

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ОЦІНКИ РИЗИКУ РУЙНУВАННЯ НАЗЕМНИХ ДІЛЯНОК ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

І. М. ДМИТРАХ, А. М. СИРОТЮК, О. Л. БІЛИЙ, Р. А. БАРНА, О. Л. ЛУТИЦЬКИЙ

Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5.

E-mail: syrotyuk@ipm.lviv.ua

Розроблено діючий зразок портативного переносного діагностично-експертного комплексу, який включає засоби неруйнівного контролю (ультразвуковий дефектоскоп) та комп'ютерну експертну систему для оцінювання ризику руйнування та прогнозування можливості подальшої експлуатації наземних ділянок тривало експлуатованих газопроводів з корозійними та тріщиноподібними дефектами. Основу комп'ютерної експертної програми складає спеціальна діаграма в координатах «критичні значення глибини тріщиноподібних дефектів – форма дефекту», яка базується на критеріях механіки руйнування матеріалів з врахуванням впливу робочих агресивних середовищ. Запропонована розробка дозволяє безпосередньо на місці проведення діагностики зробити науково обгрунтовані експертні висновки про ризик руйнування та безпечну експлуатацію дефектного елемента трубопроводу. Бібліогр 14, рис. 6.

Ключові слова: наземні ділянки газопроводів, корозійні та тріщиноподібні дефекти, ультразвукова дефектоскопія, комп'ютерна експертна система, критичні розміри дефектів, діаграма оцінювання роботоздатності дефектного трубопроводу

Розроблення сучасних технічних засобів оцінювання міцності, ризику руйнування та залишкового ресурсу дефектних елементів відповідальних трубопровідних систем тривалої експлуатації, зокрема і наземних ділянок газопроводів, є актуальною проблемою для вітчизняної інженерної практики [1–3]. Основною ідеєю даної роботи є реалізація можливості обгрунтованих експертних висновків про ризик руйнування та безпечну експлуатацію елемента трубопроводу безпосередньо на місці його діагностики. Наукову ідеологію розробки складають підходи механіки руйнування, зокрема, концепція порогових (безпечних) та критичних розмірів дефектів та запропонована авторами методика побудови діаграм оцінювання роботоздатності дефектного трубопроводу [4].

Діагностично-експертний комплекс. Розроблено діючий зразок портативного переносного діагностично-експертного комплексу, який конструктивно складається із ультразвукового дефектоскопа УД4-76 із набором давачів та портативного комп'ютера.

Моніторинг технічного стану та прогнозування можливого ризику руйнування елемента трубопроводу за допомогою діагностично-експертного комплексу здійснюється в наступній послідовності (рис. 1): діагностування елемента труби дефектоскопом УД4-76 з системою давачів; автоматизований комп'ютерний аналіз отриманих даних про дефектність труби за запропонованими критеріями механіки руйнування матеріалів; форму-

вання експертного висновку про стан діагностованої ділянки трубопроводу та рекомендацій щодо подальшої її експлуатації.

У діагностично-експертному комплексі передбачено вибір та опрацювання результатів дефектоскопії ультразвуковими методами залежно від особливостей конструктивних елементів, а також умов їх експлуатації. Для прикладу, для тонкостінних трубопроводів перш за все увага звертається на процеси утворення корозійно-механічних виразок та зародження макротріщини. Водночас, для труб із товщиною стінки в декілька десятків міліметрів залишкову довговічність буде визначати стадія розвитку макротріщини в глибину стінки труби [4].

Основною для отримання первинних даних про стан контрольованих об'єктів є неруйнівне ультразвукове діагностування елемента трубопроводу. Слід зауважити, що сучасні цифрові ультразвукові дефектоскопи є портативними і дозволяють виконувати роботи в польових умовах без виведення трубопроводів з експлуатації. Тому, як основне джерело отримання інформації про дефекти трубопроводу обрано дефектоскоп УД4-76 [5]. Дефектоскоп УД4-76 має ряд програмних інструментів, які дозволяють оперативно, за даними дефектоскопії оцінити розміри дефектів та визначити їхнє розміщення.

