УДК 667.64:678.02

DOI 10.31471/1993-9981-2020-1(44)-24-34

МОДЕЛІ І СХЕМОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

А. О. Шарко

Херсонський національний технічний університет; 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, e-mail: sharko_artem@ukr.net

Необхідність розробки апаратних засобів технічної діагностики міцністних властивостей металевих конструкцій пояснюється потребами безперервного спостереження за станом промислових об'єктів в системах технічної діагностики, що дозволяють реєструвати силовий відгук на викликані зміною умов навантаження зміни структури матеріалу. Розглянуто сучасний стан апаратури технічної діагностики. Доведено, що головний принцип автоматизації керування в системах технічної діагностики міцністних властивостей матеріалів методами акустичної емісії зводиться до виявлення та ідентифікації сигналів, їх посиленню, частотної фільтрації, дискримінації та нормуванню імпульсів за тривалістю і амплітудою. Використання цих операцій дозволяє автоматизованої системи обробляти первинні дані в режимі реального часу та здійснювати інтегральну оцінку стану об'єкта на різних стадіях його життєвого циклу. Запропоновано структурну схему приймальної апаратури вимірювання параметрів акустичної емісії, ряд конструкцій акустичних датчиків і апаратного забезпечення обробки сигналів акустичної емісії, які гарантують високі якісні показники експлуатаційної надійності металевих конструкцій. На підставі аналізу сучасної і зарубіжної апаратури, яка набула поширення в практиці технічної діагностики методом акустичної емісії, сформульовані напрямки формування акустичного тракту діагностичного обладнання та основні вимоги до конструювання реєструючої апаратури. Встановлено, що інформаційне забезпечення автоматизованих систем контролю і діагностики металевих конструкцій вимагає визначення їх інформативних параметрів. Доведено, що основною характеристикою діагностики стану металевих конструкцій в процесі їх експлуатацій є потік АЕ сигналів, який визначається середнім значенням амплітуди імпульсів, дисперсією амплітуди, амплітудним розподілом, амплітудно-частотним розподілом тимчасових інтервалів між імпульсами. Відновлення інформації, отриманої діагностичної системою від джерела АЕ, є основним принципом побудови автоматизованих систем контролю та діагностики металевих конструкцій.

Ключові слова: акустична емісія, технічна діагностика, автоматизація, рекомендації, вимоги.

Необходимость разработки аппаратных средств технической диагностики прочностных свойств металлических конструкций объясняется потребностями непрерывного наблюдения за состоянием промышленных объектов в системах технической диагностики, позволяющих регистрировать силовой отзыв на вызванные изменением условий нагрузки изменения структуры материала. Рассмотрены современное состояние аппаратуры технической диагностики. Доказано, что главный принцип автоматизации управления в системах технической диагностики прочностных свойств методами акустической эмиссии сводится к выявлению и идентификации сигналов, их усилению, частотной фильтрации, дискриминации и нормированию импульсов по длительности и амплитуде. Использование этих операций позволяет автоматизированной системе обрабатывать первичные данные в режиме реального времени и осуществлять интегральную оценку состояния объекта на разных стадиях его жизненного цикла. Предложена структурная схема приемной аппаратуры измерения параметров акустической эмиссии, ряд конструкций акустических датчиков и аппаратного обеспечения обработки сигналов акустической эмиссии, которые гарантируют высокие качественные показатели эксплуатационной надежности металлических конструкций. На основании анализа современной и зарубежной аппаратуры, получившее распространение в практике диагностики методом акустической эмиссии, сформулированы направления формирования акустического тракта диагностического оборудования и основные требования к конструированию регистрирующей аппаратуры. Установлено, что информационное обеспечение автоматизированных систем контроля металлических конструкций требует определения их информативных параметров. Доказано, что основной характеристикой диагностики состояния металлических конструкций в процессе их эксплуатации является поток АЕ сигналов, который определяется средним значением амплитуды импульсов, дисперсией амплитуды, амплитудным

распределением, амплитудно-частотным распределением временных интервалов между импульсами. Восстановление информации, полученной диагностической системой от источника АЭ, является основным принципом построения автоматизированных систем контроля и диагностики металлических конструкций.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, техническая диагностика, автоматизация, рекомендации, требования.

The need to develop hardware for the technical diagnostics of the strength properties of metal structures is explained by the need for continuous monitoring of the state of industrial objects in the systems of technical diagnostics, which allow to record the force response to changes caused by changes in the loading conditions of the material structure. The current state of technical diagnostics equipment is considered. It is proved that the main principle of control automation in the systems of technical diagnostics of the strength properties of materials by acoustic emission methods is the detection and identification of signals, their amplification, frequency filtering, discrimination and normalization of pulses in duration and amplitude. The use of these operations allows the automated passport system to process the primary data in real time and to perform an integrated assessment of the state of the object at different stages of its life cycle. A structural diagram of the receiving equipment for measuring acoustic emission parameters, a number of designs of acoustic sensors and hardware for processing acoustic emission signals, which guarantee high quality performance of metal structures. On the basis of the analysis of modern and foreign equipment, which became widespread in the practice of technical diagnostics by the method of acoustic emission, the directions of formation of the acoustic tract of diagnostic equipment and the basic requirements for the design of the recording equipment are formulated. It is established that information support of automated systems of control and diagnostics of metal structures requires determination of their informative parameters. It is proved that the main characteristic of diagnostics of the state of metal structures in the course of their operation is the flow of AE signals, which is determined by the average value of the pulse amplitude, the dispersion of the amplitude, the amplitude distribution, the amplitude frequency distribution of time intervals between pulses. The recovery of information obtained by the diagnostic system from the AE source is the basic principle of the construction of automated control systems and diagnostics of metal structures.

