

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ПАСИВНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ ДЕФЕКТІВ СТРУКТУРИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В. П. Бабак

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ

Розглянуто принципи побудови та алгоритми роботи інформаційно-вимірювальних систем діагностики стану елементів обладнання та конструкцій об'єктів атомної енергетики з використанням акустоелектричної локації дефектів структури конструкційних матеріалів.

Ключові слова: діагностика, дефекти структури, пасивна акустоелектрична локація.

Вступ

Підвищення якості та надійності об'єктів і обладнання енергетики, виробів авіаційної техніки тощо, а також перевірка їхнього стану в різних умовах експлуатації практично неможливі без технічної діагностики. Для її проведення, як правило, використовують автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи на базі мікропроцесорів та комп'ютерів, в яких широко застосовуються різноманітні фізичні методи контролю, зокрема акустоелектричний (АЕ). За результатами проведеного комплексу досліджень процесів руйнування матеріалів і виробів можна виділити два основні напрями застосування методу АЕ локації [1]:

локацію місцеположення дефектів, що розвиваються в елементах і конструкціях значних габаритів, зокрема об'єктів атомної енергетики, авіаційної техніки тощо;

дослідження фізики процесів руйнування та їх впливу на несучу здатність конструкцій.

Перший напрям пов'язаний із визначенням і локалізацією найбільш ймовірної області розвитку процесів руйнування, другий – із вивченням механізмів, параметрів і закономірностей перебігу таких процесів та розробленням способів технічного діагностування стану виробів. Незважаючи на певну різницю між напрямками виконуваних завдань, в основі концепцій побудови систем реєстрації та обробки сигналів акустичних хвиль лежить пасивна локація дефектів, що розвиваються у виробках під час їх навантаження, з додатковим розширенням можливої кількості інформативних параметрів. Тобто концепції сформовані на поєднанні в єдиній системі розглянутих напрямів виконуваних завдань з обробкою інформації в реальному часі.

Принципи побудови пасивних систем акустоелектричної локації

Здійснення обробки сигналів в реальному часі, досягнення оперативності введення інформації та виведення результатів аналізу, а також суміщення функцій локації джерел випромінювання з вимірюванням параметрів сигналів визначається чинниками [1], що накладають певні обмеження на швидкість введення інформації, її обсяг, обчислювальні алгоритми, кількість каналів та аналізованих параметрів (рис. 1).

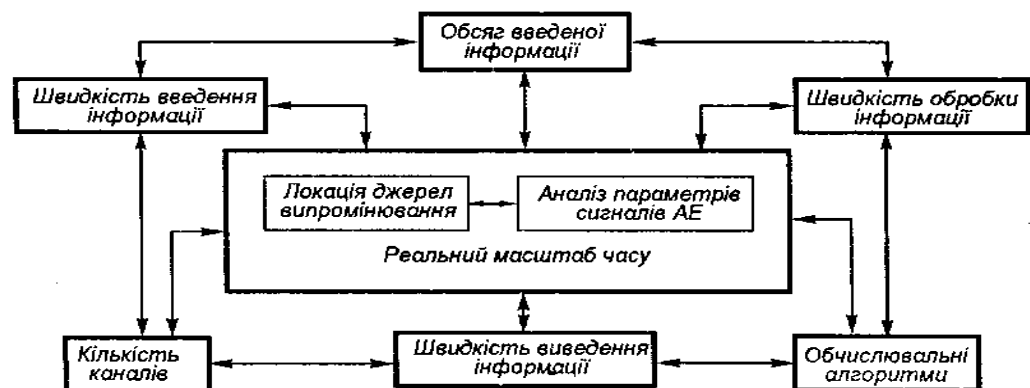


Рис. 1. Фактори впливу поєднання локації джерел випромінювання та обробки параметрів акустоелектричних сигналів.

Указані фактори є причиною широкого використання апаратної обробки інформації з жорсткими алгоритмами роботи, ускладнення структури апаратної реалізації систем (значного зростання їх вартості й габаритів), зменшення кількості оброблюваних параметрів тощо. Останнє не має принципового значення для систем локації, але в дослідженні процесів руйнування це важливо, оскільки пошук закономірностей і кореляційних зв'язків, а також процедур прийняття рішень про стан об'єктів ґрунтуються на аналізі параметрів отриманих сигналів.

У побудові таких систем, наприклад, що використовуються для контролю вузлів обладнання АЕС, узагальненою є концепція, розроблена американською фірмою Physical Acoustic Corporation (PAC) [2]. В її основі лежить принцип формування нарощуваної модульної архітектури з базовою кількістю каналів кратної двом (рис. 2).

