

Применение предложенных алгоритмов позволяет эффективно решать следующие задачи:

1) обнаружение аномалий, связанных с конструктивными неоднородностями объектов (сварные швы) и разбиение объекта мониторинга на однородные участки (трубы, рельсы);

2) анализ выборок измерений и формирование математических портретов однородных участков;

3) обнаружение аномалий в пределах таких участков и оценка их параметров;

4) сравнение текущих портретов с портретами, полученными ранее, формирование обобщённых динамических портретов и определение их параметров;

5) классификация выделенных аномалий с учётом их пространственных и временных характеристик.

На основании полученных результатов и привлечении, при необходимости, дополнительных методов и средств контроля и/или тщательного анализа не использованных до этого информативных параметров сигналов, производится идентификация типов обнаруженных дефектов путём сопоставления их с тем или иным классом аномалий.

И, наконец, привлекая априорные знания в виде требований нормативной и/или конструкторской документации, а при необходимости данные разрушающих испытаний, результаты расчётов, можно с заданной вероятностью определить степень опасности обнаруженных пространственно-временных изменений объекта

мониторинга и дать рекомендации в отношении режимов его дальнейшей эксплуатации.

1. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Мониторинг технического состояния промышленных объектов. Российская научно-техническая конференция с международным участием «Не разрушающий контроль и диагностика». Тезисы докладов. – Екатеринбург, 5-11 сентября 2005г. 2. Малайчук В.П., Мозговой А.В., Петренко А.Н. Автоматизированная система проектирования технологий неразрушающего контроля. Материалы IX ежегодного международного семинара выставки. – Ялта, Украина, 10-14 сентября 2001г. 3. Абакумов А.А., Абакумов А.А.(мл.) Магнитная дефектоскопия газонефтепроводов.-М.: Энергоатомиздат, 2001. – 440с. 4. Власов В.Т., Дубов А.А. Физические основы метода магнитной памяти металла. – М.: ЗАО «Тиссо», 2004. – 425с. 5. Сызранцев В.Н., Голфаст С.Л., Сызранцева К.В. Диагностика нагруженности и ресурса деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. – Новосибирск: Наука, 2004. – 188с. 6. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Обработка информации в средствах и системах неразрушающего контроля. – Днепропетровск: Издательство ДГУ, 1992. – 168с. 7. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Математическая дефектоскопия: Монография. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 180 с.

УДК 621.791.053:620.179.16

## НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПОСУДИН З БАГАТОШАРОВИМИ РУЛОННИМИ ОБИЧАЙКАМИ

© Саприкін С.О., Волков Ю.О., Колбін І.Б., Хвостов К.В., 2005  
УкрНДІгаз, м. Харків

**Описана технологія проведення технічного діагностування посудин, які мають багат шарові рулонні обичайки. Основна перевага запропонованих технологій – це забезпечення можливості виявлення та ідентифікації зон відриву від зварних з'єднань шарів рулонних обичайок**

В Україні експлуатуються значна кількість посудин високого тиску, виготовлених з обичайок рулонного типу. Як правило, термін їх експлуатації вже перевищує 15, а інколи і 20 років. Згідно нормативних положень [1÷3] після 20 років експлуатації необхідно проводити технічне діагностування, обов'язково виконуючи при цьому:

- огляд поверхні зсередини та ззовні;
- візуально-оптичний контроль не менше ніж трьох ділянок внутрішньої поверхні посудини;

- капілярний контроль внутрішньої поверхні в зоні перетину поздовжніх та кільцевих швів;

- визначення товщини і твердості елементів корпусу;

- ультразвуковий контроль (УЗК) поздовжніх і кільцевих швів в межах товщини зовнішньої та внутрішньої обичайок згідно з [4];

- ультразвуковий контроль стану кільцевих зварних з'єднань монолітних днищ з рулонними обичайками згідно з [4, 5];

- встановлення призначених термінів експлуатації посудин згідно з положеннями [3].

Але на даний час таке діагностування не можна вважати задовільним. В умовах експлуатації посудин не існує прийнятних способів неруйнівного контролю кільцевих зварних з'єднань (ЗЗ) двох рулонних обичайок (РО) та швів монолітних днищ (МД) з РО. Це пов'язано з тим, що немає змоги отримати інформацію про технічний стан середньої зони кільцевих зварних швів, які з'єднують дві РО (або рулонну обичайку з МД). Саме в цій зоні з наявних дефектів-концентраторів напружень можуть утворюватися тріщини. Найбільш небезпечними дефектами, які можуть привести до їх появи, є несплавлення.

