

620.179.1

Г 70

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

*Горошко Андрій Володимирович*

*Стор*

УДК 620.179.1 (043)

Г 70

**КОМП'ЮТЕРНА АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА  
ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО  
СТАНУ ДЕТАЛЕЙ І КОНСТРУКЦІЙ**

Спеціальність 05.11.13 – *Прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин*

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Технологічному університеті Поділля  
(м. Хмельницький) Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

Заслужений діяч науки і техніки України,  
доктор технічних наук, професор,  
**Ройzman Вілен Петрович**,  
Технологічний університет Поділля,  
завідувач кафедри прикладної механіки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Копей Богдан Володимирович**  
Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу,  
професор кафедри нафтогазового обладнання

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Учанін Валентин Миколайович**  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка  
НАН України (м. Львів), завідувач відділу

Провідна установа:

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона  
НАН України, (м. Київ)

Захист  
спеціалізації  
національного  
76019,

З дисертації  
національного  
Франківського

Автор

Вчений  
кандидат

2003 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні  
52.03 при Івано-Франківському  
газу за адресою:

Івано-Франківського  
76019, м. Івано-

ук М.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність проблеми.** Нерідко в процесі виробництва і експлуатації відповідальних деталей і конструкцій в них розвиваються різного роду дефекти (раковини, пори, тріщини, розшарування і т.д.), що призводить до погіршення якості та надійності виробів і нарешті до їх руйнування. Останнім часом все частіше переходять від експлуатації за ресурсом до експлуатації за технічним станом, і надійна технічна діагностика дозволяє продовжувати строк експлуатації значної частини обладнання, яке відпрацювало свій ресурс, що дає вагомий економічний ефект. В зв'язку з цим продовжуються пошуки об'єктивних методів діагностування деталей і конструкцій.

Більшість відомих методів неруйнівного контролю стану матеріалів, такі як ультразвукова дефектоскопія і рентгенівська радіографія, забезпечують лише вибірковий контроль в окремих зонах матеріалу, виявляючи значні дефекти, і не дають інформацію про те, наскільки небезпечним може бути виявлений дефект, хоча дефект може бути небезпечним або безпечним в залежності від його розташування в полі напружень, що виникають при навантаженні матеріалу. На відміну від вищезгаданих методів, метод акустичної емісії (АЕ), що базується на випромінюванні матеріалом при зміні його внутрішньої структури пружних механічних хвиль, джерелом яких є дефекти, що розвиваються, володіє високою чутливістю, можливістю виявити і стежити за поведінкою дефектів, інтегральністю, що дозволяє контролювати стан матеріалу без сканування, простотою використання в процесі випробувань, виробництва й експлуатації, можливістю контролювати матеріали не тільки під механічним навантаженням, але і в процесі фазових перетворень.

Одною з найважливіших задач АЕ-контролю є локація, тобто визначення місця розташування дефекту, що дозволяє не тільки знайти дефектні місця матеріалу, але і оцінити їх небезпечність. Незважаючи на існування множини робіт із явища АЕ, питання про його практичне застосування, особливо визначення координат дефектів для неруйнівного контролю і діагностування технічного стану матеріалів, деталей і конструкцій з метою визначення їх придатності до експлуатації, є актуальним і таким, що потребує подальшого розвитку.

У даній роботі розглядаються методики і засоби акустико-емісійної діагностики литих деталей, паяних і зварних з'єднань деталей машин та інших відповідальних конструкцій з визначенням координат дефектів.

**Тема дисертації** спрямована на розробку нових акустико-емісійних методик та засобів неруйнівного контролю і діагностики технічного стану деталей і конструкцій, та їх впровадження в практику.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота проведена відповідно до держбюджетної теми на 2000-2002 р. (шифр «ЗБ-2000») підрозділу 4.8. «Розробка комплексу лінійної, площинної, об'ємної локації сигналів акустичної емісії діагностики та прогнозуван



плат електронної техніки з визначенням місць дефектів.

7. Методика та устаткування для неруйнівного контролю, діагностики технічного стану і прогнозування руйнуючого навантаження литих важелів, впроваджені на ВАТ “Адвіс” (акт впровадження від 21 червня 2002 р.), дозволили в 1,5 рази зменшити кількість браку продукції, зменшити витрати на неруйнівний контроль іншими методами. Методика діагностування газозаправника, впроваджена на ДП Подільський експертно-технічний центр Держнаглядохоронпраці, дозволила підвищити якість і надійність, зменшити трудомісткість діагностування (акт впровадження від 21 грудня 2001 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати та положення дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Особисто автором проведено дослідження міцності паяних з’єднань конденсаторів [1]; одержано розв’язки задач площинної і просторової локації дефектів [2, 6, 9, 13], розроблено спосіб і пристрій локації в акустопрозорому середовищі [4, 7, 8]; модифіковано два суб-блоки серійного приладу АФ-15 для можливості безперервної передачі сигналів АЕ у ПК, розроблено і створено інтерфейси введення/виведення для узгодження роботи з ПК, створено програми збору, обробки і локації сигналів АЕ [10]; відпрацьовано методики проведення неруйнівного контролю і технічного діагностування посудин, які експлуатуються під тиском [6]; розроблено спосіб діагностування міцності зварних з’єднань в процесі тверднення розплаву на прикладі зварних з’єднань чавуну СЧ-4 [14]; розроблено методики і засоби використання параметрів АЕ для неруйнівного контролю і діагностування технічного стану паяних з’єднань друкованих плат [5, 11, 12]; встановлено кореляційні залежності між параметрами сигналів АЕ і міцністю литих важелів автонавантажника [3], розроблено методику акустико-емісійного контролю, діагностування і прогнозування характеристик міцності важелів [5].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались на 2-й міжнародній науково-практичній конференції “Надійність машин і прогнозування їх ресурсу” (Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, 2000); міжнародній конференції “Системные проблемы качества, математического моделирования и информационных технологий” (м. Сочі, 2000); 2-й міжнародній науково-практичній конференції „Современные информационные и электронные технологии” (м. Одеса, 2001); 3-й міжнародній науково-практичній конференції „Современные информационные и электронные технологии” (м. Одеса, 2002); 1-й міжнародній науково-технічній та методичній конференції “Динаміка машин і механізмів” (м. Хмельницький, 2002); 8-й науково-технічної конференції “Вимірювальна й обчислювальна техніка в технологічних процесах” (Хмельницький, 2001 р.); 8-й міжнародній науково-технічній конференції-виставці “Неруйнівний контроль та діагностика неоднорідних об’єктів” серії “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів” (м. Славське, 2003); на наукових семінарах кафедри прикладної механіки Технологічного університету Поділля (м. Хмельницький, 1999-2003).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковані в 6 статтях (1 стаття одноосібна) наукових фахових журналів, перелік яких затверджено ВАК України,

3 патентах України, 5 збірниках тез доповідей наукових конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків. Робота виконана на 138 сторінках машинописного тексту, містить 78 рисунків, 8 таблиць, 10 додатків та список використаних джерел з 119 найменувань. Загальний об'єм дисертації 203 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми досліджень, її зв'язок з державними науково-технічними програмами, сформульована мета роботи і її практична цінність, вказана новизна отриманих результатів.