Важливою характеристикою дефектоскопу є можливість його підключення до персонального, зокрема портативного, комп'ютера. Це дозволяє автоматично переносити результати сканування



Рис. 1. Схема технічної діагностики та оцінки ризику руйнування елемента трубопроводу

в комп'ютер зі збереженням їх у централізованій базі даних з метою подальшого аналізу та обробки. Маючи в своєму розпорядженні результати вимірювань та аналізу, отримані у різні моменти часу впродовж деякого періоду моніторингу об'єктів, оператор може відслідковувати зміни характеристик та стану конструкції в часі, що дозволяє прогнозувати розвиток процесів деградації та тривалість збереження робочих властивостей тих чи інших ділянок, а також конструкції в цілому.

Комп'ютерна експертна програма для оцінювання працездатності та можливості подальшої безпечної експлуатації дефектних трубопроводів. Основою експертної системи є програмний продукт, побудований на базі оригінальних, розроблених у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України, алгоритмів та методів механіки руйнування матеріалів [4, 6, 7]. Він дозволяє за результатами автоматизованої обробки даних ультразвукових обстежень та визначення розмірів і розміщення дефектів здійснювати розрахункове оцінювання ступеня критичності дефектів і формувати на цій основі експертні висновки та рекомендації щодо можливості подальшої безпечної експлуатації трубопроводу чи його окремих ділянок [4, 8].

Основними параметрами для чисельного оцінювання міцності та довговічності є характеристики циклічної (втомної) тріщиностійкості матеріалів трубопроводів [4, 9]. За експериментальними даними будують базові діаграми циклічної тріщиностійкості – залежності швидкості росту корозійно-втомної тріщини dc/dN від параметра ΔK_I . Такі діаграми обмежують двома граничними значеннями: нижнім ΔK_{th} , яке відповідає значенню ΔK_I , при якому не відбувається ріст корозійно-втомної тріщини, і верхнім ΔK_{fc} – при якому настає спонтанний (катастрофічний) ріст тріщини.

Для сталей трубопроводів базові діаграми циклічної тріщиностійкості мають вигляд прямолінійних ділянок у подвійній логарифмічній системі координат, кожна з яких описана степе-

невою залежністю типу Паріса $dc/dN = C (\Delta K_I)^n$, де C і n – константи, що характеризують систему «матеріал–середовище».

Для внесення тріщиноподібного дефекту у стінці трубопроводу з внутрішнім діаметром d та товщиною t у процес моделювання [4, 10] він описується півеліптичною тріщиною із розмірами півосей a та c .

Тут вважають, що зі збільшенням циклів навантаження N дефект розвивається, зберігаючи півеліптичну форму, при цьому співвідношення півосей a та c є величиною змінною, тобто

$c/a = f(C_m, N)$ і залежить від системи «матеріал–середовище», що характеризується деякими сталими C_m .

Опір поширенню тріщини як в напрямку півосі c , так і в напрямку півосі a , повністю визначається діаграмою циклічної тріщиностійкості металу трубопроводу, одержаною за заданих експлуатаційних умов, яку аналітично описують степеневу залежністю $dc/dN = C (\Delta K)^n$ чи $da/dN = C (\Delta K)^n$.

Такі модельні (еквівалентні) тріщини є об'єктом подальшого оцінювання за підходами механіки руйнування. Для цього використовують наступні критерії.

Критерій безпечної експлуатації за пороговою глибиною тріщини. Оцінку корозійно-механічних дефектів тріщиноподібного типу за критерієм порогової глибини c_{th} та форми c/a напівеліптичної тріщини здійснювали на основі її взаємозв'язку з пороговими значеннями КІН ΔK_{th} . Це дає змогу, враховуючи експериментальні дані про циклічну тріщиностійкість матеріалу труби та дані діагностики стану трубопроводів (тобто розміри та форму тріщин), оцінити потенційну можливість розвитку тріщин за подальшої експлуатації, а також ступінь ризику руйнування трубопроводу.

В данному випадку під пороговим розміром тріщини вважали напівеліптичну тріщину фіксованої форми (c/a) та глибиною $c = c_{th}$, у вершині якої КІН рівний пороговому ($K_I = K_{th}$). Таким чином, критерієм безпечного тріщиноподібного дефекту буде умова $c \leq c_{th}(K_{th})$ при $(c/a) = \text{const}$.

Тобто, всі виявлені при діагностичному огляді дефекти глибиною $c \leq c_{th}$ вважаються безпечними, оскільки не мають потенційної здатності до подальшого розвитку.