Keywords: acoustic emission, technical diagnostics, automation, recommendations, requirements.

Постановка проблеми. Серед методів оцінки стану різноманітних за формою і розмірами металевих конструкцій особливе місце належить методу акустичної емісії (АЕ), якій дозволяє за допомогою спеціальних процедур і методів неруйнівного контролю оцінити перспективи експлуатаційної надійності конструкцій за вимірюванням фізико-механічних властивостей матеріалу без розбирання самої конструкції.

Апаратурне забезпечення вимірів сигналів АЕ потребує подолання труднощів, пов'язаних з різнорідністю вирішуваних завдань, відсутністю єдиних принципів побудові і класифікації апаратури, нормативних документів і стандартів на методики вимірів змін механічних властивостей матеріалів.

Через складність взаємозв'язків структурних параметрів і фізико-механічних характеристик матеріалу не можна покладатися на апріорні відомості про їх зміну. Для цього необхідне проведення технічної діагностики зміни визначення міцністних характеристик матеріалів як на різних стадіях технологічних процесів виготовлення виробу, так і в процесі його експлуатації для своєчасного виявлення місць із зниженою механічною міцністю і запобігання аваріям.

Прогнозування структурних станів матеріалів на основі встановлення зв'язку між еволюцією дефектної структури і кінетикою накопичення пошкоджень на різних стадіях пластичної деформації і руйнування представляє не тільки наукову, а й технічну задачу але може служити основою підвищення надійності функціонування складних технічних об’єктів при розробці апаратних засобів, алгоритмів і методів реєстрації сигналів АЕ в системах технічної діагностики металевих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання інструментарію АЕ надає можливість знайти невідомі раніше характеристики структури матеріалів, простежити динаміку їх розвитку, стійкість, цілісність і забезпечити прогнозування розвитку дефектів матеріалу [1-6].

Амплітуда і енергія початкового імпульсу АЕ може змінюватися в широкому діапазоні в залежності від типу джерела АЕ. Форма хвилі,

зазнає істотні зміни в міру наближення до приймача АЕ. Для встановлення початкової форми сигналу використовують широкосмугові датчики. Для докладного аналізу зареєстрованого сигналу використовується узкополосная апаратура, що дозволяє вимірювати окремі параметри форми сигналів і реєструвати їх великі потоки. Ці два підходи становлять сутність апаратурною реалізації методу АЕ [7,8].

Для вироблення практичних рекомендацій по конструюванню і автоматизації апаратури технічної діагностики міцнісних властивостей металевих конструкцій необхідно проведення комплексних досліджень в напрямках автоматизації вимірювань, що включають схеми, методи та конструкторські рішення та автоматизації засобів обробки інформації, яка включає алгоритми, прийоми і методики виділення корисної інформації на фоне шумів.

Формулювання мети дослідження. Визначення напрямків формування акустичного тракту діагностичного обладнання та основних вимог до конструювання реєструючої апаратури.

Викладення основного матеріалу дослідження. На формування сигналів АЕ основний вплив надає енергія, що виділяються при деформації. Величина і швидкість деформації побічно пов'язані з енергією і частотою пружних хвиль. Тому при встановленні взаємозв'язку зміни механічних властивостей при деформації металів і генерації виникнення АЕ сигналів в основу ставлять дослідження спектральних характеристик АЕ з метою оцінки можливості їх використання для вирішення завдань діагностики.

Для адекватного опису динамічних процесів, що відбуваються в матеріалах під навантаженням необхідно розглянути математичні моделі основних характеристик сигналів акустичної емісії (АЕ), реалізація яких може бути покладена в основу конструювання пристроїв автоматизації процесів технічної діагностики.

Амплітудний розподіл імпульсів $n(A)$ – функція, яка вказує кількість імпульсів з амплітудою від A до $A + dA$. Вона визначає загальну кількість зареєстрованих імпульсів N_Σ за час спостереження

$$N_\Sigma = \int_0^\infty n(A)dA\,.$$

Динаміку фізичних процесів, які супроводжують випромінювання АЕ, відображає амплітудно-часовий розподіл АЕ $n(A,t)$, тобто функція, яка вказує кількість імпульсів АЕ dN, зареєстрованих в проміжку часу від t до $t + dt$, амплітуда яких укладена в інтервалі від A до $A + dA$:

$$dN = n(A,t)dA\,dt\,.$$

Накопичення відомостей о дефектах міститься в інформації про розподіл часових інтервалів між окремими імпульсами. При взаємної незалежності елементарних подій, що призводять до АЕ, і однаковою ймовірності протікання подій, потік АЕ сигналів описується законом Пуассона, згідно з яким ймовірність зареєструвати N імпульсів за час t визначається співвідношенням

$$P(N,t) = \left\{\frac{(\nu t)^N}{N!}\right\}\exp\{-\nu t\},$$

де ν – інтенсивність потоку, тобто середнє число імпульсів АЕ в одиницю часу.