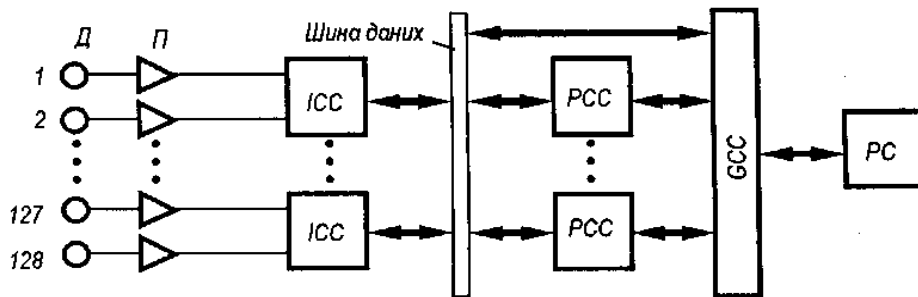


Рис. 2. Структура паралельної системи обробки АЕ сигналів:
 1 - 128 - канали введення інформації; Д - датчики АЕ; П - попередні підсилювачі; ІСС - незалежні контролери каналу; РСС - контролери параметрів каналу; ГСС - контролер розподільника каналів; РС - центральний процесор.

Вхідний модуль є аналоговим інтерфейсом з організованою процесорною шиною, що містить незалежний контролер каналу (ІСС), побудований на базі мікропроцесора. Він забезпечує кодування акустичних полів та їх параметрів з одночасним відображенням і збереженням у пам'яті пристроїв, а також із паралельною фільтрацією даних згідно з попередньо встановленими значеннями параметрів. Для прискорення передавання даних та обміну інформацією в кожному каналі є контролер параметрів каналу (РСС), який є міні-комп'ютером на базі мікропроцесора. Крім того він забезпечує накопичення і тимчасове збереження даних. Керування процесом вимірювань і пересилання даних у центральний процесор (РС) для обробки, відображення та збереження інформації виконує контролер розподільника каналів (ГСС), який є потужним міні комп'ютером.

З наведеної архітектури видно, що концептуальна частина системи побудована на поєднанні функцій локації та аналізу параметрів отриманих сигналів. Пріоритетною є локація джерел випромінювання, а для збільшення швидкодії та мінімізації втрат інформації в кожному каналі широко використовується мікропроцесорна техніка, призначена для попередньої обробки параметрів АЕ сигналів.

Для обробки інформації використовують незмінні алгоритми. У реалізації інтерфейсу користувача та загальної системи керування переважають апаратні засоби, а програмні засоби застосовують для виведення та відображення результатів аналізу у вигляді карт розподілу джерел випромінювання й деяких оброблюваних параметрів. Зміна алгоритмів обробки інформації, контролю та керування передбачає зміну електронної частини системи у вигляді виносних блоків.

Загальні принципи побудови подібних систем з поєднанням локації та обробки параметрів сигналів передбачають використання єдиного підходу до обробки параметрів досліджуваних процесів, які можуть відрізнятися між собою. Прикладом такої відмінності служать сигнали, які реєструються під час проведення статичних (механічне або температурне навантаження матеріалів і виробів) та динамічних (тертя, різання, шліфування, скрайбування) випробувань матеріалів. У першому випадку це імпульсна послідовність, у другому – неперервний сигнал.

Інформаційно-вимірювальні системи діагностики стану елементів обладнання та конструкцій

Прагнення до реального масштабу часу вимірювання та обробки інформації, а також поєднання в одній системі функцій, які забезпечують розв'язання різних завдань, потребує оптимізації обмежуючих чинників, що є складним завданням. Зменшити вплив цих чинників можна поділом функцій між системами, які мають виконувати самостійні завдання, а також використання концепції їх побудови, що ґрунтується на поєднанні можливостей сучасних засобів обчислювальної техніки (зокрема, персональних комп'ютерів) та інформаційних технологій формування, так званих вимірювальних лабораторій (технологій LabCard).

В основі інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), як показано на рис. 3, лежать методології: реєстрації та перетворення первинної інформації; виділення та підсилення АЕ сигналів; цифрового перетворення та збереження вихідних процесів; обробки сигналів та їх потоків; виведення результатів аналізу; керування процесами вимірювань; керування інформаційними потоками (ІП); контролю стану устаткування.

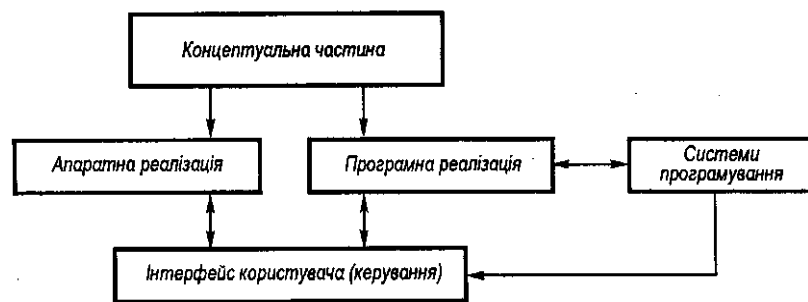


Рис. 3. Складові частини ІВС.