Критерій безпечної експлуатації трубопроводу за граничною швидкістю росту наявних тріщин. Розглянуто випадок розрахунку допустимої глибини c_* тріщини для забезпечення безаварій-

ної роботи трубопроводу між двома черговими профілактичними оглядами. Його пропонується здійснювати за критерієм приросту Δc виявленого тріщиноподібного дефекта глибиною c_0 , тобто $\Delta c \leq \Delta c_*$ при $\Delta N = \Delta N_*$, де Δc_* – допустимий приріст тріщини в глибину; ΔN_* – планова кількість циклів навантаження впродовж експлуатації трубопроводу між двома профілактичними оглядами.

Фізично це означає оцінювання за деякою граничною швидкістю $(dc/dN)_*$ розвитку корозійно-втомної тріщини впродовж запланованого терміну експлуатації трубопроводу $dc/dN \leq (dc/dN)_*$.

Так, наприклад, якщо виберемо значення $(dc/dN)_* = 10^{-4}$ мм/цикл, то це означає, що наявні в трубопроводі тріщини глибиною c_i можуть максимально розвинути на 1 мм впродовж 10000 циклів навантаження.

Процедура визначення допустимої глибини тріщини c_* у стінці трубопроводу при заданих значеннях Δc_* та ΔN_* наступна. Спочатку визначають граничну швидкість росту корозійно-втомної тріщини $(dc/dN)_*$ як $(dc/dN)_* = \Delta c_*/\Delta N_*$. За цією величиною з діаграми циклічної тріщиностійкості матеріалу, що розглядають, визначають відповідне значення розмаху КІН ΔK_* . На основі цього значення розраховують допустиму глибину тріщини c_* із відомої формули [9] для підрахунку КІН ΔK_1 , яка є функцією робочого навантаження на трубопровід, його геометричних розмірів та геометрії тріщиноподібного дефекту.

Оцінка ризику крихкого катастрофічного руйнування. Така оцінка здійснюється за відомим критерієм механіки крихкого руйнування ($K_1 \leq K_{fc}$) [9], де K_{fc} – циклічна в'язкість руйнування. Тут під критичним розміром тріщини розуміють напівеліптичну тріщину фіксованої форми c/a та глибиною $c = c_{fc}$, у вершині якої КІН рівний критичному, тобто $K_1 = K_{fc}$.

Таким чином, критерієм критичного тріщиноподібного дефекту буде умова $c \leq c_{fc}(K_{fc})$ при $(c/a) = \text{const}$.

Тобто, усі виявлені при діагностичному огляді дефекти глибиною, близькою до значення c_{th} , є критично небезпечними, оскільки мають потенційну здатність до спонтанного поширення, що може призвести до катастрофічного руйнування трубопроводу.

Діаграма оцінки роботоздатності та ризику руйнування трубопроводу з тріщиноподібними дефектами. Експертні оцінки можливого ризику руйнування трубопроводів, які знаходяться під дією пульсуючого тиску робочого середовища, можуть бути здійснені на підставі критеріїв, викладених вище.

Для цього на їх основі для кожного розгляданого трубопроводу будують спеціальні діаграми в координатах «характеристичні значення глибини тріщиноподібних дефектів – форма дефекту» (рис. 2). Така діаграма містить три характерні зони.

Перша зона – це зона безпечної експлуатації трубопроводу, що знаходиться нижче кривої $c_{th} = F_1(c/a)$. Це стосується випадку, коли глибина всіх виявлених при діагностичному огляді дефектів є меншою за порогове значення, тобто $c \leq c_{th}$. Такі дефекти вважають безпечними, оскільки вони не мають потенційної здатності до подальшого розвитку.

Друга зона – це зона експлуатації з прогнозованим розвитком наявних тріщиноподібних дефектів. Це означає, що впродовж певного запланованого терміну експлуатації трубопроводу допускається розвиток існуючих тріщин зі швидкістю, що не перевищує деяку встановлену граничну, тобто $dc/dN \leq (dc/dN)_*$. Значення $(dc/dN)_*$ вибирають відповідно технічним нормам експлуатації трубопроводу, а також конкретної виробничої ситуації.

За вибраним значенням граничної швидкості $(dc/dN)_*$ розраховують криву $c_* = F_2(c/a)$. Всі наявні в трубопроводі тріщиноподібні дефекти глибиною $c_i \leq c_*$ розвиватимуться зі швидкістю нижче граничної і можуть вважатись умовно безпечними для даного випадку.