Згідно з [6] при проведенні виробничого контролю якості нанесення наплавленого металу на торцеву частину РО допустимими дефектами є одиночні несплавлення металу площею, що не перевищує 2 мм<sup>2</sup>. Їх кількість у межах будь-якого відрізка довжиною 300 мм не повинна перевищувати трьох, а мінімальна відстань між ними не повинна бути меншою 15 мм. В процесі експлуатації посудин, наприклад, тих, які використовують як акумулятори газу на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях, з трьох зон несплавлень і розташованих на мінімальній відстані одна від одної може утворитися тріщина довжиною близько 50 мм. Процес її утворення може бути спричинений старінням матеріалу навколо цих дефектів та наявністю циклічних навантажень, що виникають при зміні тиску в посудині (як правило, в межах від 25 МПа до 20 МПа під час кожної заправки автомобіля). В процесі циклічних навантажень тріщини будуть зростати у відповідності з законом Переса із швидкістю:  $\Delta h/\Delta N = G^n K(\sigma)$ , (1)

де  $\Delta h/\Delta N$  – швидкість зростання тріщини, мм/цикл;  $G$  – коефіцієнт, який характеризує властивості матеріалу, що стосуються схильності до руйнування під дією циклічних навантажень, м<sup>1/2</sup>/МПа;  $n$  – коефіцієнт, значення якого може змінюватися в діапазоні від 1,5 до 2,5;  $K(\sigma)$  – подвоєна величина коефіцієнта інтенсивності напружень, яка розраховується згідно [7] при амплітудному значенні циклічних навантажень, МПа·м<sup>1/2</sup>.

Зростання тріщини у вертикальному напрямі обмежується протилежними поверхнями шару РО (рис. 1б). Подальше її поширення відбувається в горизонтальному напрямі. При цьому лінії вершин тріщини (справа і зліва) переміщуються в різні боки від початкової зони утворення в межах цих поверхонь. Саме так з тріщини виникає зона відриву.

Оцінку розміру зони відриву  $2l$  (без урахування сил тертя між шарами РО) можна зробити так,

використовуючи співвідношення, яке наведено в [7]:

$$k = \sigma \sqrt{\pi \cdot l}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт інтенсивності напруження у вершині тріщини (при досягненні його певного значення тріщина починає спонтанно поширюватись у кільцевому напрямку (для маловуглецевих сталей це значення становить 100 МПа·м<sup>1/2</sup>);  $\sigma$  – максимальне напруження, що діє в напрямку осі циліндричних обичайок акумуляторів газу.

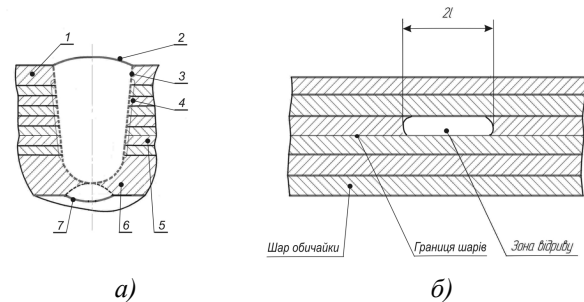


Рис. 1. Схема зварного з'єднання рулонних обичайок (а) та зображення зони відриву (б)  
1 – зовнішня обичайка; 2 – зовнішній валик підсилення; 3 – границя сплавлення основного і наплавленого металу; 4 – границя сплавлення торців шарів обичайки; 5 – шар РО; 6 – внутрішня обичайка; 7 – внутрішній валик підсилення шва

Рис. 1. Схема зварного з'єднання рулонних обичайок (а) та зображення зони відриву (б)

Оціночне значення критичного розміру зони відриву, після досягнення якого відбувається спонтанний відрив всієї рулонної частини обичайки, становить 600 мм.

Саме, зважаючи на вище викладене, при тривалій експлуатації багатошарових посудин найбільшою проблемою стає їх об'єктивне діагностування, першочерговим завданням якого є своєчасне виявлення тріщин та зростаючих з них локальних зон відриву РО.