При цьому виділяють ряд системних функцій, розподілених між програмними й апаратними засобами, і визначають склад системи, а саме: реєстрацію пружних механічних зсувів, їх перетворення в електричний сигнал і підсилення сигналу – електронні засоби з "жорсткими" апаратними алгоритмами роботи; цифрові перетворення сигналів, їх обробка, аналіз, керування та контроль за виконанням усіх процесів – засоби LabCard – порти введення–виведення (ПВВ) та персональний (мобільний) комп'ютер (ПК, МК). Це забезпечує: мінімізацію зовнішніх електронних засобів, використання фізичного й логічного рівнів ПВВ і ПК, проведення цифрових вимірювань, швидкодію, пам'ять, необхідну роздільну здатність по амплітуді і точність, побудову програмного інтерфейсу керування, використання гнучких алгоритмів керування, обробки й контролю даних.

Базовим елементом систем є сучасні інструментальні засоби – ПВВ. Логіка роботи ІВС формується й підтримується програмним математичним забезпеченням (ПМЗ). Функціональні можливості ПВВ визначають організацію вхідних аналогового у цифрового інтерфейсів, а також вихідного цифрового інтерфейсу з безпосередньою передачею даних по шині комп'ютера. Організація роботи системи базується на забезпеченні сумісного функціонування ПВВ і ПК під керуванням ПМЗ.

Під час локації джерел дефектів, що розвиваються в елементах конструкцій, зовнішній формувач сигналів працює за жорстким алгоритмом. Він забезпечує визначення часу прибуття АЕ сигналів на датчики та передача їх у ПК за допомогою ПВВ, який працює з повномасштабним використанням цифрового й аналогового інтерфейсів. У разі використання аналогового інтерфейсу (аналого-цифрового перетворювача) ПВВ працює у двох основних режимах – очікування та неперервного, або наскрізного введення інформації [3].

Режим очікування є основним у сучасних цифрових ІВС. Процедура включає формування режиму очікування надходження сигналу перевищення встановленого порога обме-

ження амплітуди з наступною обробкою миттєвих значень параметрів сигналу. Інформація обробляється тоді, коли сигнал перевищує амплітудний поріг. Для прискорення процесів обробки інформації виконується незалежна обробка параметрів сигналів та визначення координат джерела випромінювання. Результати обробки передаються в центральний процесор для подальшого аналізу і формування масивів даних.

Безпосереднє використання аналогового інтерфейсу ПВВ з наступним програмним визначенням сигналів від датчиків знижує швидкість введення та обсяг інформації, що аналізується. Доцільніше використати швидкісний цифровий інтерфейс ПВВ. Для формування цифрових даних і передачі їх по цифровому інтерфейсу використовується проміжний формувач інформації (рис. 4). Моменти часу появи сигналів на антенах (датчиках) фіксуються встановленням логічних одиниць або значень відповідних бітів шістнадцятирозрядної цифрової вхідної шини ПВВ. Аналогічним способом можна формувати й сигнали керування роботою формувача інформації. Це дає змогу значно спростити алгоритм роботи зовнішнього формувача інформації, а всі операції з обробки даних, керування та контролю за станом системи перекласти на ПМЗ.

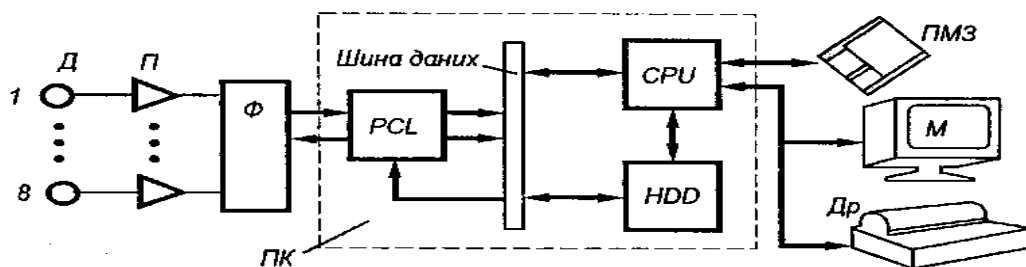


Рис. 4. Структура ІВС пасивної акустоелектричної локації джерел випромінювання:

Д - датчик; *П* - підсилювач; *Ф* - зовнішній формувач інформації;
ПК - персональний комп'ютер; *PCL* - порт введення-виведення; *CPU* - процесор;
HDD - жорсткий диск; *ПМЗ* - програмне математичне забезпечення; *М* - монітор;
Др - друкувальний пристрій.

Отже, ІВС базуються на використанні комплексів програмних засобів. Такий підхід забезпечує формування: гнучких багаторівневих інтерфейсів, а також мініінтерфейсів керування з розгалуженою мережею операцій; зручних вікон відображення обробленої інформації та параметрів стану системи; зручних контрольованих багаторівневих процедур тестування системи та збереження результатів випробувань виробів. Це зумовлює також нарощування кількості вхідних каналів без зміни внутрішньої конфігурації систем з модифікацією лише ПМЗ.