Третя зона – зона ризику крихкого руйнування, яка знаходиться вище кривої $c_{fc} = F_3(c/a)$. Тобто для всіх виявлених при діагностичному огляді дефектів глибиною $c_i \geq c_{fc}$ реалізується критерій катастрофічного руйнування і експлуатація трубопроводу з такими дефектами недопустима.

Після накладання на діаграму (рис. 2) точок, які відповідають виявленим дефектам, можна чітко і однозначно встановлювати характер небезпечності кожного дефекту за місцем його розташування у характерних зонах діаграми.

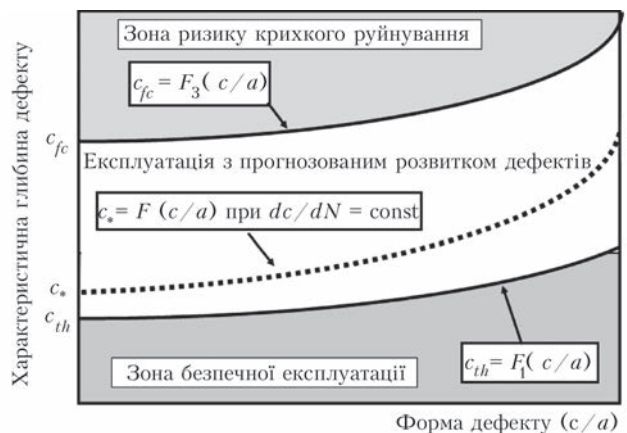


Рис. 2. Діаграма оцінки роботоздатності та ризику руйнування трубопроводу з тріщиноподібними дефектами

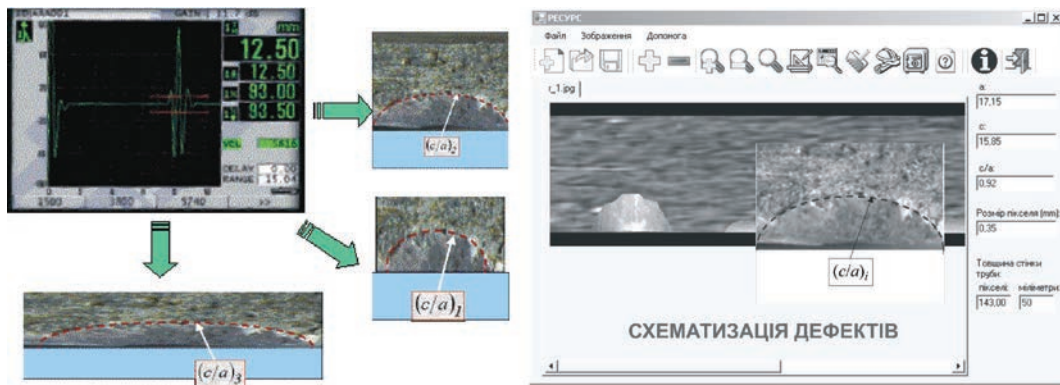


Рис. 3. Схематизація кожного дефекту еквівалентною півеліптичною тріщиною зі співвідношенням півосей $(c/a)_i$

Якщо дефект розташований в області, яка знаходиться нижче кривої $c_{th} = F_1(c/a)$, то такий дефект вважають безпечним, і який не має потенційної здатності до подальшого розвитку. Дана зона містить дефекти, глибина яких є меншою за порогове значення $c \leq c_{th}$.

У другій зоні розміщені дефекти, які вважають умовно безпечними. Для них допускається розвиток та ріст у глибину, але зі швидкістю меншою за деяке встановлене граничне значення $dc/dN \leq (dc/dN)_*$, яке вибирають згідно умов та норм експлуатації трубопроводу. За вибраним значенням граничної швидкості $(dc/dN)_*$ розраховують криву $c_* = F_2(c/a)$. Дефекти даної зони мають глибину $c_i \leq c_*$ і будуть розвиватись зі швидкістю нижче граничної, тобто, що за вказаний термін експлуатації вони не досягнуть критичного розміру.

Якщо ж дефект трубопроводу попадає у третю зону – зону крихкого руйнування, тоді подальша експлуатація труби є недопустима, оскільки такі дефекти у будь-який момент можуть різко збільшитися, що призведе до руйнування труби.