У розділі 1 проведено аналіз існуючих неруйнівних методів оцінювання технічного стану суцільних, паяних і зварних деталей і конструкцій. Відмічено, що традиційно застосовувані методи неруйнівного контролю і технічної діагностики, такі як ультразвуковий контроль і рентгенівська радіографія, не завжди можуть забезпечити високу якість і надійність. Загальним недоліком є те, що як правило, вказані методи не дозволяють виявити схильні до розвитку (небезпечні) дефекти, забезпечують лише вибірковий контроль. В розділі показані переваги і перспективи використання методу АЕ, який реагує лише на небезпечні дефекти, контролюючи одночасно 100% матеріалу конструкції.

Встановлено, що існуючі способи локації джерел АЕ, тобто визначення місця розташування дефекту, висвітлені в роботах Вакара К.Б., Грешнікова В.А., Дробот Ю.В., Красильникова Д.П., Недосеки А.Я., Шемякина В.В., базуються на досить складних алгоритмах, які можуть бути реалізовані за умов реєстрації  $n$ -/ різниць часу приходу сигналу (РЧП) АЕ до  $n$  первинних п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП) відносно якогось одного, який першим зареєстрував хвилю АЕ, і розв'язуються наближено. Точніше розв'язати задачу локації можна, використовуючи меншу кількість РЧП, що вимагає розробки інших алгоритмів локації. В розділі поставлено задачі створення АЕ-методик технічного діагностування з визначенням координат дефектів, схематизувавши всі деталі і конструкції брусом, пластинками та оболонками і масивами, що вимагає розв'язання відповідно задач лінійної, площинної і просторової локації джерел АЕ.

Розділ 2 присвячено теоретичним розв'язкам задач локації джерел АЕ, які можуть бути реалізовані за допомогою приладів АФ-15. На відміну від відомих способів, замість декількох РЧП сигналу АЕ відносно якогось одного з ПЕП, використовуються незалежні РЧП, які реєструються кожним двоканальним приладом АФ-15. Кількість РЧП дорівнює кількості задіяних у вимірі приладів АФ-15.

В розділі представлений розв'язок площинної локації АЕ-джерел. Вперше задача площинної локації джерел АЕ розв'язана шляхом реєстрації двох РЧП до двох незалежних пар ПЕП. Для розв'язку задачі площинної локації в декартових координатах чотири ПЕП розташовуються навхрест на досліджуваній конструкції, як показано на рис. 1 (а). Розв'язок задачі локації зводиться до розв'язку системи двох лінійних рівнянь

$$\begin{cases} BK - AK = \tau_1 \nu, \\ DK - CK = \tau_2 \nu. \end{cases} \quad (1)$$

Тут  $\tau_1$  - РЧП сигналів АЕ до ПЕП А і В,  $\tau_2$  - РЧП до ПЕП С і D,  $\nu$  - швидкість поширення хвиль АЕ в матеріалі контрольованої конструкції. Розв'язком системи рівнянь (1) в декартових координатах є формули

$$\begin{cases} x_K = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_1^2 \nu^2 \cdot (4y_2^2 - \tau_2^2 \nu^2) \cdot (4x_4^2 - \tau_1^2 \nu^2 + \tau_2^2 \nu^2)}{(4x_4^2 - \tau_1^2 \nu^2) \cdot (4y_2^2 - \tau_2^2 \nu^2) - \tau_1^2 \tau_2^2 \nu^4}}, \\ y_K = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_2^2 \nu^2 \cdot (4x_4^2 - \tau_1^2 \nu^2) \cdot (4y_2^2 - \tau_2^2 \nu^2 + \tau_1^2 \nu^2)}{(4x_4^2 - \tau_1^2 \nu^2) \cdot (4y_2^2 - \tau_2^2 \nu^2) - \tau_1^2 \tau_2^2 \nu^4}}. \end{cases} \quad (2)$$

В запропонованих формулах (2) використано дві РЧП, що значно спрощує процес розрахунку координат дефектів на площині, і тим самим, на відміну від існуючих залежностей, в яких використовуються три РЧП, досягається більша точність. Використання формул (2) дозволяє знаходити координати джерел АЕ не тільки всередині прямокутника, утвореного ПЕП, а і поза його межами.

Далі представлений розв'язок задачі просторової локації джерел АЕ. Вперше задача просторової локації джерел АЕ розв'язана шляхом реєстрації трьох РЧП до трьох незалежних пар ПЕП, розташованих навхрест, як показано на рис. 1 (б).

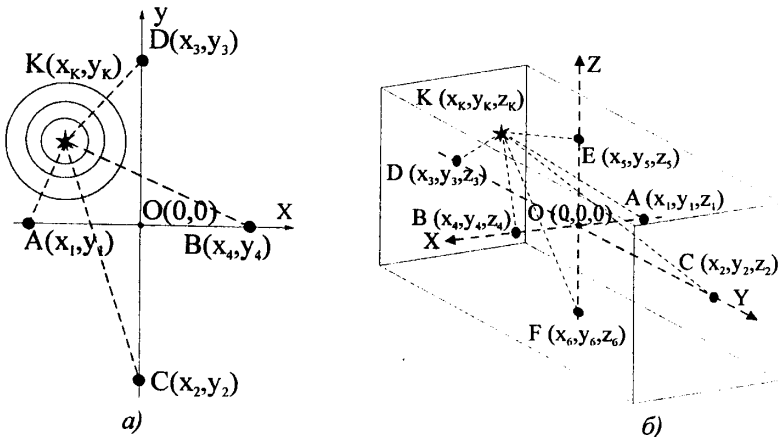


Рис. 1. Схема площинної (а) і просторової локації (б) джерел АЕ:  
*т.* К – джерело АЕ;  
 А, В, С, D, E і F – приймальні перетворювачі.