Застосування технології LabCard для побудови АЕ систем локації джерел випромінювання передбачає формування структур, що базуються на широкому поєднанні програмних та апаратних засобів. Одним із найважливіших елементів концепції побудови таких структур є розподіл функцій між елементами, що входять до складу системи. Автономна робота цих елементів трансформується в певну послідовність операцій, контроль і керування якими здійснюються лише за допомогою ПМЗ. З цих позицій ПМЗ є інтегрованим середовищем, яке підтримує спільну роботу всіх елементів систем через інтерфейс користувача.

Наявність єдиних базових елементів АЕ систем локації, якими є ПВВ і ПК, та спільних груп функціональних операцій (керування та контролю, вимірювання й запису інформації, відображення результатів, формування логічних, сервісних та інших масивів) дозволяє формувати єдину структуру ПМЗ. Усю логіку роботи системи під керуванням ПМЗ можна поділити на декілька рівнів, які визначаються призначенням виконуваних завдань.

Перший рівень забезпечує керування параметрами стану системи та режимами формування й вибору потрібних операцій, що завантажуються на виконання. Він фактично є рівнем програмного графічного інтерфейсу (ПГІ) керування – інтерфейсом користувача. Другий рівень використовується для керування режимами роботи апаратних засобів, третій – для

обробки даних і відображення результатів аналізу. Основою побудови логіки роботи і керування системами в ІВС на базі АЕ на всіх рівнях є формування та керування інформаційними потоками, обмін якими підтримує процесор ПК і проводиться по шині даних, а контроль і керування їх параметрами здійснюються через загальний інтерфейс користувача (рис. 5).

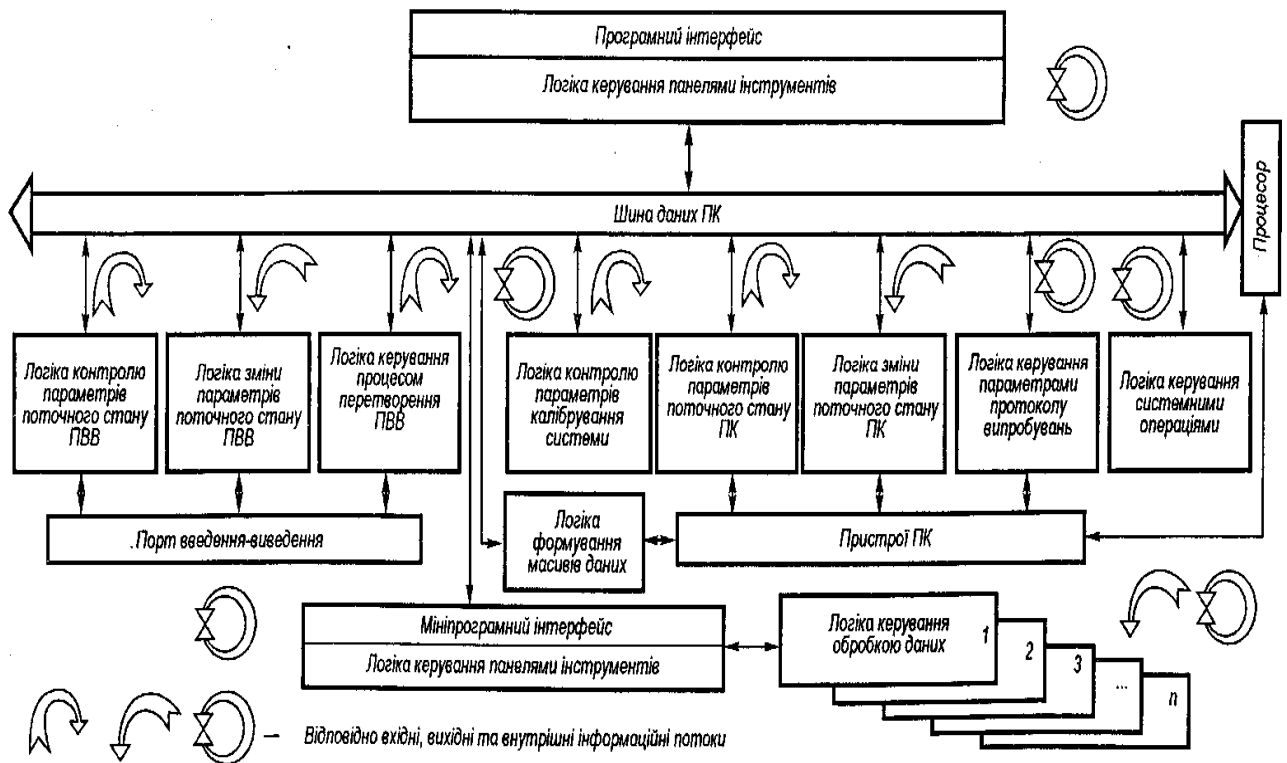


Рис. 5. Формування і передача інформаційних потоків під час керування апаратними засобами та обробка даних у ІВС.