Імпульс АЕ володіє широким частотним спектром, будучи суперпозицій пружних хвиль різної частоти. Дисперсія призводить до фазового зсуву між частотними складовими імпульсу. В результаті форма реєстрованого імпульсу спотворюється пропорційно відстані між джерелом і приймачем АЕ сигналу.

Амплітуда і енергія початкового імпульсу АЕ може змінюватися в широкому діапазоні в залежності від типу джерела АЕ. Форма хвилі, зазнає істотні зміни в міру наближення до приймача АЕ. Для встановлення початкової форми сигналу використовують широкосмугові датчики. Для докладного аналізу зареєстрованого сигналу використовується узкополосная апаратура, що дозволяє вимірювати окремі параметри форми сигналів і реєструвати їх великі потоки. Ці два підходи становлять сутність апаратурною реалізації методу АЕ [7,8].

Крім власних шумів апаратура тракту прийому і обробки інформації може бути схильна до зовнішніх шумів. Для зменшення їх дії застосовуються активні і пасивні методи.

Активні - полягають в зменшенні джерела шуму механічного характеру, створюваного

самим випробувальним обладнанням, механічними і гідравлічними навантажувальними пристроями. Це досягається розробкою спеціальних елементів в контрольованих конструкціях, призначених для зменшення тертя в сполучених ланках, введенням прокладок і шумопоглиначів.

Пасивні методи використовують із застосуванням таких прийомів:

– амплітудна дискримінація для відсічення шумів шляхом порівняння сигналів АЕ з деяким наперед заданим значенням.

– частотна фільтрація, для обмеження частоти пропускання підсилювального тракту. Обмеження в області низьких частот лежать в межах 20-200 кГц, в області високих –2,5 МГц.

– тимчасова селекція, яка полягає в замиканні каналів реєстрації сигналів АЕ на час дії перешкод.

– параметрическая селекція, що містить у обробці сигналів з певними значеннями їх параметрів.

До складу апаратури АЕ входять наступні блоки:

– перетворювачі АЕ;

– попередні і основні підсилювачі;

– засоби ідентифікації і обробки сигналів, включаючи порогові пристрої, пристрої виділення і вимірювань параметрів сигналів АЕ, пристрої реєстрації і представлення інформації;

– засоби вимірювання допоміжних параметрів;

– контролери.

Побудова апаратури для виявлення і реєстрації сігналів АЕ вимагає вирішення низькі технічних завдань. До них відносяться::

– реєстрація сигналів АЕ;

– аналогова і цифрова обробка електричних сигналів;

– представлення і накопичення інформації;

– ідентифікація джерел і прийняття рішень;

– вироблення оповіщення у разі виходу параметрів АЕ за межі встановленого інтервалу.

В технічній діагностиці методами АЕ в якості параметрів, вибирають інтенсивність і активність сигналів АЕ. Під активністю розуміють – число актів АЕ в одиницю часу, під інтенсивністю – число перетворень встановленого порогу дискримінації в одиницю часу на виході приймальної системи.

Приймальна апаратура реалізації параметрів АЕ в блоково-модульному виконанні може будуватися за наступною схемою (рис. 1).

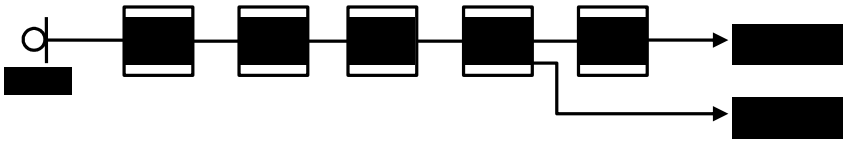

Рисунок 1 – Структурна схема приємної апаратури для виміру параметрів АЕ: 1- п'єзоперетворювач, 2 – попередній підсилювач, 3 – блок фільтрів, 4 – основний підсилювач, 5 – дискримінатор, 6 - детектор

Вхідні ланцюги приймального пристрою мають резонансні властивості, що приводить до формування на виході основного підсилювача затухаючого імпульсу. Сигнали з АЕ датчиків посилюються передпідсилювачами і поступають в блоки аналогової обробки сигналів, в яких піддаються подальшому посиленню, двонапівперіодному детектуванню і амплітудній дискримінації [9].

Дискримінатор виробляє імпульси фіксованої амплітуди в кількості, що дорівнює числу перетинів детектованим сигналом порогового рівня. При цьому число перетинів порогу на виході 2 істотно перевищуватиме число зареєстрованих імпульсів на виході 1. При такій локалізації дефектів кількість подій в одиницю часу на виході 1 характеризує активність АЕ, а число пересічень порогу дискримінації в одиницю часу на виході 2 характеризує інтенсивність АЕ.

В чотирьохканальної схемі контролю сигнал, що прийшов першим, запускає відлік часу в трьох каналах, до тих пір, поки на ці канали не прийдуть інші сигнали групи. Послідовність сигналів АЕ поступає на центральний процесор, що координує зберігання, відображення і обробку даних.