Для розв'язку задачі просторової локації в декартових координатах використовуються просторова система координат хуз. Виділимо прямокутний паралелепіпед і розташуємо в точці перетину його осей симетрії початок координат. ПЕП А, В, С, D, E та F розташовуються на осях координат і поділені на три групи, кож-

на з яких контролює відповідну вісь. Джерело сигналів АЕ знаходиться в т. К. Вихідними залежностями є (3). Розв'язком системи рівнянь (3) є (4).

$$\begin{cases} BK - AK = \tau_1 \nu, \\ CK - DK = \tau_2 \nu, \\ EK - FK = \tau_3 \nu. \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_K = \pm \sqrt{\frac{bce + -bg - cf + f + g - e}{abc - a - b - c + 2}}, & a = 1 - \left(\frac{2x_4}{\tau_1 \nu}\right)^2, \quad e = \left(\frac{\tau_1 \nu}{2}\right)^2 - x_4^2, \\ y_K = \pm \sqrt{\frac{acf - ag - ce + e + g - f}{abc - a - b - c + 2}}, & \text{де } b = 1 - \left(\frac{2y_2}{\tau_2 \nu}\right)^2, \quad f = \left(\frac{\tau_2 \nu}{2}\right)^2 - y_2^2, \\ z_K = \pm \sqrt{\frac{abg - af - be + e + f - g}{abc - a - b - c + 2}}. & c = 1 - \left(\frac{2z_5}{\tau_3 \nu}\right)^2, \quad g = \left(\frac{\tau_3 \nu}{2}\right)^2 - z_5^2. \end{cases} \quad (4)$$

Використання формул (4) дозволяє знаходити координати джерел АЕ не тільки всередині прямокутного паралелепіпеда, утвореного ПЕП, а і поза його межами. Схеми лінійної і площинної локації є частинними випадками розробленої схеми просторової локації.

Для діагностування сферичних об'єктів вперше був розроблений спосіб визначення координат дефектів на сфері як частинний випадок просторової локації (рис. 2). Оскільки найкоротша відстань між будь-якими двома точками на сфері визначається єдиним чином геодезичними лініями, для розв'язку задачі локації необхідно розв'язати систему рівнянь (3), замінюючи відстані від дефекту до ПЕП на відповідні дуги  $\overset{\frown}{AK}, \overset{\frown}{BK}, \overset{\frown}{CK}, \overset{\frown}{DK}, \overset{\frown}{EK}, \overset{\frown}{FK}$ . Вихідні формули обчислення координат дефектів на сферичній поверхні мають вигляд

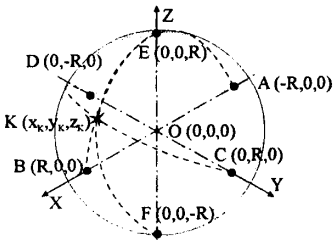


Рис. 2. Схема просторової локації на сфері:  
R-радіус сфери;  
т. К – джерело АЕ;  
А, В, С, D, Е і F – приймальні перетворювачі.

$$\begin{cases} x_K = -R \sin\left(\frac{\tau_1 \nu}{2R}\right), \\ y_K = -R \sin\left(\frac{\tau_2 \nu}{2R}\right), \\ z_K = -R \sin\left(\frac{\tau_3 \nu}{2R}\right). \end{cases} \quad (5)$$

У розділі 3 для реалізації розроблених способів локації на базі трьох модифікованих акустико-емісійних приладів АФ-15 і ПК створено шестиканальну програмно-апаратну станцію акустичної емісії (ПАСАЕ). При розробці станції було проведено модернізацію двох субблоків серійного приладу АФ-15 для можливості безперервної передачі сигналів АЕ у ПК; розроблено і

створено інтерфейси введення/виведення для узгодження роботи з ПК, введена можливість програмного врахування швидкості поширення хвиль АЕ, що підвищило точність лінійної локації в порівнянні із способом, реалізованим у АФ-15, в 5 разів, створено програми збору, обробки і локації сигналів АЕ, що дозволило підвищити в 40 разів об'єм АЕ-інформації, яка обробляється, здійснювати швидку комп'ютерну обробку, представляти АЕ-сигнали у зручному наглядному вигляді двох- і тримірних графіків.

Основною задачею ПАСАЕ є документальна реєстрація й опрацювання параметрів сигналів акустичної емісії, які виникають при випробуванні деталей статичними і динамічними навантаженнями, а також для визначення лінійних, площинних і просторових координат дефектів. Станція застосовується для експериментальної та прикладної діагностики технічного стану матеріалів, деталей і конструкцій та апаратів різноманітних галузей народного господарства.

У розділі 4 представлені результати досліджень технічного стану зварних і паяних з'єднань, при виготовленні яких з'являються небезпечні дефекти у вигляді тріщин, непропалень, пустот, і т. п., які ведуть до руйнування зварних і паяних деталей та конструкцій.

Проведені раніше іншими авторами дослідження показали, що в процесі остигання зварного шву АЕ виникає без зовнішнього навантаження, внаслідок теплової дії, що приводить до фазових перетворень в матеріалі, під дією внутрішніх локальних напружень, які розвиваються в самому шві та навколошовній зоні, неоднорідності структури матеріалу.

Далі представлено результати досліджень, які проводились з метою вироблення методик неруйнівного АЕ-контролю зварних з'єднань (ЗЗ) пластин чавуну СЧ-4 в процесі тверднення розплаву. Для отримання якісних зварних швів зварювання вели чавунними електродами марки ЦЧ-4 постійним струмом оберненої полярності, з виконанням всіх необхідних температурних режимів. Для того, щоб ініціювати розвиток дефектів, зварювання вели постійним струмом прямої полярності (струм 110 А, напруга дуги 28-30 В), при швидкості зварювання 0,35 см/с електродами типу Э42 марки УОНИ – 13/45, які не призначені для зварювання чавуну. Якість зварних швів оцінювали візуальним контролем і кольоровою (капілярною) дефектоскопією.