Інформаційні потоки розрізняються за функціональним призначенням, пріоритетністю, напрямками та послідовністю передачі, а їх склад і структура приймаються за протоколом обміну. Обмін інформаційними потоками в системі здійснюється послідовно за визначеними пріоритетами, тобто за встановленою черговістю їх проходження, яка приймається за протоколом обміну та на основі інформаційно-енергетичного критерію розділення сигналів. Первинними є інформаційні потоки параметрів дійсного стану системи. Вони використовуються для формування та підтримання всіх інших інформаційних потоків, які визначаються операцією, що виконується. По завершенні виконання кожної операції формуються проміжні масиви даних з параметрами тимчасового призначення. Ці масиви використовуються в інших операціях, які породжують відповідні інформаційні потоки.

ПГІ керування є видимою частиною ІВС, за допомогою якої здійснюється взаємодія з системою. Це набір панелей інструментів, що використовуються для завантаження на виконання різних операцій, і побудований за принципом багаторівневої ієрархічної (розгалуженої) архітектури. Кожен рівень складається з підрівнів, які використовуються для виконання самостійних завдань – формування параметрів стану системи та їх контролю, формування протоколу випробувань, визначення місць розташування антени (датчиків) і параметрів фільтрації, тестування системи, калібрування вимірювальних каналів системи, завантаження режиму роботи з визначенням координат джерела випромінювання та формуванням масиву даних, побудови карт розподілу джерел випромінювання та їх параметрів тощо (рис. 6).

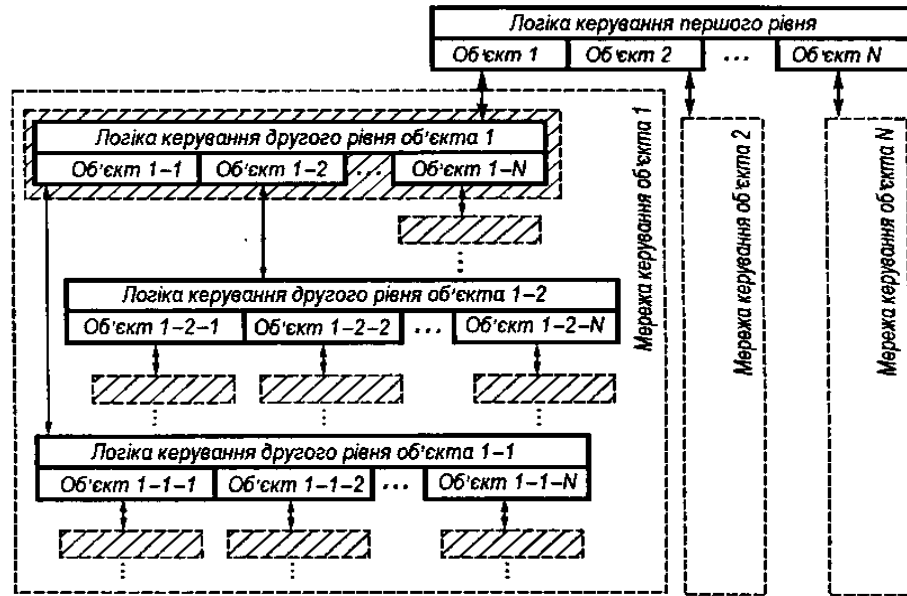


Рис. 6. Структура побудови багаторівневих мереж керування.

В основу роботи ППІ покладено логіку формування та керування послідовністю переходів, які здійснюються між рівнями (переходи по вертикалі) та в межах кожного рівня (переходи по горизонталі). Логіка формування переходів організована у вигляді блокових структур або об'єктів, кожен з яких є незалежним елементом, призначеним для виконання самостійного завдання. Наявність незалежних об'єктів дає змогу розміщувати в них додаткові об'єкти, тобто будувати розгалужені мережі переходів. Це забезпечує можливість побудови міні-програмних інтерфейсів з незалежним керуванням на кожному рівні, які використовуються для виконання системних операцій (операцій вимірювання), обробки даних і відображення їх результатів.

Розгалужена мережа міні-інтерфейсів зумовлює поєднання роботи елементів системи з одночасним виконанням самостійних незалежних завдань. Наприклад, відповідно до однієї з прийнятих схем розташування датчиків і застосовуваного алгоритму розрахунків координат за РЧП сигналами для визначення місцеположення джерела випромінювання попередньо слід сформулювати параметри об'єкта і параметри прив'язки датчиків до об'єкта з напрямом орієнтації антени. Сформовані параметри вводять до складу параметрів стану системи. Для цього використовується незалежна операція, яка виконується під час завантаження відповідної панелі інструментів у загальному ППІ керування.