Широко відома проблема низького рівня вхідного сигналу АЕ, яка обумовлена низьким рівнем вихідного сигналу пьезоперетворювача

(до 1 мВ). При роботі п'єзоелектричного датчика необхідно забезпечити режим роботи його виходу, близький до холостого ходу, оскільки навантаження на виході пьезопреобразователя може вплинути на характеристики датчика із-за зворотного п'єзоефекту. Це висуває високі вимоги до вхідного опору передпідсилювача і його вхідної ємкості, а також накладає обмеження на довжину інформаційних каналів від датчика до підсилювача.

Серед різноманіття датчиків АЕ слід зазначити ряд винаходів автора в цьому напрямку [10-12].

Конструкція акустичного датчика описана в патенті на корисну модель [11]. На точність визначення механічних .властивостей металів за допомогою метода АЕ впливають похибки акустичних вимірювань, в наслідок високої площі акустичного контакту. Найближчим аналогом запропонованого винаходу є пристрій, який містить п'єзоелемент, демпфер, призму хвилеводу, контактний пристрій, корпус випромінювача [12]. Однак цим пристроєм неможливо підвищити точність визначення механічних властивостей випробовуваних виробів.

Головний недолік використання датчиків з великою площиною акустичного контакту полягає в у тому шо, розміри виробів можуть коливатися в межах допусків і тому для різних виробів є різна зони контакту, в яких найбільш ефективно утворюється зсувна поперечна хвиля, котра може перебувати в різних точках виробів. Внаслідок цього, шлях проходу акустичним імпульсом по поверхні виробу також може змінюватися в межах розміру зони контакту, тобто в межах близько 10 мм. Пов'язаний з цим відносний розкид часу проходження імпульсу становить близько 4%, що більше ефекту зміні характеристик акустичного імпульсу, викликаного зміною його властивостей.

Запропонована конструкція датчика з локалізацією зони (рис.2) містить п'єзоелемент, демпфер, призму хвилеводу, контактний пристрій, корпус випромінювача, хвилевод, виконаний у вигляду рівнобедреної піраміди і розташований по відношенню до контрольованого матеріалу так щоб і кут між висотою хвилеводу, співпадаючою з віссю ультразвукового проміння і нормаллю до поверхні виробу був дорівняв першому критичному куту для межі розділу матеріалу хвилеводу і виробу $\beta_{кр}$. Датчик додатково забезпечений противагою, центр тяжіння котрою розташований зовні піраміди хвилеводу для дотримання постійності кута введення ультразвукових коливань при контролю.

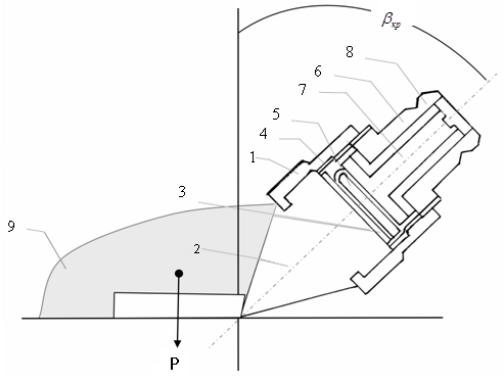

Рисунок 2 – Акустичний датчик з локалізації зони акустичного контакту

Закони відображення ефекту зміни розповсюдження і переломлення пружних хвиль аналогічні законам геометричної оптики. Першим критичним кутом $\beta_{кр}$ називається найменший кут падіння поздовжньої хвилі, при якому заломлена поздовжня хвиля не проникає в друге середовище і в середовищі поширюватиметься тільки поперечна хвиля.

Акустичний датчик складається э корпусу 1 в якому розміщений хвилевод 2, виконаний у вигляду рівнобедреною піраміди, п’єзоелемент 3 сполучений з хвилеводом 2 через ізоляційне кільце 4. Інша сторона п'єзоелемента 3 сполучена з демпфером 5 через ізоляційну втулку 6 і контактний штир 7, що фіксуються затискною гайкою 8, а датчик додатково забезпечений противагою 9, з’єднаною з хвилеводом 2. При поданні електричного імпульсу на п'єзоелемент 3 відбуваються деформація його поверхонь. За рахунок цього випромінюються ультразвукові коливання, які через піраміду хвилеводу 2 поступають до контрольованого виробу. При контролі вершина кута хвилеводу 2 притиснута до поверхні виробу. На вершину хвилеводу 2 наноситься контактна рідина, що утворює прошарок.

Запропонований акустичний датчик контролю фізико-механічних властивостей матеріалів дозволяє підвищити точність контролю за рахунок локалізації зони акустичного контакту.

Конструкція відомих датчиків АЕ, складеться з п’єзоелектричного активного елемента, ізоляторів його бічних пластин, компаунда, що виконує роль демпфера, металевого корпусу і контактного пристрою не дозволяє виключити можливі перешкоди, які знижують якість АЕ [14].

В конструкції запропонованого датчика АЕ [10] додатково розміщено передпідсилювач і блок фільтрів, які виконані в одному корпусі 1 з п'єзоелектричним активним елементом та контактним пристроєм (рис.3). П'єзоелектричний активний елемент 2 перетворює сигнал напружено-деформованого стану контрольованого об'єкта 5 в електричні імпульси, які подаються на вхід передпідсилювача 3 і далі подаються на блок фільтрів 4, який здійснює: перетворення отриманої інформації в сигнал АЕ. Використання даної конструкції датчика АЕ знижує: рівень шумів і підвищує якість контролю при оцінці міцних властивостей металів в конструкціях, що працюють в умовах навантажень.