Сигнали АЕ записувались відразу по закінченню горіння дуги до охолодження зварного шву до кімнатної температури. Порівняння параметрів АЕ, отриманих для якісних і дефектних ЗЗ, показали, що процес виникнення і розвитку внутрішніх дефектів характеризувався різким збільшенням кількості сигналів АЕ з амплітудою, більше 1мВ. Встановлено, що найбільш інформативним параметром АЕ є питома активність сигналів АЕ на одиницю об'єму зварного шва, зареєстрована при зміні температури від 200°C до кімнатної температури. Застосування площинної локації для діагностування зварних з'єднань під час охолодження розплаву показало (рис. 3), що місця виникнення тріщин чітко прослідковуються за допомогою площинної локації сигналів АЕ. Результати візуального огляду і кольорової дефектоскопії отриманих зварних з'єднань корелюють з да-



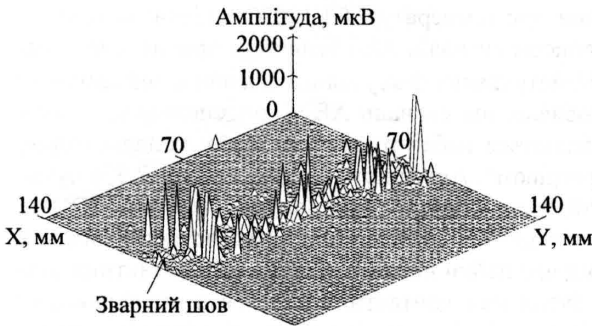


Рис. 3. Тримірна акустограма розподілу сигналів АЕ по площині зварного шву

повного руйнування зварної конструкції.

В результаті досліджень була вироблена методика виявлення дефектів зварювання в процесі формування зварних швів, згідно якої після закінчення горіння дуги проводиться запис сигналів АЕ протягом часу зміни температури від 200°C до кімнатної температури, і, якщо максимальна питома активність сигналів АЕ під час спостережень перевищить допустимий рівень  $N=1 \text{ імп/с}\cdot\text{см}^3$ , то це свідчить про те, що у контрольованому зварному шві сформувались небезпечні дефекти. Способом площинної локації джерел АЕ знаходяться координати дефектів.

Наступним об'єктом досліджень були паяні з'єднання (ПЗ) електронної техніки, в яких часто зустрічаються приховані дефекти. На сьогоднішній день відсутні об'єктивні засоби неруйнівного контролю ПЗ. Метою досліджень була розробка методики неруйнівного контролю і діагностування ПЗ, паяних за SMD-технологією. Проведені автором дослідження показали, що при твердненні ПЗ легкоплавких пропоїв випромінюється незначна кількість сигналів АЕ, чого недостатньо для розробки методик контролю їх технічного стану, тому використовували випробування при механічному навантаженні ПЗ.

Далі в розділі представлені результати випробувань контактних ділянок конденсаторів типу К10-9 та КМ-5В на розтяг. Нерідко при монтажі і в процесі експлуатації відбувалось руйнування контактних ділянок цих конденсаторів. Причиною вважався перегрів конденсаторів при пайці. Для визначення зусиль і деформацій, які приводять до відшарування контактних ділянок конденсаторів при розтягу, порівняння руйнуючих навантажень і параметрів сигналів АЕ, що виникають у конденсаторах при пайці з перегрівом, тобто при прогріві вузла паяльником на протязі 10 с, та "холодним" сплавом Розе, проведено випробування конденсаторів типу К10-9 та КМ-5В, кожні із яких були взяті із однієї партії. Частина конденсаторів була припаяна на смугах, які вирізались із друкованих плат, а до частини конденсаторів припаювалися дротяні виводи. Конденсатори КМ-5В, паяні припоєм ПОС-61 при температурі 220-270°C з "перегрів-

ними АЕ.

В місцях, виявлених за допомогою площинної локації сигналів АЕ, було знайдено тріщини довжиною від 1 до 10 мм. Площинна локація, застосована при випробуванні цих же зварних з'єднань на розтяг, підтвердила, що мікротріщини, які виникли в зварному шві при його охолодженні, є ініціаторами макротріщин, які ведуть до

вом”, і “холодним” припоєм Розе при температурі 94-120°C, піддавали розтягу до руйнування з одночасним записом сигналів АЕ і величини прикладеного навантаження. За допомогою тензотрування фіксувались значення деформації  $\epsilon$  поверхні конденсаторів. Встановлено, що сигнали АЕ у конденсаторів, паяних “холодним” припоєм Розе, з’являються набагато раніше, ніж у конденсаторів, паяних припоєм ПОС-61 з “перегрівом”. Активність їх відповідно у 2,5, а сумарний рахунок в 1,5 рази більший, ніж у конденсаторів, паяних припоєм ПОС-61 з “перегрівом”. За допомогою методу АЕ було показано, що всупереч відомій думці, прогрів конденсаторів під час пайки не знижує міцності контактних вузлів, а спричиняє покращення зчеплення контактних ділянок з обкладинками конденсатора і тому навіть підвищує міцність на відрив цих ділянок від конденсатора. В результаті проведених досліджень виявлено, що попередній прогрів конденсаторів КМ-5В збільшує міцність контактних вузлів, оптимальна температура прогріву лежить в діапазоні 180...200°C.

Встановлено, що при прикладенні до друкованих плат неруйнівного статичного навантаження за схемою чистого згину, якісні ПЗ друкованих плат не випромінюють сигналів АЕ взагалі. ПЗ з дефектом типу “неспай” характеризується 10-15 сигналами АЕ, що випромінюються, як правило, при збільшенні навантаження, а для ПЗ типу “холодна пайка” з кільцевою тріщиною реєструються 30-40 сигналів АЕ, які випромінюються під час зняття навантаження, найімовірніше, внаслідок сходження країв тріщини.

З метою визначення координат небезпечних дефектів ПЗ друкованих плат, які навантажувались за схемою чистого згину, була застосована площинна локація АЕ-джерел. Результати показали невисоку точність визначення координат дефектів – похибка вимірювання координат складала 30% відносно відстані між ПЕП. Причиною є складна і неоднорідна поверхня друкованих плат, що містить матеріали з неоднаковими акустичними властивостями (швидкість поширення, загасання ультразвукових хвиль і т. ін.). Для підвищення точності локації і спрощення обчислень при визначенні місцеположення дефекту у таких конструкціях, розроблено спосіб площинної локації шляхом реєстрації сигналів АЕ в однорідному акустопрозорому середовищі, що є частинним випадком розробленого в розділі 2 способу просторової локації і пояснюється на рис. 4. ПЕП, контрольована конструкція і пристрій навантаження занурюються в акустопрозоре середовище для того, щоб сигнали АЕ потрапляли на ПЕП, поширюючись в даному середовищі. Розрахунковими формулами локації джерел АЕ в акустопрозорому середовищі є

$$\begin{cases} x_k = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_1^2 v^2 \tau_2^2 v^2 (\tau_2^2 v^2 - \tau_1^2 v^2 + 4x_4^2 - 4y_2^2) + 4\tau_1^2 v^2 y_2^2 (\tau_1^2 v^2 - 4x_4^2 - 4z_k^2)}{4\tau_1^2 v^2 y_2^2 + 4\tau_2^2 v^2 x_4^2 - 16x_4^2 y_2^2}}, \\ y_k = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_1^2 v^2 \tau_2^2 v^2 (\tau_1^2 v^2 - \tau_2^2 v^2 - 4x_4^2 + 4y_2^2) + 4\tau_2^2 v^2 \cdot x_4^2 (\tau_2^2 v^2 - 4y_2^2 - 4z_k^2)}{4\tau_1^2 v^2 y_2^2 + 4\tau_2^2 v^2 x_4^2 - 16x_4^2 y_2^2}}. \end{cases} \quad (6)$$