Після завантаження операції та введення параметрів об'єкта (типу й розмірів) формують вікно виведення з розгорткою об'єкта контролю та міні-інтерфейс керування з необхідними панелями інструментів для розташування датчиків (рис. 7, а). Для лінійної локації джерел випромінювання кожен датчик розміщують незалежно на об'єкті контролю. Перший датчик встановлюють відносно прийнятої "нульової" бази об'єкта або його початку, а другий – відносно першого з відповідною орієнтацією напрямку відліків, тобто шкали додатних і від'ємних відліків відносно початку координат. Після закінчення операції всі введені та розраховані параметри автоматично запам'ятовуються в «статусі» системи (рис. 7, б) і використовуються в операціях вимірювання, обробки інформації та відображення карт розподілу джерел випромінювання на об'єкті контролю за результатами локації.

Аналогічно формуються й виконуються інші операції в системі. Проте для кожної операції, відповідно до її призначення, створюється свій інтерфейс керування.

У розглянутих конструкціях інтерфейсів обмін інформаційними потоками здійснюється за вертикаллю. Інформаційні потоки, які формуються під час виведення та відображення результатів аналізу, є завершальними потоками роботи системи. Вони можуть формуватися як під час виконання операцій безпосередньо в процесі проведення експериментів,

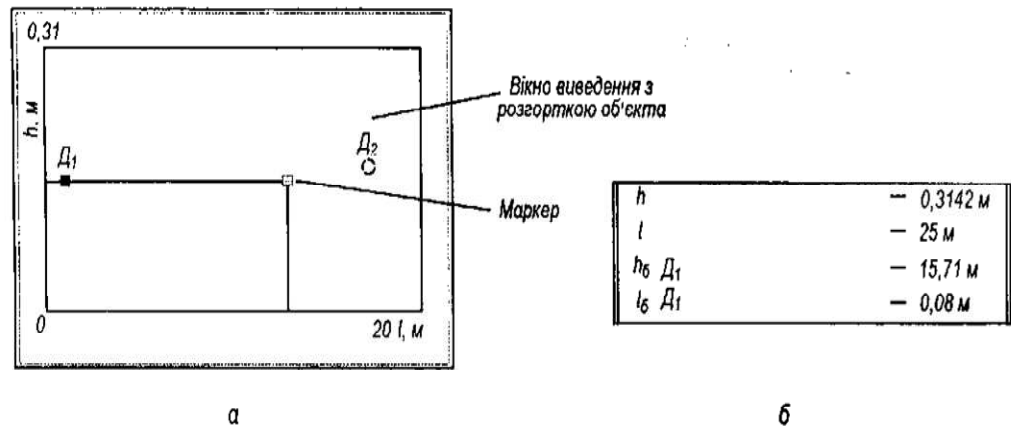


Рис. 7. Результат роботи програми для розміщення антени (датчиків) на об'єкті контролю (а) та формування параметрів стану системи (б.)

так і по їх закінченню. Тому операції, пов'язані з обробкою таких потоків, виділені в самостійну групу. Вони завантажуються з інтерфейсу користувача, як автономні модулі, з використанням системних команд. Такий підхід дає змогу, по-перше, формувати бази даних за результатами експериментів, по-друге, аналізувати дані та відображати результати незалежно від часу проведення випробувань виробів, по-третє, здійснювати незалежне керування внутрішніми і зовнішніми інформаційними потоками, а також виконувати операції екранного аналізу інформації з формуванням масивів даних.

Важливі завдання забезпечення достовірності роботи систем локації джерел випромінювання пов'язані з селекцією сигналів, яка здійснюється з використанням способів, що розглянуті вище. Одним питанням постає застосування первинних перетворювачів та алгоритмів виділення сигналів на фоні завад. У системах локації використовуються резонансні або широкосмугові антени (датчики). Останні мають перевагу з позиції менших обмежень під час контролю виробів, виготовлених з різних матеріалів. У розглянутій системі лінійної локації використовуються широкосмугові антени (датчики).

Обробка результатів

У таких системах широко застосовують пасивні способи зниження впливу сигналів завад – обмеження частотного діапазону та введення порога обмеження за амплітудою. З урахуванням складної форми зареєстрованих сигналів введення порога обмеження може призводити до значних похибок у результатах обробки інформації. Разом з тим тракт приймання та підсилення АЕ сигналів має кінцеву чутливість, значення якої можна розглядати як поріг обмеження. Якщо використовувати перетворення аналогових сигналів у цифровий код з кінцевим значенням квантування за амплітудою, то поєднання цих двох складових стає апаратним порогом обмеження. Тому будь-який шум (внутрішній і зовнішній) на виході аналого-цифрового перетворювача буде послідовністю імпульсних сигналів. Це підтверджується результатами експериментальних досліджень як у лабораторних, так і в промислових умовах [4]. Статистична обробка зареєстрованих імпульсних процесів свідчить, що вони, як правило, належать до стаціонарних випадкових процесів відповідно до визначень стаціонарної випадкової функції. Зовнішній шум (неперервний сигнал) можна звести до імпульсної послідовності введенням додаткового порога обмеження, тобто використовується амплітудна селекція.

