювання реальних коефіцієнтів запасу міцності для трубопроводу з макроскопічним дефектом, розміри якого достатньо малі, повинно поєднувати інформацію, наведену в механічних та електрохімічних критеріях, і давати результати, які наближаються до оцінок, отриманих на основі вимог проектувальних стандартів [1–3].

**Зв'язок проблеми з науковими та практичними завданнями.** Практичне завдання: доцільно доповнити систему чинної нормативної документації уточненою інформацією про ступінь агресивності корозійного середовища (зокрема, ґрунтового електроліту). Ступінь агресивності середовища щодо трубопровідної системи оцінюють за допомогою показників корозійних ефектів, які визначають особливості руйнування металу, а також всієї конструкційної системи.

Наукове завдання. З метою удосконалення наявної науково-технічної документації необхідно розробляти нові методики і засоби моніторингу магістральних трубопроводів, які враховували би послідовність технологічних операцій, що забезпечують якість і довговічність сталевих конструкцій при виготовленні, монтажі та подальшій експлуатації в ґрунтовому електроліті. Розуміння цих операцій дасть змогу правильно застосовувати методи ідентифікації, діагностики і прогнозування корозійного розтріскування під напругою (КРН) або стрес-корозійного розтріскування (СКР) металу труби на ранніх стадіях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій з проблеми.** Ступінь корозійної агресивності режиму експлуатації встановлюють для конкретних об'єктів залежно від макрокліматичного району і категорії розміщення конструкцій за ГОСТ 15150-69 та СОУ ЖКГ 41.00-35077234.010:2008 з урахуванням технологічного характеру і марки матеріалу конструктивних елементів [4, 5]. У праці [3] уточнено й конкретизовано електрохімічні критерії, за допомогою яких визначають схильність трубопроводів до СКР. Виділено 14 основних критеріїв, вагомість яких оцінюють експертним методом. 1. Електрохімічний потенціал (характеристики катодного захисту). 2. Швидкість корозії металу газопроводу в дефекті захисного покриття. 3. Стан поверхні металу труби, що визначається технологією виробництва труби і технологією будівництва газопроводу. 4. Наявність електрохімічних шумів. 5. Напружено-деформований стан труби. 6. Ретроспективний аналіз результатів обстеження корозійного стану газопроводу. Інформацію про особливості розрахунку напружено-деформований стану, міцності та довговічності магістральних трубопроводів наведено в стандарті ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008 [3]. Розглянуто відомі підходи, нормативні документи щодо оцінювання дефектів магістральних трубопроводів і проаналізовано переваги і недостатки вітчизняних трубопровідних норм станом на січень 2009 року [1].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрих стосується стаття.** Не розроблено достатньо обґрунтованих методик, які би комплексно визначали технічний стан сталевих трубопроводів з урахуванням гетерогенності зовнішньої поверхні. Тому основним завданням є метрологічна експертиза технічної документації, яка

характеризує етапи діагностування зовнішньої поверхні магістральних трубопроводів в умовах експлуатації і визначення їх схильності до КРН (чи СКР).

Об'єкт досліджень – поверхневі шари металу трубопроводу в місцях пошкодження ізоляції.

Предмет досліджень – нормативні документи, які допоможуть контролювати технічний стан підземного трубопроводу, а також кількісно оцінити параметри міцності та захисту.

**Формулювання завдання.** В основі досліджень – аналіз нормативних документів, які допоможуть прогнозувати стрес-корозійне руйнування металу, що ініціюється і розвивається на зовнішній поверхні трубопроводу. Вважається, що труба покрита ізоляційним покриттям і перебуває в умовах катодного захисту за одночасного впливу механічних навантажень і корозійного середовища.

**Основна частина.** Стрес-корозійне розтріскування трубопроводів ініціюється і розвивається на зовнішній поверхні труби, якщо використовується ізоляційне покриття і катодний захист і одночасно впливають механічне навантаження і корозійно-активне середовище [2]. Корозійне середовище моделюємо водним розчином електроліту з різним значенням водневого показника рН.