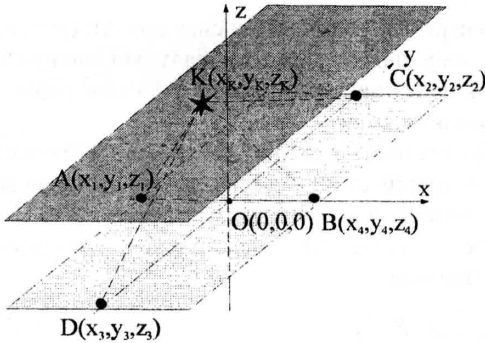


Рис. 4. Площинна локація в акустопрозорому середовищі:  
*m*. *K* – джерело АЕ;  
*A*, *B*, *C* і *D* – приймальні перетворювачі.

Спосіб може бути застосований не тільки для прямокутних об'єктів, якими є плати, але і для будь-яких плоских конструкцій. Результати експериментів показали, що похибка вимірювання координат зменшилась з 30% до 5%. Випробування друкованих плат за схемою чистого згину з одночасною реєстрацією сигналів АЕ дозволили розробити наступну методику визначення дефектів ПЗ друкованих плат:

- друковану плату навантажують за схемою чистого згину до безпечного рівня навантаження з ко-

ефіцієнтом запасу міцності матеріалу припою  $n=2,5$ ;

- при появі сигналів АЕ повторюють цикл навантаження/розвантаження 1-3 рази, і, якщо емісія не припиняється, плата містить дефект ПЗ і відбраковується;

- за необхідністю, проводять локацію дефектів у відбракованих платах в акустопрозорому середовищі, виявляючи місце дефектного ПЗ і ліквідують дефект.

Методика була перевірена в ході неруйнівного контролю технічного стану ПЗ групи друкованих плат з SMD-монтажем. Випробуванню підлягало 32 склотекстолитових однотипних двосторонніх друкованих плат з одностороннім монтажем розміром 120×220 мм, що були взяті із однієї партії. Плати навантажували за розробленою вище методикою. Пристрій навантаження, друкована плата і ПЕП занурювались у воду. За результатами випробувань в двох друкованих платах були виявлені дефекти – “неспай” і визначено місця їх розташування.

Розділ 5 присвячений розробці методик акустико-емісійного діагностування технічного стану промислових об'єктів. Об'єктом досліджень були важелі S 48.167230 (рис. 5), які є деталями автонавантажника, що випускається фірмою “JUNGHEINRICH”. Важелі виготовлялись на ВАТ “Адвіс” (м. Хмельницький). Матеріал важелів – сталь 45ХЛ, причому після литва важелі проходять термічну обробку (HRC<sub>3</sub>-26-30) для підвищення значення границі міцності до  $\sigma_g = 900-950$  МПа. При виготовленні важелів в металі з'являлись різні види дефектів, найчастіше пори і раковини, що з ймовірністю довіри 95% знижують значення руйнуючих навантажень на 13% і можуть привести до повного руйнування важелів.

Метою досліджень була розробка АЕ-методики неруйнівного контролю і діагностування пошкоджень важелів, для чого їх випробовували статичним навантаженням за схемою трьохточкового згину до безпечного рівня  $\sigma = 480$  МПа, що не виходить за ділянку границі пропорційності матеріалу, з одночасним записом сигналів АЕ. Спостереження показали залежність енергії і сумарного рахунку сигналів АЕ від значення руйнуючих навантажень, а саме: чим вища міцність ва-

желя, тим нижчий рівень накопиченої енергії зареєстрованих сигналів АЕ (рис. 6). Фізичний зміст цього явища полягає в тому, що дефекти матеріалу, які знижують міцність важелів, проявляють себе (у вигляді випромінювання АЕ) тим раніше, чим суттєвішим є викликане ними зниження міцності.

За матеріалами руйнівних випробувань партії важелів (за критерій руйнування приймали появу кризної тріщини на тонкій стінці важеля, яка працювала на розтяг) була встановлена степенева залежність з коефіцієнтом кореляції 0,88 між руйнівними напруженнями і енергією сигналів АЕ, накопиченою упродовж неруйнівного діагностування важелів у вигляді

$$\sigma_{руйн} = A \cdot E^{-b}, \quad (7)$$

де  $\sigma_{руйн}$  - напруження руйнування,  $E$  – енергія сигналів АЕ, накопичена упродовж неруйнівного діагностування,  $b$  - безрозмірний коефіцієнт, який враховує небезпечність дефектів,  $A$  - максимальне значення напруження руйнування при  $b=0$ .

Коефіцієнти  $A$  і  $b$  були знайдені шляхом аналізу результатів випробувань важелів за допомогою методу найменших квадратів і склали відповідно:  $A=950\text{МПа}/(\text{мВ}^2\text{с})^{-0,1}$ ,  $b=0,1$ .

Так як критерієм браку за умовами замовника є значення границі текучості матеріалу важелів, менше ніж  $\sigma_m=720$  МПа, якому відповідає рівень накопиченої енергії сигналів АЕ  $E=3,1$  мВ<sup>2</sup>с, шляхом навантаження важелів до рівня тестування  $P_{тест}$  з одночасною реєстрацією параметрів сигналів АЕ, можна визначити з ймовірністю довіри 0,95 дефектність важеля, а також спрогнозувати його руйнуюче напруження за формулою (7). Розкид значень руйнуючого напруження за даною методикою складає  $\pm 14\%$ .

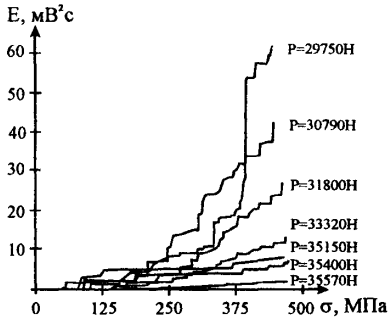
Застосування лінійної локації для діагностування важелів S 48.167230 в процесі навантаження дозволило знаходити місця розташування небезпечних дефектів за допомогою розподілу сигналів АЕ по довжині деталей, що продемонстровано на рис. 7.