Аналіз розподілу параметрів завад і сигналів показує, що вони суттєво перекриваються. У разі параметричного відображення сигналів ($U_{ш}$, $\tau_{ш}$, де $U_{ш}$ – максимальна амплітуда сигналу, $\tau_{ш}$ – його тривалість) спостерігаються підобласті розподілу їх поточних значень. Іншими словами, у всій області значень параметрів сигналів утворюються окремі підобласті (кластери), заповнені завадами (рис. 8).

Якщо використати відтинання завод введенням порога обмеження за амплітудою U_n або їх тривалістю τ_n , то область значень параметрів сигналів буде знаходитись у межах

$$\left. \begin{aligned} U_{ш} &\in [0, U_n]; \\ \tau_{ш} &\in [0, \tau_n]. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{ш} &\in [U_1, U_2]; \\ \tau_{ш} &\in [\tau_1, \tau_2]. \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

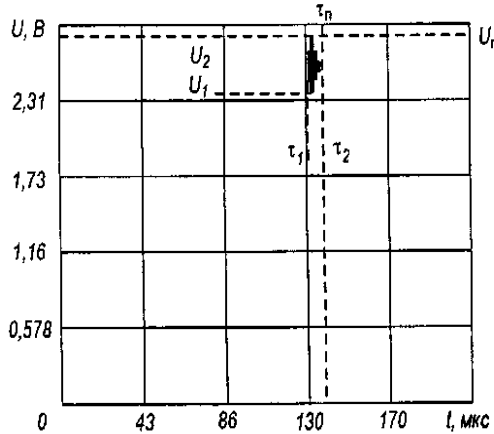


Рис. 8. Підобласть розподілу параметрів завод, зареєстрованих під час випробувань елементів конструкцій в умовах промислового виробництва (кількість сигналів $N_{\Sigma} = 5100$).

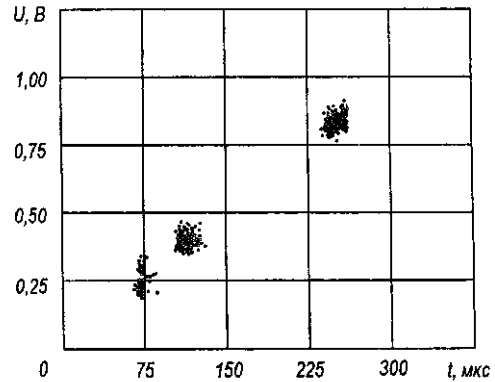


Рис. 9. Кластери завод в області значень аналізованих параметрів.

Зареєстровані сигнали зі значеннями параметрів, які лежать в даній області, розглядаються як завади. Чим більше значення параметрів завод, тим більша область відтинання значень аналізованих параметрів.

Якщо аналізувати кожен прийнятий сигнал за амплітудою і тривалістю з визначенням їх граничних значень, то це дасть змогу значно звузити підобласть відтинання у всій області значень аналізованих параметрів. При цьому підобласть відтинання, наприклад, у вигляді прямокутника (див. рис. 8) буде знаходитись у межах $[U_1, U_2]$ та $[\tau_1, \tau_2]$, де U_1 і U_2 – відповідно мінімальне і максимальне граничні значення амплітуди сигналів завод; τ_1 і τ_2 – відповідно мінімальна і максимальна тривалість сигналів завод.

Для забезпечення достовірності відтинання сигналів завод значення параметрів U_1 , U_2 , τ_1 , τ_2 визначаються на основі статистичного аналізу даних з урахуванням середнього і стандартного відхилень [5]. При цьому підобласть значень параметрів завод, наприклад, для ймовірності 0,997 буде визначатися як

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \bar{U}_{ш-} - 3s_u; U_2 = \bar{U}_{ш+} + 3s_u; \\ \tau_1 &= \bar{\tau}_{ш-} - 3s_t; \tau_2 = \bar{\tau}_{ш+} + 3s_t, \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де $U_{ш}$ і $\tau_{ш}$ – середні значення відповідно амплітуди і тривалості завод з довірчими інтервалами; s_u і s_t – стандартні відхилення відповідно амплітуди і тривалості сигналів завод. Значення $U_{ш}$ і $\tau_{ш}$ визначають з урахуванням довірчих інтервалів [5]

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_{ш} &= \hat{U}_{ш} \pm ks_u/\sqrt{N}; \\ \bar{\tau}_{ш} &= \hat{\tau}_{ш} \pm ks_t/\sqrt{N}, \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де $U_{ш}$ і $\tau_{ш}$ – оцінки середніх значень; k – коефіцієнт, значення якого для ймовірностей 0,9, 0,955 і 0,997 дорівнює 1,645, 2,0 і 3,0 відповідно; N – кількість оброблених сигналів.