Викладені вище критерії складають основу експертної комп'ютерної програми для оцінки працездатності та ризику руйнування трубопроводу. Програма складається з п'яти взаємопов'язаних блоків (вікон): головне (стартове) вікно; база даних про газопровід; база даних тріщиноподібних дефектів, виявлених під час діагностичного огляду газопроводу; розрахункове вікно програми; вікно побудови діаграм оцінки роботоздатності дефектного трубопроводу.

Окрім цього, для спрощення процесу введення даних про дефекти трубопроводу у програмну підсистему вмонтовано програмний блок автоматизованого аналізу даних дефектоскопу, виділення та опрацювання у них областей, які несуть інформацію про дефекти. Блок обробки даних вимірювань дефектоскопу отримує дані, проводить їхню попередню обробку з видаленням шумових складових, у автоматизованому режимі виділяє області з великим рівнем сигналу, обраховує їхні геометричні параметри, проводить апроксимацію та передає інформацію у підсистему моделювання (рис. 3).

Тут здійснюється (рис. 3) схематизація кожного дефекту еквівалентною півеліптичною тріщиною зі співвідношенням півосей $(c/a)_i$. Функціональна база вікна реалізована за допомогою мови CLR (Common Language Runtime) – це компонент пакета Microsoft.NET Framework, віртуальна машина, на якій виконують всі мови платформи NET Framework. У підсумку дефектність трубопроводу подають як сукупність півеліптичних тріщин розмірами $(c/a)_i$. Ці дані програма використовує для експертного розрахункового оцінювання працездатності розглядуваного дефектного трубопроводу. Слід зауважити, що відповідно до термінів діагностичних оглядів трубопроводів база даних тріщиноподібних дефектів постійно доповнюється і, таким чином, у програмі зберігається вся історія пошкоджуваності ділянок трубопроводу впродовж його тривалої експлуатації.

Головне розрахункове вікно програми для чисельної оцінки допустимої глибини тріщиноподібних дефектів у стінках газопроводу є багатифункціональним (рис. 4). Тут, в першу чергу, задаються параметри трубопроводу: товщина стінки, зовнішній діаметр, тиск середовища та коефіцієнт овальності, який визначає розташування дефекту (прямолінійна ділянка або згин). Критеріальні параметри можна задавати вручну або користуватися вбудованою базою, що міститься в експертній системі. Це стосується всіх трьох кри-



Рис. 4. Головне розрахункове вікно експертної системи

теріїв, за якими розраховують допустиму чи критичну глибину дефекта, а також ту, яка дає можливість оцінити, на якій стадії необхідні оглядові роботи на об'єкті.

Слід зауважити, що система оцінює як глибину одиничного дефекта, тобто на виході одержимо порогову глибину дефекту c_{th} , глибину дефекту при деякій фіксованій швидкості його росту $dc/dN = 10^{-m}$ мм/цикл і критичну його глибину c_{fc} , так і потенційну небезпеку сукупності дефектів, виявлених на об'єкті. Для кожного розглядуваного трубопроводу і заданих умов його експлуатації програма розраховує відповідну діаграму оцінки працездатності та ризику його руйнування (див. рис. 4). На таку діаграму автоматично наносяться дані про дефектність трубопроводу як сукупність півеліптичних тріщин розмірами $(c/a)_i$. Підсумкова діаграма (рис. 5) є базисом для кінцевого експертного висновку про працездатність та потенційний ризик руйнування кожної ділянки трубопроводу. При цьому в програмі враховують зміну таких параметрів: фактичного стану металу на даній ділянці газопроводу; реального складу робочого середовища; геометричних розмірів конструктивного елемента; специфіки експлуатаційних навантажень; форми тріщиноподібного дефекта та місця його розташування у трубопроводі.

Вплив експлуатаційних чинників на пошкоджуваність газопроводів. Під час тривалої експлуатації газопроводи зазнають впливу зовнішнього та внутрішнього корозійного середовища, а також режимів експлуатації (періодичної зміни тиску, температурних впливів, зсувів ґрунту тощо) [10, 11]. Численними дослідженнями доведено, що руйнування елементів газопроводів під впливом сумісної дії механічних навантажень та робочих корозійних середовищ обумовлене рядом фізико-хімічних локалізованих процесів утворення та розвитку на поверхнях труб локальної корозії (пітинги, корозійні виразки). При цьому поряд з місцями підвищеної концентрації напружень (отвори, вирізи, щілини та інші технологічні та конструктивні концентратори напружень), ці процеси часто виникають і на гладких деформованих поверхнях, що зумовлено гетерогенністю їх фізико-хімічного стану [9]. Ці первинні корозійно-механічні пошкодження під час експлуатації є джерелом накопичення необоротних мікропластичних деформацій. Саме на поверхні цих тріщиноподібних дефектів зароджуються мікротріщини, які, розвиваючись, утворюють макротріщину,