З практичною метою запропоновано методику діагностування технічного стану і прогнозування міцності важелів:

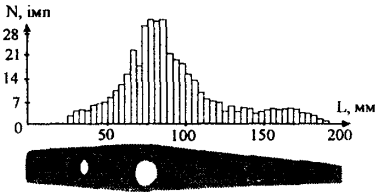
- тестування кожного важеля проводяться статичним навантаженням на згин до безпечного навантаження, значення якого знаходиться з врахуванням коефіцієнта запасу міцності ( $n=1,5 \dots 1,8$ ) і не перевищує границю пропорційності матеріалу важелів. Для кожного з тестованих важелів визначаються значення накопиченої енергії сигналів АЕ, зареєстрованих при тестуванні;
- якщо рівень накопиченої енергії зареєстрованих сигналів АЕ перевищує допустиме значення  $E=3,1$  мВ<sup>2</sup>с, важіль визнається таким, що містить небезпечні дефекти;
- за необхідністю, для дефектних важелів проводиться прогнозування їх міцних характеристик для застосування в менш відповідальних конструкціях. Для прогнозування руйнуючих напружень використовується емпіричний вираз (7).



*Рис. 5. Зовнішній вигляд зруйнованого важеля*



*Рис. 6. Залежність накопиченої енергії АЕ від навантаження важелів з різним значенням руйнуючих навантажень*



*Рис. 7. Гістограма розподілу сигналів АЕ по лінійній координаті*

нього днища, що після наступного внутрішнього огляду виявилось пошкодженням корозією. Зважаючи на характер сигналів АЕ, небезпечних дефектів не виявлено і дано дозвіл на продовження експлуатації повітрозбірника.

Розроблений спосіб і засіб просторової локації були застосовані для діагностування технічного стану двадцяти кулеподібних ємностей ПАГ3-2800-32.23.01.000 (надалі посудин), які відпрацювали свій ресурс. Посудини розташовуються на пересувному автомобільному газозаправнику і відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки.

Конструкційно вказані посудини відносяться до об'єктів оболонкового типу, однак графічне представлення сферичних поверхонь у вигляді розгортки і застосування площинної локації значно ускладнює процес визначення координат дефектів і знижує його точність, тому при діагностуванні даних посудин був засто-

Методика впроваджена на ВАТ "АД-ВІС" (м. Хмельницький) для контролю і діагностування пошкоджень а також прогнозування міцнісних характеристик важелів. Встановлено, що достовірність відбракування за даною методикою в 1,5 рази вища в порівнянні з методом рентгенівської радіографії, оскільки один і той самий дефект в залежності від його розташування в полі напружень, може бути безпечним або небезпечним, а метод АЕ реагує лише на небезпечні дефекти.

Наступним промисловим об'єктом досліджень був повітрозбірник В-6,3 ГОСТ 9028-59, при діагностуванні технічного стану якого була перевірена ефективність розробленого способу і засобу площинної локації. Повітрозбірник конструкційно являє собою циліндр з звареними сферичними днищами. Оскільки розгортку циліндричної поверхні та поверхню днища з великим радіусом кривизни можна представити у вигляді площини, для контролю застосували площинну локацію АЕ-джерел. Тензометричний і АЕ-контроль повітрозбірника виконували з метою визначення небезпечних дефектів, оцінки їх небезпечності і прийняття рішення про його придатність для подальшої експлуатації. Результати площинної локації виявили місце джерела АЕ - окіл дренажного отвору ниж-

сований розроблений раніше спосіб визначення координат дефектів сферичних поверхонь як частинний випадок просторової локації.

Перед проведенням АЕ-діагностики всі посудини були проконтрольовані ультразвуковим та капілярним методами, згідно чого всі посудини були визнані придатними до подальшої експлуатації. В ході АЕ-контролю посудини навантажували внутрішнім тиском до 400 атм, що становить 1,25 від робочого тиску. За результатами діагностики технічний стан більшості посудин був визнаний задовільним.

При піднятті тиску в одній з посудин методом просторової локації була виявлена течія в заглушці, причому течію неможливо було визначити за зменшенням тиску за допомогою контрольного манометра, що підтвердило ефективність створеного засобу АЕ-діагностики і як акустичного шукача течі. Локаційна карта посудини з течією представлена на рис. 8.

Дві з двадцяти проконтрольованих посудин були визнані непридатними до експлуатації. Порівняльні акустограми, типові для дефектних і бездефектних посудин, представлені на рис. 9. Локація АЕ-сигналів виявила найбільшу густину АЕ-джерел біля верхньої заглушки, де встановлений манометр, а також в районі

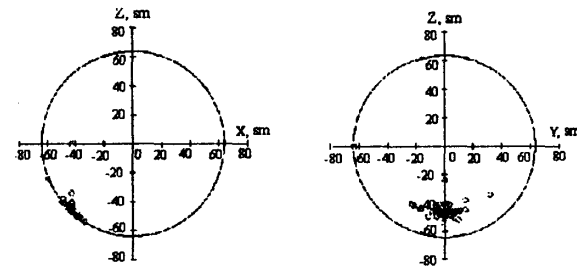


Рис. 8. Локаційні карти посудини, у якій виникла течія

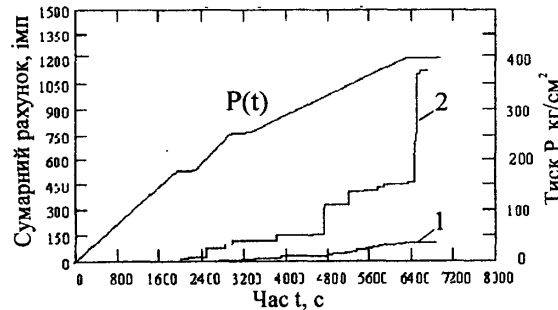


Рис. 9. Залежність сумарного рахунку АЕ від величини навантаження:

- 1-посудина без дефектів;
- 2-посудина з дефектом.

стикового зварного шву. Зважаючи на характер АЕ-сигналів, обидві посудини рекомендували виключити з подальшої експлуатації.