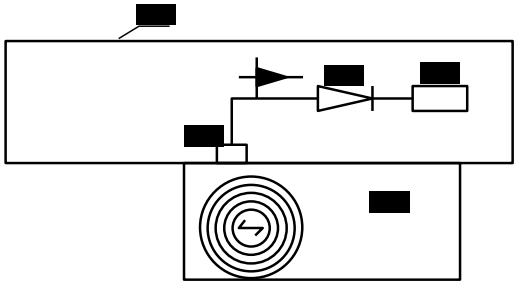

Рисунок 3 – Конструкція акустичного датчика з пониженим рівнем шумів

Апаратурне забезпечення обробки сигналів АЕ викладено в [13]. Найближчим аналогом є система акустико-емісійного контролю, що складеться з приймальних перетворювачів АЕ, підсилювачів і смугових фільтрів, пристрою для регулювання порогу дискримінації пристрою для вимірювання параметрів сигналу АЕ, пристрою реєстрації [14]. Недоліком аналога є технічна складність компоновки основних блоків і динаміки їх взаємодії. та неможливість підвищення точності оцінок працездатності контрольованих виробів.

Запропоновано апаратне забезпечення обробки сигналів АЕ [13], яке додатково включає пристрої, що містять інформаційний канал, що включає приймальну антену, яка складеться з датчиків АЕ, сполучених з блоком фільтрів через систему передпідсилювачів; канал аналогової обробки сигналив, що складається з модуля АЕ і компаратора, амплітудного дискримінатора і детектора; канал відображення і аналізу інформації, що включає центральний процесор, сполучений з мікрокомп’ютером і системою виведення інформації на периферійний пристрій; канал оцінки технічного стану об’єкта, що відповідає за аналіз працездатності системи і ухвалення, а також канал акумуляції накопичених даних, що забезпечує оперативну обробку і відображення інформації в режимі реального часу (рис.4).

Корисна .модель працює наступним чином. Сигнал з чотирьохточкової антени 1.1, представленої набором датчиків 1.2, розташованих на контрольованому об’єкту, посилюються передпідсилювачами 1.3 і далі надходить в блок фільтрів 1.4 і канал аналогової обробки сигналів 2, де піддається подальшому посиленню, двонапівперіодному детектуванню і амплітудній дискримінації 2.3.

Канал відображення і аналізу інформації 3 включає наступні операції: ідентифікацію вихідного сигналу, визначення послідовності часу приходу АЕ сигналу від датчиків, вимірювання тимчасових інтервалів, визначення координат джерела. Діагностика оцінки придатності контрольованого виробу до подальшої експлуатації здійснюються каналом технічного стану об’єктів 4, де здійснюються аналіз працездатності, і акумуляція накопичених даних.

Використання апаратного забезпечення обробки сигналів АЕ значно скорочує час проведення діагностичних робіт, економить засоби, що витрачаються на їх проведення за рахунок виведення устаткування з експлуатації.