Необхідно зазначити, що способи виявлення площинних дефектів, які згідно з [4] використовуються при виготовленні посудин, не можуть бути застосовані при контролі в процесі їх експлуатації. Так, в умовах виробництва ультразвуковий контроль (УЗК) кільцевих ЗЗ рулонних обичайок проводять з використанням методики локально-імерсійного способу введення ультразвукових коливань в об'єкт контролю. Реалізація цього способу в умовах експлуатації посудини (якщо необхідно провести повний контроль) є надзвичайно складною задачею. По-перше, необхідно виготовити спеціальний роздільно-сумщений перетворювач, розміщений в локальній імерсійній ванні, що контактує з поверхнею посудини. Спосіб можна застосувати в умовах виробництва, коли можна обернути

посудину так, щоб забезпечити вертикальне положення перетворювача відносно контрольованого елемента. При довільному розміщенні перетворювача відносно вертикалі технічно дуже складно забезпечити ефективно проведення контролю і тому далі немає сенсу розглядати цей спосіб.

Застосування радіаційного методу контролю з використанням гама-випромінювання викликає складні технічні проблеми, зважаючи на значну товщину стінки посудин (як правило 100 мм і більше), малі розміри очікуваних площинних дефектів в оточеному напрямі (близько 30 мм) та незначне їх розкриття (від 0,1 мм до 0,3 мм). В таких умовах застосовувати радіаційний метод досить складно і економічно невиправдано.

Тому на наш погляд для отримання прийнятної достовірності контролю необхідно комплексно застосувати декілька способів неруйнівного контролю. Перспективним є застосування згідно з [1] та [8] методу акустичної емісії та подальша перевірка виявлених зон акустичної активності (ЗАА) одним із пропонованих нами способів УЗК. Реєструють та аналізують тільки ті ЗАА, які розташовані в кільцевих ЗЗ, бо саме там існує вірогідність утворення зон відриву. Після фіксації цих зон подальший їх аналіз необхідно проводити одним з запропонованих нижче способів УЗК, які вибирають в залежності від типу контрольованих ЗЗ.

Суть 1-го способу полягає в наступному. Оскільки знайдені ЗАА можуть бути пов'язані з вертикальними площинними дефектами, то для їх ідентифікації можна застосувати два похилих п'єзоелектричних перетворювачі (ПЕП), підключені за роздільною схемою, тобто луна-дзеркальний спосіб контролю (його називають „тандем”), як це передбачено документом [9].

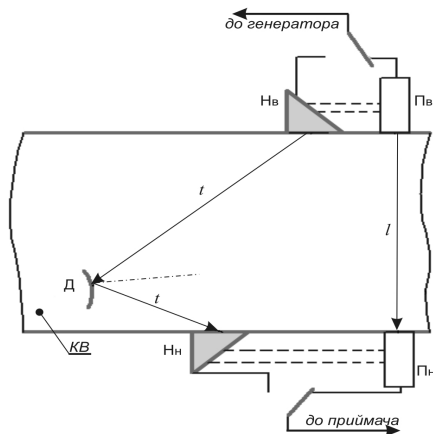
Але при контролі багат шарових посудин є певні обмеження, які не дозволяють застосувати цей спосіб. По-перше, сканування можна проводити тільки по поверхні МД і тільки тоді, коли розміри його циліндричної частини дозволяють отримувати сигнали від дефектів при умові дзеркального відбиття від донної поверхні. По-друге, при товщині стінки більше 60 мм [5] передбачається проведення УЗК без використання відбитих від поверхонь виробу хвиль (тобто контроль прямим променем). Тому, проводячи контроль посудин, що мають багат шарові обичайки, а в переважній більшості випадків їх товщина перевищує 60 мм, спосіб „тандем” можна застосувати тільки після певного вдосконалення.

На рис. 2 зображена схема контролю з використанням способу, який умовно названий „двохстороннім тандемом”. За рахунок розміщення ПЕП на двох поверхнях контрольованого об'єкту спосіб виключає застосування відбитих від донної поверхні виробу променів. Для його реалізації необхідно передбачити додаткову операцію: визначити оптимальне взаємне положення випромінюючого та приймального похилих перетворювачів. Пропонується робити це з допомогою двох прямих ПЕП, розміщених на протилежних поверхнях і механічно зв'язаних з відповідними похилими ПЕП. Така схема підключення передбачає комутацію каналів зв'язку між дефектоскопом та парами прямих або ж похилих ПЕП, що значно полегшує цю операцію. Якщо не застосовувати комутації, то можна почергово підключати до дефектоскопа пару прямих перетворювачів, визначити та відмічати на поверхнях виробу перетини, що відповідають максимуму прийнятих сигналів і потім замінювати їх парою похилих перетворювачів, скануючи ними в цих перетинах.