Розглянемо результати роботи алгоритму відтинання сигналів завод за даними, наведеними на рис. 8. Статистичний аналіз амплітуд і тривалості сигналів завод показав, що гістограми їхнього розподілу відповідають нормальному закону з параметрами $U_{\text{ш}} = 2,52$ В, $s_u = 0,14$ В, $\tau_{\text{ш}} = 134$ мкс, $s_\tau = 3,1$ мкс. Згідно з виразами (4), для ймовірності 0,997 $U_{\text{ш}} = 2,52 \pm \pm 0,006$ В; $\tau_{\text{ш}} = 134 \pm 0,13$ мкс. Тоді, згідно з виразами (3), значення параметрів області відтинання сигналів завод для ймовірності 0,997 становитимуть: $U_{\text{ш}} = [2,094; 2,95]$ В, $\tau_{\text{ш}} = [124,8; 143,4]$ мкс.

Після введення значень параметрів області відтинання проводили повторну реєстрацію та обробку сигналів завод. По закінченні роботи алгоритму відтинання сигналів завод із заданою підобластю значень параметрів сигналів на подальшу обробку пройшло 8 з 10 000 проаналізованих сигналів, імовірність проходження яких

$$p(U, \tau) = N_1 / N_\Sigma, \quad (5)$$

де N_1 і N_Σ – кількість пропущених і загальна кількість проаналізованих сигналів відповідно.

Тоді ймовірність відтинання сигналів завод

$$Q = 1 - p(U, \tau). \quad (6)$$

Із проведених випробувань отримано значення $p = 0,0008$, $Q = 0,9992$, що свідчить про високу ефективність алгоритму приглушення завод.

Отже, слід зазначити, що параметричний аналіз дає змогу виділяти сигнали завод у будь-якій підобласті значень параметрів аналізу [6] і навіть тоді, коли в усій області значень фіксується не один, а декілька кластерів (рис. 9). У такому разі алгоритм аналізу залишається без зміни, а параметри кожної підобласті відтинання можна визначити незалежно для кожного кластера й вибрати в будь-якому діапазоні значень

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{ши}} &\in [U_{1i}, U_{2i}], \\ \tau_{\text{ши}} &\in [\tau_{1i}, \tau_{2i}], \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де U_{1i} , U_{2i} , τ_{1i} , τ_{2i} – граничні значення параметрів відтинання сигналів завод в i -му кластері; i – номер кластера в усій області значень аналізованих параметрів.

Тут підобласті відтинання параметрів сигналів завод розглядались і задавались у найпростішому вигляді – у формі прямокутника. Але можна використовувати складніший математичний апарат кластерного аналізу, який дає змогу з більшою точністю описати підобласті, які займають окремі кластери, і, як наслідок, значно звузити область відтинання аналізованих параметрів і зменшити втрату АЕ сигналів.

Описану інформаційно-вимірювальну систему використано при проведенні контролю дефектів трубопроводів Чорнобильської АЕС, де вона виявила свою ефективність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Безпека авіації* / За ред. В. П. Бабака. - К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. *Sotirios J. Vachaviolos. Advanced AE instrumentation concepts with real time source identification through correlation plots and software filtering // Paper is presentation to the Committee of Science and Technology of the USSR, Dec. 18 - 19, 1985. - 11 p.*
3. *Бабак В.П., Філоненко С.Ф., Калита В.М. Моделирование сигналів акустичної емісії при виникненні в матеріалі тріщин // Вісник НАУ. – 2002. - № 1. – С. 5 - 10.*
4. *Бабак В.П., Філоненко С.Ф. Выделение сигналов акустической эмиссии на фоне помех // Открытые информационные компьютерные и интегральные технологии: Сб. науч. тр. ХАИ. – 1998. - № 2. – С. 120 - 127.*
5. *Бабак В.П., Хандецький В.С., Шрюфер Е. Обработка сигналів. – К.: Либідь, 1999. – 496 с.*
6. *Патент № 47257А, Україна. Спосіб виділення сигналів акустичної емісії на фоні завод / В. П. Бабак, С. Ф. Філоненко – Опубл. 17.06.2002. - Бюл. № 6.*

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПАССИВНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ
ЛОКАЦИИ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ****В. П. Бабак**

Рассмотрены принципы построения и алгоритмы работы информационно-измерительных систем диагностики состояния элементов оборудования и конструкций объектов атомной энергетики с использованием пассивной акустоэлектрической локации дефектов структуры конструкционных материалов.

Ключевые слова: диагностика, дефекты структуры, пассивная акустоэлектрическая локация.

**INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF PASSIVE ACOUSTIC LOCATION
OF STRUCTURAL DEFECTS CONSTRUCTION MATERIALS****V. P. Babak**

We have construction principles and operation algorithms of information-measuring systems used in diagnosing the conduction of equipment and facilities of nuclear power generation with emphasis on passive acoustic-electric location of structural defects construction materials.

Keyword: diagnosing, structural defects, passive acoustic-electric location.

Надійшла до редакції 04.08.09