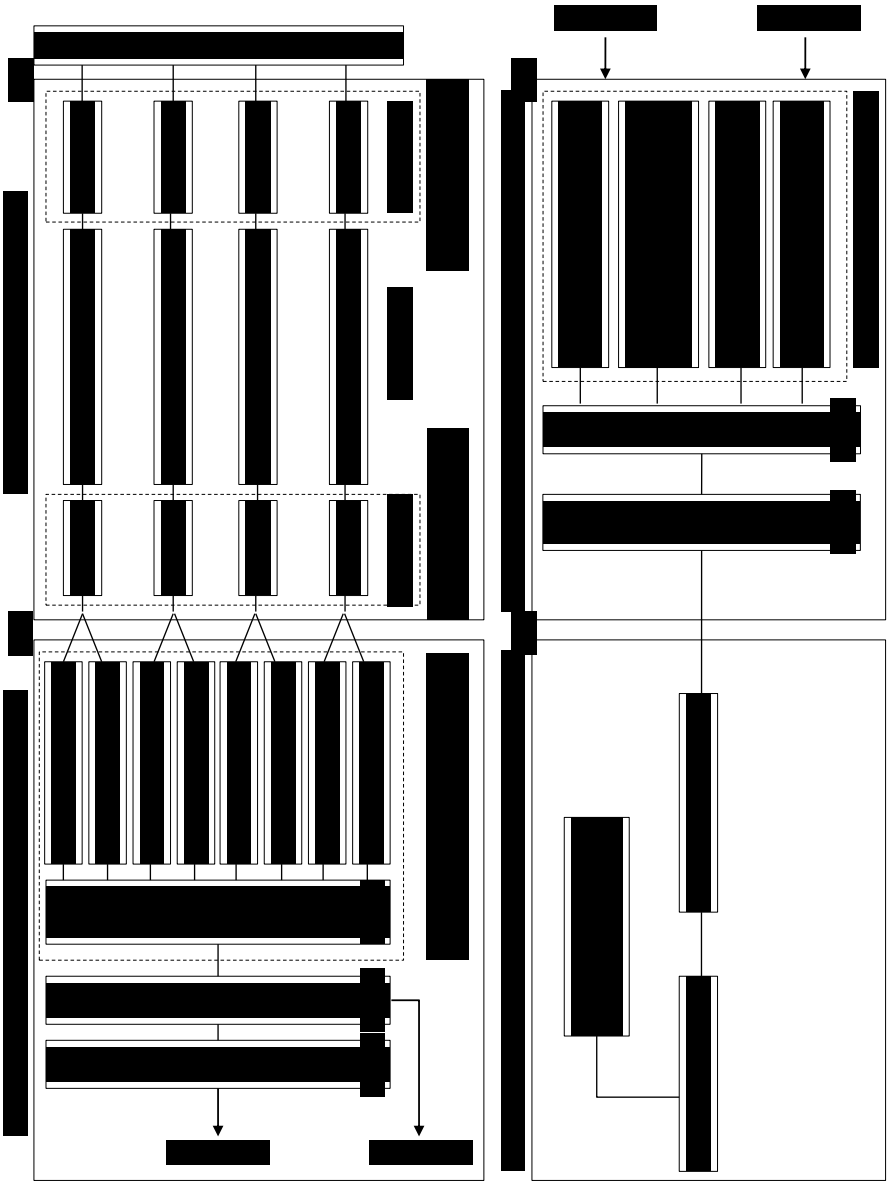

Рисунок 4 – Апаратне забезпечення обробки сигналів АЕ

Загальної спрямованістю розглянутих патентів є створення і вдосконалення засобів технічного забезпечення, які гарантують високі якісні показники експлуатаційної надійності металевих конструкцій.

З метою визначення вимог до реєструючої апаратурі АЕ наведено аналіз сучасної зарубіжної та вітчизняної апаратури систем акустико-емісійного контролю, які набула поширення в практиці технічної діагностики.

Системи акустико-емісійного контролю є багатоканальними складними пристроями, що є сукупністю апаратних засобів, обчислювальних пристроїв і спеціалізованого програмного забезпечення [15].

Прилади серії "Малахіт" використовують при контролі трубопроводів, судин під тиском, резервуарів для нафтопродуктів, устаткування хімічного, нафтохімічного і нафтопереробного виробництва. АЕ системи "Малахіт" відрізняє модульність. На будь-якому етапі контролю є можливість додати необхідну кількість каналів до функціонуючої системи. "Малахіт АС-12А" - модульна багатоканальна система. Кількість каналів в одному блоці від 8 до 16. Частотний діапазон 10-300 кГц. Рівень шуму, приведеного

до входу, - 3 мкВ. "Малахіт АС-15А" - модульна багатоканальна система. Кількість каналів в одному блоці залежить від модуля (2,12,18, 40 каналів). Частотний діапазон 1-500 кГц. Середня швидкість реєстрації сигналів до 156000 сиг/с. Рівень шуму, приведеного до входу, - 3 мкВ. Експерт 2014. Кількість каналів в одному блоці залежить від модуля (8, 16, 64 каналів). Частотний діапазон 4-700 кГц. Рівень шуму, приведеного до входу до 5 мкВ. Експерт 2020. Частотний діапазон 5-600 кГц. Середня швидкість реєстрації сигналів не менше 15 000 сиг на канал. Рівень шуму, приведеного від 3 мкВ. Експерт 2100. Зв'язок між датчиком і блоком обробки здійснюються по радіоканалу. Частотний діапазон від 15 до 500 кГц. Рівень шуму від 3 мкВ. Ресурс 2000. Комплекс інтегрального моніторингу для проведення стаціонарного контролю. Кількість каналів комплексу вибирається під об'єкт контролю. Акустико-емісійний прилад ГСП АРГУС-7 АФ-15 - двоканальний реєстратор, що забезпечує вимір сумарної АЕ і інтенсивності в діапазоні частот від 20 кГц до 2,5 МГц. Прилад оснащений набором п'єзоелектричних перетворювачів П113 - (0.6-1.0) з коефіцієнтом перетворення по напруженню 18 ± 0.8 мВс^2 / м, володіє власною частотою 160кГц і нерівномірністю частотної характеристики 0,3 дБ. UNISCOPE. Портативна система універсального призначення: течеискання, тензометрія, віброметрія. Частотний діапазон 0,5-1 МГц [16]. Лель/a-line 32D(DDM). Багатоканальна модульна система з послідовним цифровим каналом передачі даних. Частотний спектр від 30 до 500кГц. Рівень шуму не більш 5 мкВ. Лель/a-line 32D(PCI-8E). Багатоканальна цифрова система. Частотний діапазон від 30 до 500кГц. Рівень шуму не більше 5 мкВ. A-line DDM-2 – модификация систем архитектуры A-line PCI совмещает централизованную схему обработки данных и цифровую передачу первичной информации на базе сбора и обработки данных. Сигнал от преобразователя АЭ усиливается и оцифровывается в конверторе DS (Dsgstal Sensor) с передачей информацией на компьютер [17]. АЕ система DISP (Digitals Partan) є декількома платами PCI / DSP-4 - 4-канальний платою спроектованої на основі цифрових сигнальних процесорів (DSP), реєструючіх параметри сигналів АЕ и їх форму. Всі плати АЕ систем складаються з аналогової і цифрової частин. Аналогові частини всіх плат ідентичні, і розрізняються тільки вживаними фільтрами високих і низьких частот. Блок-схема аналогової частини, з таблицями частот зрізу фільтрів зверху і знизу для різних плат, приведена на рис. 5. На всіх платах є виходи для підключення індикаторних світлодіодів, виходи на звуковий монітор, і по 8 цифрових входів і виходів, що використовуються для управління. Після установки плат в каркас, вони об'єднуються загальною шиною (рис.6). За рахунок застосування такої архітектури досягається швидкість передачі даних на шину PCI до 132 Мбайт/с.