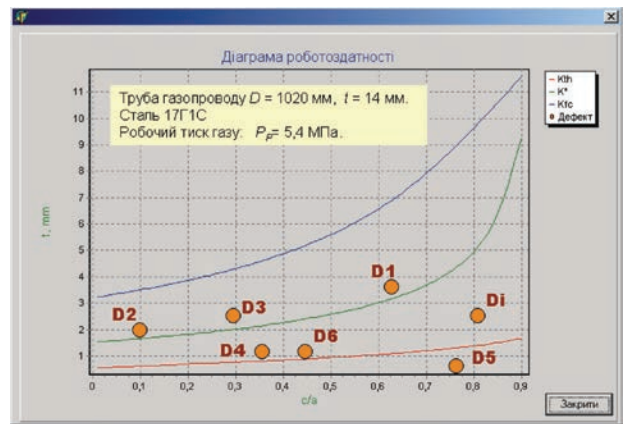


Рис. 5. Приклад оцінки працездатності трубопроводу за аналізом виявлених дефектів*

стабільне поширення якої у глибину стінки труби призводить до її спонтанного руйнування [2].

Таким чином, аварійні ситуації на магістральних газопроводах виникають внаслідок корозії зовнішньої і внутрішньої поверхонь труби [2, 12, 13]. Корозійні середовища, які впливають на зовнішнє руйнування поверхні труби, здебільшого мають слабкокислий характер (рН 6,0), і тільки на ділянках зрошувальних земель, із сильно заболоченими та торф'яними ґрунтами, заплавах річок їх корозійна активність різко зростає (рН 2,6...2,9). Ґрунтова корозія [2] металів труб характеризується виразковим корозійним руйнуванням внаслідок виникнення макрокорозійних пар через кисневу проникливість на окремих ділянках ґрунту. Причому швидкість локальної чи пітингової корозії може бути у 10 раз вищою, ніж загальної, і становить 0,25...0,30 мм/рік. Внутрішня корозія визначається специфікою продуктів, що транспортуються [2].

Крім того, на трубопроводах, термін експлуатації яких становить 20 і більше років, є загроза корозійного розтріскування металу труби [2, 12], причому як в слаболужному – рН 7,5...9,0 (класичне розтріскування), так і в слабкислому – рН 5,5...7,0 (некласичне розтріскування) корозивних середовищах.

Специфіка експлуатації газопроводів [2] полягає в тому, що тиск газу змінюється по довжині трубопроводу і в часі, зумовлюючи втомні навантаження в результаті нерівномірного споживання і відбору, включення і виключення компресорних і насосних агрегатів, перекриття запірних пристроїв. Такі зміни тиску для газопроводів складають близько 20 %.

Вплив таких корозійно-втомних навантажень визначають за підходами механіки руйнування в

* Магістральний газопровід «Київ – Західна Україна»: $D = 1020$ мм, $t = 14$ мм. Сталь 17Г1С ($\sigma_B = 562,5$ МПа, $\sigma_{0,2} = 357,5$ МПа, $\delta = 27\%$). Максимальний робочий тиск газу: $P_p = 5,4$ МПа. Термін експлуатації – 41 рік. Дані про дефектність вказаного трубопроводу надані співробітниками Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу

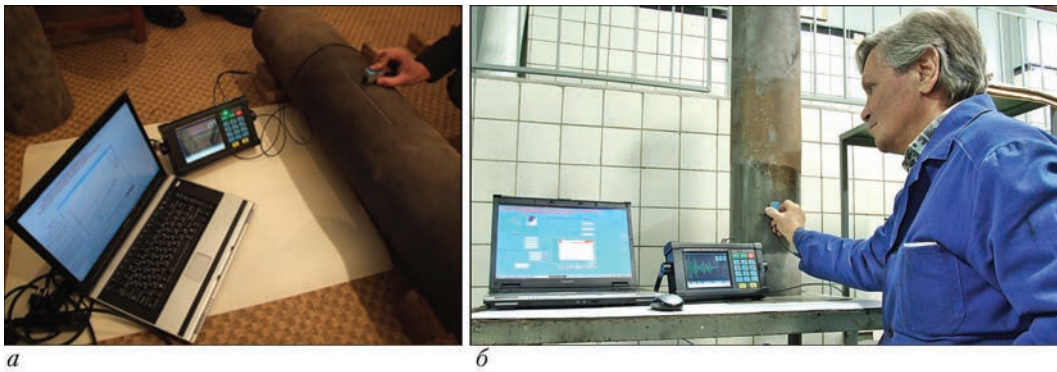


Рис. 6. Тестування лабораторного зразка експертної системи на елементах труб з дефектами