Щоб проводити настроювання параметрів контролю з використанням такого способу розроблено спеціальний еталон-імітатор зон відриву РО, який зображено на рис. 3 (поз. 1). Він має деякі суттєві відмінності у порівнянні з традиційно застосовуваними еталонами. Відбиваючі площини плоскодонних відбивачів у ньому мають овальну форму, що наближається до форми очікуваних тріщин та зон відриву (розмір в напрямку, паралельному до поверхні сканування – 20 мм, в напрямку нормалі до цієї поверхні – 5 мм, нахил відбиваючих площин відносно вертикалі складає 5°). Крім того, просторове розміщення групи відбивачів повторює конфігурацію границі сплавлення кромки РО. Такі особливості конструкції еталона дозволяють проводити тестування системи перетворювачів щодо можливості фіксації площинних дефектів.

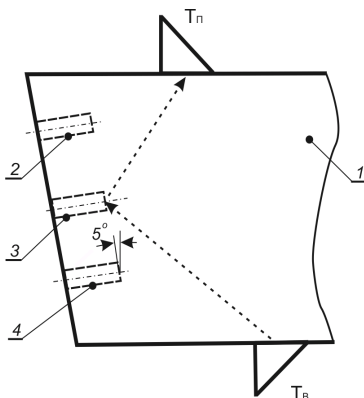
Суть 2-го способу є наступною. Для проведення УЗК зон акустичної активності в зварних з'єднаннях, що з'єднують сусідні РО, застосувати похилі перетворювачі неможливо, бо шари обичайки екранують проходження хвиль. Саме тому нами було розроблено спеціальний спосіб контролю, в якому передбачено використання тільки прямого перетворювача (схема проведення настроювання для його подальшого застосування на об'єкті зображена на рис. 4).

Щоб застосувати цей спосіб спочатку на поверхні посудини в межах зафіксованої ЗАА



*КВ* – контрольований виріб; *Пв* – прямий перетворювач-випромінювач; *Пп* – прямий перетворювач-приймач; *Нв* – похилий перетворювач-випромінювач; *Нп* – похилий перетворювач-приймач; *Д* – площинний дефект; *t* – поперечні хвилі; *l* – поздовжні хвилі

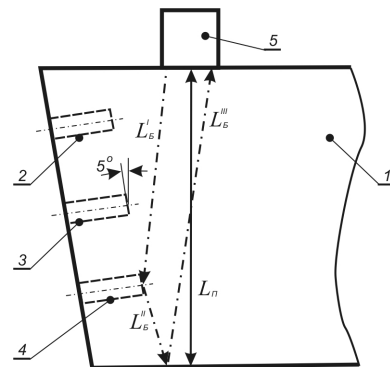
Рис. 2. Схема контролю з застосуванням способу „двохсторонній тандем”



*1* – еталон імітатор зон відриву рулонних обичайок; *2, 3, 4* – плоскодонні відбивачі овальної форми; *Тв, Тп* – положення випромінюючого та приймального перетворювачів

Рис. 3. Еталон-імітатор зон відриву рулонних обичайок та схема настроювання перед контролем способом „двохсторонній тандем”

видаляють валики підсилення шва і розміщують на ній прямий перетворювач. Використання для контролю поздовжніх ультразвукових хвиль дає суттєві переваги, бо вони поширюються по більш короткому шляху у порівнянні з поперечними, менше затухають. Одночасно аналізують два сигнали: прямо відбитий від дна та послідовно відбитий від поверхні зони відриву та дна (рис. 4). Ці сигнали розрізняються завдяки значній часовій різниці їх проходження.



*1* – еталон імітатор зон відриву рулонних обичайок; *2, 3, 4* – плоскодонні відбивачі-імітатори зон відриву рулонних обичайок; *5* – прямий перетворювач; *Лп* – промені, що поширюються в напрямі нормалі до поверхні вводу; *Л'Б* – бокові промені, які падають на дно відбивача *4*; *Л''Б* – бокові промені відбиті від відбивача *4* та від донної поверхні

Рис. 4. Схема розрізнення сигналів, які отримують з допомогою еталона-імітатора зон відриву

Наприклад, при товщині посудини 100 мм зафіксовані глибиновимірювальним пристроєм дефектоскопа дані щодо глибини залягання відбивачів (дна та площинного дефекту) відповідно становлять 100 мм та 115-125 мм. Якщо ж у контрольованому об'єкті відсутні площинні дефекти, то буде реєструватися тільки донний сигнал (значення глибини 100 мм).