Існують робочі станції на базі плат PAC, де кожна робоча станція містить повністю функціональну систему АЕ, що включає сучасний комп'ютер з жорстким, гнучким і компакт-диском, USB портами, паралельним портом, мережевим контролером.

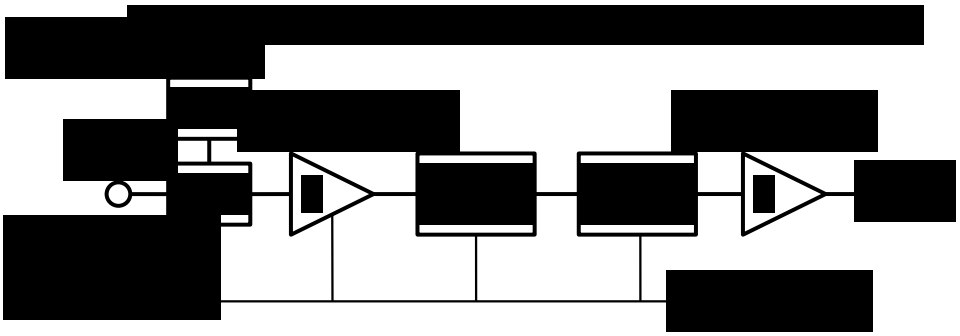

Рисунок 5 – Блок-схема аналогової частини плат

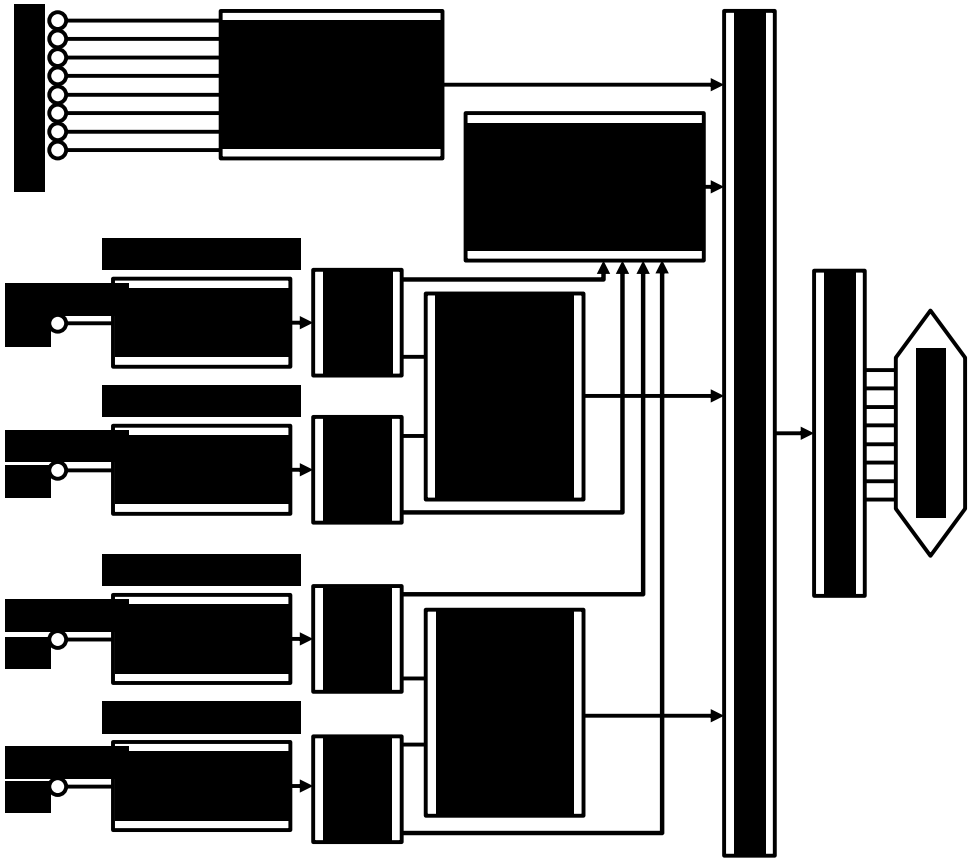

Рисунок 6 – Блок-схема плати PCI/DSP-4

Система «Iron-Box» є портативним комп'ютером в міцному металевому корпусі. Існують дві модифікації комп'ютерів цього типу - на 2 і на 3 роз'єму PCI для установки плат. Для настройки АЕ системи, збору і обробки отриманих даних використовується програмний пакет AEwinTM, що забезпечує швидку реєстрацію і обробку параметрів і форм сигналів АЕ в операційному середовищі Windows.