За результатами діагностики були вироблені рекомендації з АЕ-контролю даних посудин. Зокрема, поява ефекту Кайзера, плавний ріст сумарного рахунку АЕ, що не перевищує 160 імп. та відсутність АЕ на витримках тиску свідчать про відсутність на даний час дефектів, небезпечних для подальшої експлуатації. Результати даних досліджень були впроваджені на Подільському ЕТЦ Держнаглядохоронпраці для контролю за технічним станом посудин, які експлуатуються під тиском, що дозволило підвищити ефективність і зменшити трудомісткість неруїнівного

контролю, а також спростити процес контролю іншими неруйнівними методами завдяки визначенню небезпечних місць у матеріалі виробів.

В роботі також розроблено методику оцінювання технічного стану даних посудин, визначаючи небезпечність знайдених за допомогою локації кластерів (місць підвищеної АЕ-активності), за імовірнісними ознаками.

## ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу відомих методів і засобів контролю технічного стану деталей і конструкцій сформульовані невирішені задачі. Встановлено, що існуючі акустико-емісійні способи локації дозволяють визначати координати дефектів з недостатньою точністю, особливо в конструкціях з різномірних матеріалів. Розглянуто відомі акустико-емісійні методики технічної діагностики деталей і конструкцій, у результаті чого виявлено, що на сьогодні відсутні методики неруйнівного контролю паяних з'єднань електронної техніки і зварних з'єднань в процесі остигання зварного шва.

2. Теоретично розроблені способи площинної і просторової локації джерел АЕ, шляхом реєстрації РЧП до незалежних пар ПЕП, розташованих навхрест, що дозволяє простіше і точніше знаходити координати небезпечних дефектів плоских і просторових деталей і конструкцій.

3. Для реалізації комп'ютерних акустико-емісійних методик діагностування створено комп'ютерний засіб, для чого проведено модифікацію двох субблоків серійного приладу АФ-15 для можливості безперервної передачі сигналів АЕ у персональний комп'ютер (ПК); розроблено і створено інтерфейси введення/виведення для узгодження роботи з ПК, створено програми збору, обробки і локації сигналів АЕ, що дозволяє підвищити об'єм АЕ-інформації, яка обробляється, узгодити роботу декількох приладів АФ-15 між собою і ПК, реалізувати способи лінійної, площинної і просторової локації дефектів, підвищити точність локації завдяки програмному врахуванню швидкості поширення сигналів АЕ.

4. Встановлено, що метод АЕ малоефективний для контролю якості пайки в процесі тверднення розплаву легкоплавких припоїв, і навпаки, високоефективний для контролю зварювання в процесі остигання зварних швів.

5. Розроблено методику неруйнівного контролю зварних з'єднань чавуну СЧ-4 шляхом аналізу сигналів АЕ, що випромінюються під час остигання зварного з'єднання, що дозволяє проводити неруйнівний контроль в процесі остигання розплаву.

6. Розроблено спосіб локації дефектів у конструкціях зі складною неоднорідною поверхнею і методику неруйнівного контролю паяних з'єднань друкованих плат, що дозволяє визначати місця розташування дефектних паяних з'єднань на платах, навантажуючи їх за схемою чистого згину.

7. Створено методику діагностування технічного стану литих важелів автотранспортних засобів, що дозволяє проводити їх відбракування і прогнозування руйнуючого навантаження.

8. З використанням розроблених схем площинної і просторової локації джерел АЕ розроблені і застосовані методики діагностування технічного стану автомобільного газозаправника і повітрозбірника, що дозволяє підвищити ефективність і зменшити трудомісткість неруйнівного контролю, а також спростити процес контролю іншими методами завдяки визначенню небезпечних місць у матеріалі посудин, які експлуатуються під тиском.

9. Методика АЕ-контролю, діагностування технічного стану і прогнозування руйнуючого навантаження литих важелів автотранспортних засобів впроваджена на ВАТ "Адвіс", способи і засоби площинної і просторової локації дефектів, а також методики діагностування технічного стану посудин, які експлуатуються під тиском, впроваджені на Подільському ЕТЦ Держнаглядохоронпраці.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Цасюк В.В., Горошко А.В., Байдиц Л.Е. Дослідження міцності паяних з'єднань радіоелектронної техніки // Вісник Технологічного університету Поділля. – Част. 3. - 2000. - №6. - С.14-17.
2. Ройзман В.П., Ковтун І.І., Горошко А.В. Просторова локація джерел акустичної емісії // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. - №2. - С.84-86.
3. Ройзман В.П., Ковтун І.І. Горошко А.В. Неруйнівне технічне діагностування і прогнозування міцності деталей машин методом акустичної емісії // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. - №4. - С.46-52.
4. Ройзман В.П., Ковтун І.І., Горошко А.В. Локація небезпечних дефектів методом акустичної емісії // Вісник Технологічного університету Поділля. - Част. 1. – 2002. - №1. - С.195-200.
5. Ройзман В.П., Ковтун І.І. Горошко А.В. Неруйнівний контроль, діагностування і прогнозування міцності вузлів і деталей машин методом акустичної емісії із застосуванням локації // Вісник Технологічного університету Поділля. – Част. 1. – 2002. - №6. - С.224-233.
6. Горошко А.В. Акусто-емісійний контроль посудин підвищеної безпеки // Вісник Технологічного університету Поділля. – Част. 1. -2002. - №4. - С.131-136.
7. Пат. 41138 А, G 01 N 29/04. Пристрій для визначення координат джерела акустичної емісії / Ройзман В.П., Ковтун І.І., Горошко А. В., Прохоренко С.В. - № 2001031425; Заявл. 01.03.2001; Опубл. 15.08.2001; Бюл. №7.
8. Пат. 43125 А, G 01 N 29/04. Спосіб визначення координат дефектів методом акустичної емісії / Ройзман В.П., Ковтун І.І., Горошко А. В., Прохоренко С.В. - № 2001031426; Заявл. 01.03.2001; Опубл. 15.11.2001; Бюл. №10.
9. Пат. 51981 А, G 01 N 29/04. Спосіб визначення координат дефектів методом акустичної емісії / Ройзман В.П., Ковтун І.І., Горошко А. В. - № 2001128312; Заявл. 04.12.2001; Опубл. 16.12.2002; Бюл. №12.