корозійних середовищах [7, 9], в рамках якої характеристики корозійної тріщиностійкості конструкційних матеріалів розглядають як найбільш адекватну основу для оцінки фізико-хімічного стану та залишкового ресурсу дефектних трубопроводів у заданих експлуатаційних умовах.

На основі проведених випробувань побудовано діаграми циклічної корозійної тріщиностійкості для досліджуваних систем «матеріал–середовище», які дають можливість прогнозувати залишковий ресурс газопроводів та інтерпретувати виявлені методами технічної діагностики корозійно-втомні дефекти [2, 10, 14].

Тестування та апробація діагностично-експертного комплексу на елементах дефектних труб. У лабораторних умовах здійснено комплекс тестових випробувань розробки, а також проведено роботи з виявлення реальних дефектів в тривало експлуатованих трубах газопроводів.

Зокрема, тестування діагностично-експертного комплексу здійснено на елементах труб із модельними (штучно створеними) дефектами (рис. 6, а). Ці зразки моделювали елемент труби із осьовим надрізом – концентратором напружень півеліптичної форми. При цьому тестувались зразки з модельними дефектами різної форми, тобто відношення півосей еліпса було різним: $c/a = 0,05 \dots 0,3$, що відповідало різним типам реальних експлуатаційних пошкоджень трубопроводів (корозійна боріздка та корозійний пітинг). А також проведено випробування з виявлення реальних дефектів у тривало експлуатованих трубах газопроводів (рис. 6, б).

Запропонована розробка дозволяє безпосередньо на місці діагностики зробити науково обґрунтовані експертні висновки про ризик руйнування та безпечну експлуатацію дефектного елемента трубопроводу, тобто дати диференційовану оцінку розмірів допустимих дефектів залежно від стану матеріалу трубопроводу, характеру експлуатаційних навантажень та специфіки транспортованих продуктів.

Висновки

Розроблено діючий зразок портативного переносного діагностично-експертного комплексу, який включає засоби неруйнівного контролю (ультразвуковий дефектоскоп) та комп'ютерну експертну систему (на базі портативного комп'ютера) для оцінки ризику руйнування та прогнозування можливості подальшої експлуатації наземних ділянок тривало експлуатованих газопроводів з корозійними та тріщиноподібними дефектами. Основу комп'ютерної експертної програми складає спеціальна діаграма в координатах «критичні значення глибини тріщиноподібних дефектів – форма дефекту», яка базується на критеріях механіки руйнування матеріалів і містить три характерні зони, а саме: безпечної експлуатації; експлуатації з прогнозованим розвитком дефектів та зону ризику катастрофічного руйнування.

1. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: наук.-техн. посіб.: у 3 т. / С. І. Крижанівський, Г. М. Никифорчин [за ред. В. В. Панасюка]. – Т. 2: Деградація нафтопроводів і резервуарів та її запобігання. – Івано-Франківськ: вид-во Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, 2011. – 447 с.
2. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: наук.-техн. посіб.: у 3 т. / С. І. Крижанівський, Г. М. Никифорчин [за ред. В. В. Панасюка]. – Т. 3: Деградація газопроводів та її запобігання. – Івано-Франківськ: вид-во Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, 2012. – 433 с.
3. Механіка руйнування та міцність матеріалів: довідн. посіб.; за заг. ред. В. В. Панасюка. – Т. 11: Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів / Г. М. Никифорчин, С. Г. Поляков, В. А. Черватюк [та ін.]: [за ред. Г. М. Никифорчина]. – Львів: Сполом, 2009. – 504 с.
4. Механіка руйнування та міцність матеріалів: довідн. посіб. / За заг. ред. В. В. Панасюка. – Т. 13: Працездатність матеріалів і елементів конструкцій з гострокінцевими концентраторами напружень / І. М. Дмитрах, Л. Тот, О. Л. Білий [та ін.]: [за ред. В. В. Панасюка]. – Львів: Сполом, 2012. – 316 с.
5. Дефектоскоп ультразвукової УД4-76. Руководство по эксплуатации УД4-76. 23535778.04.01.06РЭ. – К., 2010. – 113 с.
6. Механика разрушения и прочность материалов: справ. пособ.; под общ. ред. В. В. Панасюка. – Т. 2: Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами / М. П. Саврук. – К.: Наукова думка, 1988. – 620 с.