Використання стандарту ISO 12944:1998 «Лаки і фарби – захист від корозії сталевих конструкцій системами захисних покриттів» дає змогу встановлювати вимоги до захисних покриттів з урахуванням періоду наступного ремонту. Рівень руйнування покриття до першого повного ремонтного фарбування мають погодити зацікавлені сторони та встановити у процесі контролю відповідно до стандартів ISO 4628-8:2005 і ДСТУ 4219-2003 [7, 8].

На стадії виготовлення важливе значення має адгезія покриття до сталі [9, 10]. В нормативних документах [9, 10] враховано один параметр адгезії. Під час випробування на адгезію захисного покриття на відрив може відбуватися руйнування по межі контакту сталі з поверхнею покриття, когезійне руйнування самого покриття або когезійне руйнування матеріалу труби, а також комбіноване руйнування [11]. У загальному випадку міцність адгезії  $R_{Ад}$  визначається трьома параметрами: міцністю зчеплення покриття з поверхнею матеріалу  $R_{ВА}$  (власне адгезія), що захищається, міцністю на розтяг захисного покриття  $R_{М}$  (когезійна міцність покриття) і міцністю на розтягування матеріалу зразка  $R_{МЗ}$ , що захищається:

$$R_{Ад} = R_{Ад} (R_{ВА}, R_{М}, R_{МЗ}). \quad (1)$$

У праці [11] запропоновано методику контролю складових (1) для антикорозійних покриттів на стадії виготовлення труб з покриттям за величиною крайового кута змочування.

У захисному покритті під дією градієнта концентрацій проходить дифузійна міграція молекул води і кисню. Тривалість першої стадії експлуатації трубопроводу залежить від якості покриття, його товщини, агресивності ґрунту і може становити декілька років (в середньому від кількох місяців до п'яти років) [2]. Корозійна агресивність ґрунту відносно сталі характеризується значеннями питомого електричного опору ґрунту, що визначається в польових та лабораторних умовах, і середньою густиною катодного струму при зміщенні прикладеного потенціалу на 100 мВ від'ємніше за потенціал корозії сталі ( $E_{кор}$ ) у ґрунті [10]. Критерії агресивності ґрунту з урахуванням сукупності мікробіологічних і фізико-хімічних чинників наведено в ДСТУ 3291-95 [12].

Методи наукових досліджень постійно розвиваються і удосконалюються. Тому з часом стандарти потребують доповнень, тобто внесення нової актуальнішої інформації. Такого типу доповнення стосується інтегрального критерію оцінювання біокорозійної агресивності ґрунтів  $K_A$ , який враховує, крім електроопору, також чисельність корозійно найнебезпечніших груп мікроорганізмів і елементи хімічного складу ґрунтів [13]:

$$K_A = \lg \left( \frac{1}{r} T_{СВВ} T_{ТБ} T_{Fе} T_{S_{заг}} \right) \quad (2)$$

де  $T_{СВВ}$  – кількість сульфатвідновлювальних бактерій в 1 г (грамі) ґрунту;  $T_{ТБ}$  – кількість тіонових бактерій в 1 г ґрунту;  $T_{Fе}$  – вміст загального заліза в ґрунті, %;  $T_{S_{заг}}$  – вміст загальної сірки в ґрунті, %;  $r$  – питомий електроопір ґрунту, Ом·м.

На стадіях 2–5 кисень, вода та інші речовини проникають через захисне покриття і на п'ятій (лімітуючій) стадії відбувається пробій пасивної плівки з утворенням локальних осередків корозії – пітингів [2]. На шостій стадії спостерігається трансформація пітингів у мікротріщини, а на шостій (завершальній) одна з мікротріщин ініціює поширення магістральної тріщини [2]. Для аналізу шостої стадії доцільно використати два основні стандарти ДСТУ 4219-2003 [8] і ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008 [14].