10. Ройзман В.П., Ковтун І.І. Горошко А.В. О возможности плоскостной локации мест расположения источников акустической эмиссии // Збірник праць міжнародної конференції “Надійність машин і прогнозування їх ресурсу”. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. – 2000. – С.351-357.
11. Ройзман В.П., Ковтун І.І. Горошко А.В. О возможности плоскостной локации дефектов паяных соединений печатных плат радиозлектронной техники методом акустической эмиссии // Труды междунар. конференции “Системные проблемы качества, математического моделирования и информационных технологий”. Част. 6. – М.: НИИ Автоэлектроника. – 2000. - С.86-89.
12. Ройзман В.П., Горошко А. В., Лебедь А.В., Петрашук С. А. Механическая прочность в радиоэлектронике // Труды второй междунар. научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии” (СИЭТ-2001). – Одесса: Одесский национальный политехнический университет, ОАО „НЕПТУН”. - 2001. - С.221-222.
13. Ройзман В.П., Ковтун І.І. Горошко А.В., Цасюк В.В. Локация развивающихся прочностных дефектов в технических изделиях // Труды третьей междунар. научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии” (СИЭТ-2002). – Одесса: Одесский национальный политехнический университет, ОАО „НЕПТУН”. – 2002. - С.146.
14. Ройзман В.П., Горошко А. В. Методи і засоби акустико-емісійної діагностики технічного стану деталей і вузлів машин // Збірник наукових праць 8-ої міжнародної науково-технічної конференції-виставки “Неруйнівний контроль та діагностика неоднорідних об’єктів” серії “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів”. - Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2003. - С.40-47.

## АНОТАЦІЯ

**Горошко А.В.** Комп’ютерна акустико-емісійна діагностика технічного стану деталей і конструкцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2003.

Дисертаційна робота присвячена створенню нових методик і технічних засобів неруйнівного контролю і діагностики технічного стану деталей і конструкцій методом акустичної емісії. Для визначенням координат дефектів при діагностуванні технічних об’єктів різноманітної форми теоретично розв’язані задачі лінійної, площинної і просторової локації джерел акустичної емісії і для їх реалізації створено засіб на базі трьох модифікованих приладів АФ-15 і комп’ютеру. В роботі розроблено методику неруйнівного діагностування техні-

чного стану зварних з'єднань чавуну СЧ-4 в процесі тверднення розплаву. Шляхом занурення контрольованого об'єкту і ПЕП в акустопрозоре однорідне середовище вперше значно точніше вирішено задачу визначення координат дефектів у конструкціях зі складною неоднорідною поверхнею. Знайдено кореляційні залежності між характеристиками міцності деяких деталей машин та енергією сигналів АЕ, накопиченою упродовж безпечного навантаження. Розроблені методики і засоби були застосовані для діагностування технічного стану важелів автонавантажника, повітрязбірника і кулеподібних ємностей для зберігання і транспортування природного газу.

Ключові слова: акустична емісія, неруйнівний контроль, діагностика, локація, міцність, дефект, конструкція.

## АННОТАЦІЯ

**Горошко А.В.** Компьютерная акустико-эмиссионная диагностика технического состояния деталей и конструкций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2003.

Диссертационная работа посвящена созданию новых методик и технических средств неразрушающего контроля и диагностики технического состояния деталей и конструкций методом акустической эмиссии. Для диагностирования технических объектов, схематизированных брусами, оболочками и массивами, теоретически решены задачи линейной, плоскостной и пространственной локации источников акустической эмиссии.

Для реализации компьютерных акустико-эмиссионных методик диагностирования создана компьютерная акустико-эмиссионная станция, для чего проведена модификация двух субблоков серийного прибора АФ-15 для возможности непрерывной передачи сигналов АЭ в персональный компьютер (ПК), разработаны и созданы интерфейсы ввода/вывода для согласования работы по ПК, создан программы сбора, обработки и локации сигналов АЭ, что позволило повысить в 40 раз объем обрабатываемой АЭ-информации, осуществлять быструю компьютерную обработку, представлять АЭ-сигналы в удобном наглядном виде двух- и трехмерных графиков, согласовать работу нескольких приборов АФ-15 между собой и ПК, повысить точность локации благодаря программному учету скорости распространения сигналов АЭ.

Установлено, что метод АЭ неэффективен для контроля качества пайки легкоплавких припоев в процессе твердения расплава, и наоборот, высокоэффективен для контроля качества сваривания в процессе твердения шва. Разработана методика неразрушающего контроля и диагностики технического состояния сварных соединений чугуна СЧ-4 в процессе твердения расплава.

Путем погружения контролируемого объекта и приемных преобразовате-

лей в акустопрозрачную однородную среду впервые значительно точнее решена задача определения координат дефектов в конструкциях с сложной неоднородной поверхностью.

Найдены корреляционные зависимости между характеристиками прочности некоторых деталей машин и энергией сигналов АЭ, накопленной при безопасном нагружении, что позволило оценивать их прочность по полученным аналитическими зависимостями. Разработанные методики и средства были применены для неразрушающего акустико-эмиссионного контроля и диагностирование технического состояния разнообразных деталей и конструкций:

- разработанные акустико-эмиссионные методики и средства выявления опасных дефектов паяных соединений при безопасной нагрузке и способ плоскостной локации в акустопрозрачной среде позволили проводить контроль прочности паяных соединений печатных плат;
- разработанная методика АЭ-контроля и диагностики повреждений литых рычагов автопогрузчиков была внедрена ВАТ "Адвис", (г. Хмельницкий);
- методики и средства плоскостной и пространственной локации дефектов внедрены на Подольском ЭТЦ для оценки возможности дальнейшей эксплуатации автомобильного газозаправщика а также воздухосборника в железнодорожном депо станции Гречаны.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, неразрушающий контроль, диагностика, локация, прочность, дефект, конструкция.

## ABSTRACTS

Goroshko A.V. Computer acoustic emission technical diagnostics of details and structures. – Manuscript.

The dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in speciality 05.11.13 – Methods and Devices of Testing and Defining Matter Composition. – Ivano-Francivsky National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Francivsk, 2003.

Dissertation is devoted to creation of new methods and technologies for nondestructive technical testing and diagnostics of details and structures by acoustic emission method. Methods for linear, planar and space location of acoustic emission sources and system, which consists from three modified instruments AF-15 and computer in one measuring train, are created to locate defects in objects of various shape during technical diagnostics. In dissertation method for nondestructive technical diagnostics of weld joints of cast iron SH-4 while smelt hardening is worked out. Method for high precision location of structures having heterogeneous surface is developed through dipping controlled object into acoustic transparent homogeneous medium. Correlation between strength characteristics and energy of acoustic emission accumulated during nondestructive testing is found. Developed methods and instruments have been implemented for technical diagnostics of levers of loader, cylindrical air-tank, spherical high-pressure tanks set on the gas-refuelling car .

**Key words:** acoustic emission, nondestructive testing, diagnostics, location, strength, defect, structures.

НТБ  
ІФНТУНГ



as1057