7. Механика разрушения и прочность материалов: справ. пособ.; под общ. ред. В.В. Панасюка. – Т. 4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин [и др.]. – К.: Наукова думка, 1990. – 680 с.
8. Dmytrakh I. M. Corrosion fatigue cracking and failure risk assessment of pipelines / I.M. Dmytrakh // Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and Gas Pipelines: NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – The Netherlands: Springer, 2008. – P. 99–113.
9. Дмитрах І. М. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / І. М. Дмитрах, В. В. Панасюк. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 1999. – 342 с.
10. ВБН В.2.3-00018201.04-2000. Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Держнафтогазпром України, 2000. – 57 с. – (Відомчі будівельні норми України).
11. Оцінка корозійного стану газопроводів за результатами внутрітрубної діагностики / А. Кичма, Р. Коваль, Ю. Банахевич [та ін.] // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів (Корозія–2002): у 2 т. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2002. – Спец. вип. № 3. – Т. 1. – С. 802–806.
12. Електрохімічний моніторинг магістральних трубопроводів на корозійно-небезпечних ділянках / С. Поляков, А. Клименко, Л. Ниркова [та ін.] // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів (Корозія–2008): у 2 т. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. – Спец. вип. № 7. – Т. 2. – С. 761–766.
13. Корозія внутрішньої поверхні магістральних газопроводів / С. Поляков, Л. Ниркова, А. Клименко [та ін.] // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів (Корозія–2006): у 2 т. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – Спец. вип. № 5. – Т. 1. – С. 300–304.
14. Ориняк І. В. Наукові і організаційні засади впровадження ризик-аналізу в практику управління цілістю магістральних трубопроводів / І. В. Ориняк, М. В. Бородій, А. С. Батура // Цільова комплексна програма НАН України „Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин”: [зб. наук. статей за результатами, отриманими в 2004–2006 рр. / наук. кер. Б. Є. Патон]. – К.: Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, 2006. – С. 11–15.

An operating sample of portable diagnostic-expert complex was developed. The complex includes non-destructive testing means (ultrasonic flaw detector) and computer expert system for assessment of the risk of failure and prediction of the possibility of further operation of ground sections of gas pipelines with corrosion and cracklike defects in long-term operation. The base of the computer expert program is a special diagram in the coordinates of «critical values of cracklike defect depth – defect shape», which is plotted using the criteria of material fracture mechanics, allowing for the influence of aggressive working media. The proposed development allows making scientifically based conclusions about the risk of failure and safe service of a defective pipeline element directly in the site of diagnostics. 14 References, 6 Figures.

Keywords: ground sections of gas pipelines, corrosion and cracklike defects, ultrasonic flaw detection, computer expert system, critical dimensions of defects, diagram of assessment of defective pipeline performance

Надійшла до редакції
17.06.2016



СВАРКА И РЕЗКА-2017

17-я Международная специализированная выставка
«Оборудование, материалы, технологические процессы
для сварочного производства, приборы контроля»

04.04.2017–07.04.2017

ЗАО «МинскЭкспо», г. Минск, Беларусь

Тематика

- Материалы для сварки, наплавки и пайки
- Оборудование и технологии сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки
- Источники питания и системы управления сварочным оборудованием
- Оборудование для орбитальной сварки и обработки труб
- Электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка
- Автоматизированные комплексные системы и агрегаты для сварки и резки
- Автоматизация сварочных производственных и технологических процессов, программное обеспечение
- Приборы для неразрушающего контроля сварных соединений
- Научное и информационное обеспечение сварки
- Система подготовки, переподготовки и аттестации сварщиков
- Охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве
- Сертификация сварочного оборудования

Выставка проводится одновременно с международными специализированными выставками «Металлообработка» и «Порошковая металлургия».

Тел.: +375-17-226-98-58, 226-90-83
Факс: +375-17-226-98-58, 226-99-36