У новому стандарті запропоновано процедуру розрахунку міцності та довговічності трубопроводу за

наявності дефектів [14]. Розглядаються чотири чинники пошкоджуваності, що погіршують із часом стан конструкції: деградація механічних властивостей матеріалу; корозійне ураження; стрес-корозія; втомне циклічне навантаження. Розрахунок довговічності полягає у перевірці виконання умов переходу труби з дефектом у критичний стан за максимальних робочих параметрів навантажувань, врахуванні швидкості збільшення дефектів із плином часу (зміни їх розмірів) та деградації механічних характеристик матеріалу. Довговічність визначається мінімальним проміжком часу від актуального стану до кінцевого, який відповідає руйнуванню труби з дефектами, тобто коли дефект проросте в глибину матеріалу до значення 80 % від товщини стінки. За результатами розрахунків на статичну міцність та довговічність запропоновано систему прийняття рішень, що дає змогу поділити дефекти за ступенем небезпеки, планувати терміни та обсяги ремонтних або відновлювальних робіт тощо [14].

Методики розрахунку міцності за наявності дефектів, подані в стандарті [14], доцільно доповнити критеріями праці [15].

Перший з критеріїв відображає зв'язок порогового значення коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_{1SCC}$  з роботою пластичної деформації в розрахунку на одиницю новоствореної поверхні при поширенні тріщини  $P_{PL}$  і перенапруженням анодної реакції  $z$  [15]:

$$K_{1SCC} = \sqrt{\frac{E}{1-n^2} \cdot \left( P_{PL} - z_{si} Frd \frac{z}{M} \right)} \quad (3)$$

де  $K_{1SCC}$  – мінімальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_1$ , що відповідає початку поширення корозійної тріщини, Па· $\sqrt{м}$ ;  $r$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $E$  – модуль Юнга, Па;  $n$  – коефіцієнт Пуассона;  $z_{si}$  – формальний заряд сольватованих іонів;  $F = 96500$  Кл/моль – стала Фарадея;  $\delta$  – висота фронту мікротріщини, що насувається, м;  $M$  – молекулярна маса металу, г/моль;  $z$  – перенапруження, В.  $K_{1SCC}$  – важливий параметр системи матеріал – середовище і дає змогу розрахувати допустимі напруження в конструкції, що містить тріщиноподібні дефекти певних розмірів і зазнає сумісної дії довготривалих статичних навантажень та корозійних середовищ. Коли значення коефіцієнта інтенсивності напружень менші від  $K_{1SCC}$ , докритичний ріст тріщин відсутній.

Параметр  $P_{PL}$  входить у відому формулу (критерій міцності) Гріфітса–Орована [15]:

$$s_* = \sqrt{\frac{4E \cdot P_{PL}}{p \cdot L(1-n^2)}}, \quad s_* = \sqrt{\frac{4E \cdot P_{PL}}{p \cdot L}}, \quad (4)$$

Тут перша формула (4) записана для плоскої деформації, друга – для плоского напруженого стану;  $s_*$  – критичне напруження ( $s_* = s_T$ ,  $s_T$  – границя текучості;  $s_* = s_e$ ,  $s_e$  – границя міцності);  $L$  – довжина тріщини.

Стандарт ДСТУ 4219-2003 орієнтований передовсім на дослідження процесів у трубопроводах з позицій електрохімії, а стандарт ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008 – на дослідження з позицій механіки деформівного твердого тіла і механіки руйнування.

Сумісне використання критеріїв (3), (4) дає змогу досить детально з позицій електрохімії ( $z$ ), фізики поверхневих процесів ( $P_{PL}$ ) і механіки руйнування ( $K_{1SCC}$ ) вивчати механізми поширення корозійних тріщин у магістральних трубопроводах, що працюють в агресивних середовищах.