Слід зазначити, що при виявленні в ЗАА площинних дефектів з умовним розміром (протяжністю) до 50 мм, рішення про подальшу експлуатацію та прогнозування термінів безпечної експлуатації приймають фахівці, які відповідають за видачу технічного висновку. Для прогнозування терміну, протягом якого розмір зони відриву наблизиться до свого критичного значення, необхідно знати швидкість її зростання. Тому рішення про подальшу експлуатацію акумуляторів може бути прийняте тільки після визначення фактичної величини цієї швидкості на зразках з вирізком контрольованого обладнання. Якщо неможливо зробити такі вирізки з контрольованого обладнання, допускається проведення вимірів з використанням зразків, виготовлених з вирізком у аналогічному обладнанні. За відсутності цих даних необхідно періодично проводити вимірювання в дефектному місці з метою фіксації можливого збільшення зони відриву. Рішення про періодичність та обсяг контролю для визначення швидкості росту зони відриву приймають фахівці, які проводять моніторинг технічного стану.

1. ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.  
 2. ДНАОП 0.00-8.15-97 Порядок проведення експертизи газотранспортного обладнання.  
 3. ДСТУ 4046-2001 Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги.  
 4. ОСТ 26-01-163-84 Сосуды многослойные рулонированные стальные высокого давления. Методика ультразвукового контроля сварных соединений.  
 5. ГСТУ 3-037-2003 Посудини та апарати, що працюють під тиском. Методика

ультра звукового контролю зварних з'єднань.  
 6. ОСТ 26-01-221-86 Сосуды и аппараты многослойные рулонированные стальные высокого давления. Общие технические условия.  
 7. А.Я. Красовский, В.Н. Красику Трещиностойкость сталей магистральных трубопроводов. – К.: Наукова думка, 1980. – 173 с.  
 8. ДСТУ 4227-2003 Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки.  
 9. ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

УДК 622.692.4

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКОВО- ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ РІЗНОТОВЩИНИХ КІЛЬЦЕВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

© Іванчук О.О., 2005  
 Підприємство „Трансгазбуд”, м. Київ

© Осадчук В.А., 2005  
 Національний університет „Львівська політехніка”

**Запропонована математична модель розрахунково-експериментального визначення залишкових напружень в різнотовщинних кільцевих зварних з'єднаннях магістральних трубопроводів, яка базується на розв'язанні оберненої задачі теорії оболонок з власними деформаціями з використанням експериментальної інформації, отриманої неруйнівними методами**

Термін експлуатації магістральних трубопроводів (МТ) в значній мірі зумовлений корозійною стійкістю основного металу та надійністю зварних з'єднань труб [2]. Особливе місце серед зварних з'єднань займають кільцеві різнотовщинні з'єднання, які є однією із причин високої концентрації напружень. При проведенні діагностування таких з'єднань в МТ тривалості експлуатації найскладнішим є визначення рівня і характеру розподілу в тілі труби залишкових технологічних напружень, зумовлених зварюванням, оскільки ні розрахункові, ні існуючі неруйнівні методи контролю окремо взяті не дозволяють розв'язати цю проблему. Нижче запропоновано модель розрахунково-експериментального визначення залишкових технологічних напружень в різнотовщинних зварних з'єднаннях з використанням експериментальної інформації, здобутої

неруйнівними методами. Для її побудови застосовано розрахунково-експериментальний метод, що ґрунтується на розв'язанні обернених задач теорії оболонок з використанням експериментальних даних, отриманих неруйнівними методами [4]. При цьому розглянуто з'єднання різнотовщинних труб одного діаметру, коли різниця товщин стінок (максимальна з яких більша ніж 12 мм) не перевищує 3 мм. За таких умов зварювання труб проводиться без застосування перехідників проміжкової товщини [1].

Для побудови рівнянь, що описують напружений стан зварного різнотовщинного з'єднання, моделюватимемо його круговими циліндричними оболонками завтовшки  $2h_1$  і  $2h_2$  (зліва і справа від осі зварного шва) під дією локалізованих власних залишкових деформацій, зумовлених зварюванням (рис. 1).