**Результати і висновки.** Запропоновано для оцінювання адгезії покриття на поверхні трубопроводу використовувати три параметри: міцність зчеплення покриття з поверхнею матеріалу (власне адгезію), міцність на розтяг захисного покриття (когезійну міцність покриття) і міцність на розтягування матеріалу труби, що захищається.

Доповнено систему чинною нормативною документацією уточнено інформацією про ступінь агресивності корозійного середовища (зокрема, ґрунтового електроліту) з урахуванням інтегрального критерію оцінювання біокорозійної агресивності ґрунтів, який враховує, крім електроопору, також чисельність корозійно найнебезпечніших груп мікроорганізмів і елементи хімічного складу ґрунтів.

Сумісне використання критерію теорії тріщин (який відображає зв'язок порогового значення коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_{1SCC}$  з роботою пластичної деформації в розрахунку на одиницю новоствореної поверхні при поширенні тріщини  $P_{PL}$  і перенапруженням анодної реакції) і критерію міцності Гріфітса–Орована дає змогу досить детально з позицій електрохімії, фізики поверхневих процесів і механіки руйнування вивчати механізми поширення корозійних тріщин у магістральних трубопроводах, що працюють в агресивних середовищах

Поєднання стандартів ДСТУ 4219-2003 і ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008 разом з інформацією праць [1-7], [9-14] і доповненнями, поданими за допомогою співвідно-

шень (1)–(4), в систему нормативної документації дає змогу регламентувати оцінювання міцності, довговічності і залишкового ресурсу магістральних трубопроводів з експлуатаційними дефектами, на які впливає агресивне корозійне середовище.

1. Ориняк І. В. Основні особливості національного стандарту ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 “Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів із дефектами” / І. В. Ориняк, А. Я. Красовський, М. В. Бородій // *Проблеми прочності*. – 2009. – № 5. – С. 18-27. 2. Постанова Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 р. № 409 ( 409-97-п) “Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж”. 3. Поляков С. Г. Основні закономірності стрес-корозійного розтріскування магістральних газопроводів / С. Г. Поляков, А. О. Рибаків // *Проблеми прочності*. – 2009. – № 5. – С. 7–17. 4. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. 5. Стандарт житлово-комунального господарства України. СОУ ЖКГ 41.00-35077234.010:2008. Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання. 7. ISO 4628-8:2005. Paints and varnishes. Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 8: Assessment of degree of delamination and corrosion around a scribe. 8. ДСТУ

4219-2003. Трубопроводы сталеви магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. – Київ, 2003. – 86 с. 9. ТУ 2313-008-17213088-03. Наружное антикоррозионное покрытие соединительных деталей и запорной арматуры для строительства магистральных нефтепроводов. Технические условия. – Госстандарт России ВНИИСтандарт, 2003. – 22 с. 10. ДСТУ Б В.2.5-30:2006. Трубопроводы сталеви підземні систем холодного і гарячого водопостачання. Загальні вимоги до захисту від корозії. – Київ, 2006. – 112 с. 11. Плугин А. А. Методика контролю качества антикоррозионных покрытий при их изготовлении по величине краевого угла смачивания / А.А. Плугин, И.В. Подте-лежникова, О.С. Герасименко // *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, – 2011. – Вип. 127. – С. 159-164. 12. ДСТУ 3291-95. Єдина система захисту від корозії та старіння. Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд. – Київ, 1995. – 68 с. 13. Андреюк К. І., Мікробна корозія підземних споруд. Монографія / К. І. Андреюк, І. П. Козлова, Ж. П. Коптева А. І. Піляшенко, та ін. – К.: Наукова думка, 2005. – 73 с. 14. ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008. Магістральні трубопроводы. Настанова. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – Чинний з 01.01.2009 р. 15. Джала Р. Система збалансованих показників для дослідження корозійних дефектів / Р. Джала, В. Юзевич, М. Мельник, О. Семенюк // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2011. – № 72. – Р. 130–134.