На підставі аналізу сучасної вітчизняної і зарубіжної апаратури АЕ сформульовані вимоги до реєструючої апаратури:

– робочий частотний діапазон апаратури повинен змінюватися в межах від 10кГц до 2,5 МГц. Такий діапазон частот обумовлений тим, що ширина смуги частот, приймального тракту повинна бути такій, щоб в її межах можна було б нехтувати нерівномірністю спектральної щільності перешкоди і сигналу;

– сигнали АЕ випромінюються в широкому спектрі частот, тому смуга пропускання апаратури повинна бути максимальній при мінімумі нерівномірності амплітудно-частотній характеристиці підсилювального і перетворюючого тракту;

– амплітудна селекція, повинна мати значний динамічний діапазон, оскільки наряду з сигналами малої амплітуди здійснюється реєстрація сигналів великої амплітуди;

– при контролі виробничих об'єктів рекомендується використання резонансних приймачів АЕ, що мають вищу чутливість в порівнянні з широкосмуговими;

– оскільки, контрольовані об'єкти мають кінцеві розміри, хвилі, зазнають багатократні віддзеркалення, які зашумляют корисну інформацію. Це вимагає введення широкосмугових фільтрів;

– при використанні апаратури з великим діапазоном частот необхідне використання перетворювачів з амплитудно-частотной характеристикою, близькою до лінійної в робочим діапазоні частот;

– апаратура для АЭ-контроля повинна володіти максимальною чутливістю до реєстрації сигналів малої амплітуди.

Висновки

Автоматизація процесів управління в системах технічної діагностики металевих конструкцій відбувається в двох напрямках: автоматизація вимірювань, що включає схеми, методи та конструкторські рішення, автоматизація обробки інформації, що включає алгоритми, моделі, прийоми і методики виділення корисної інформації.

Напрямки формування акустичного тракту АЕ діагностичного обладнання зводяться до виявлення та ідентифікація сигналів, їх посиленню, частотної фільтрації, дискримінації та нормуванню імпульсів по тривалості і амплітуди.

Основні вимоги до реєструючої апаратури АЕ повинні відображати наступні моменти: ширина смуги частот приємного тракту має бути максимальною при мінімуме перетворюючого тракту, необхідна наявність амплітудної селекції, рекомендується використання резонансних приймачів АЕ з амплитудно-частотною характеристикою близькою до лінійної та широкосмугових фільтрів для реєстрації сигналів малої амплітуди.

Список використаних джерел

1. Назарчук З.Т. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій. К. Наукова думка, 2009. 263с.

2. Обнаружение и исследование акусто-эмиссионных эффектов при пластической деформации сталей в магнитном поле / И.И. Папиров, П.И. Стоев. *Доповіді Національній академії наук України.* 2014. №1. С. 81-89.

3. О распознавании изменений структуры материалов при разрушении по данным акустической эмиссии / Недосека А.Я., Недосека С.А., Маркашева Л.И., Кушнарева У.С. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*.2016. №4. С.9-13.

4. Carpinteri A. Structural damage diagnosis and lifetime assessment by acoustic emission monitoring / A. Carpinteri, G. Lacidogna, N. Pugno. *Engineering Fracture Mechanics.* 2007. №74. P. 273-289.

5. Pollok A. Acoustic Emission Inspection. Metals Handbook. Ninth Edition ASM International. 1989 . Vol.17. P. 278-294.

6. Информативные параметры и схемы акустико-эмиссионного контроля / Марасанов В.В., Шарко А.В., Коберский В.В., Шарко А.А. *Проблемы інформаційних технологій*. 2016. №01(019). С.182-191.

7. Скальский В.Р. До проблеми автоматизації діагностування конструкцій методом акустичної емісії. *Технічна діагностика і неразрушающий контроль*. 2000. №4. С.3-9

8. Стахова А.П. Приборная система для измерения механических нагружений на основе явления акустической эмиссии Диссертация канд. техн. наук. 05.11.01 Приборы и методы для измерения механических величин. Национальный авиационный университет. Киев 2017.

9. Марасанов В.В., Шарко А.А. Визначення координат джерел за об'ємної локалізації дефектів методом акустичної емісії. *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Комп'ютерні науки і інформаційні технології»*. 2016. № 843. С.43-48.

10. Марасанов В.В., Шарко А.О. Датчик акустичної емісії. Патент на корисну модель №116757 від 12.06.2017 Бюл. №11

11. Марасанов В.В., Погребняк І.Ф., Шарко А.О. Акустичний датчик контролю фізико-механічних властивостей матеріалів. Патент на корисну модель №122797 від 25.01.2018 Бюл. №2.

12. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник под ред. Г.С. Самойловича. М.: Машиностроение, 1976. С. 292-327.

13. Коберський В.В., Марасанов В.В., Шарко А.О. Шарко О.В. Апаратурне забезпечення обробки сигналів акустичної емісії. Патент на корисну модель №116405 від 25.05.2017 р. Бюл. №10.

14. Грешніков В.А., Дробот Ю.Б. Акустична емісія. М.: Изд-во стандартів, 1976. 68 с.

15. Иванов В.И. Барат В.А. Акустико-эмиссионая диагностика: справочник М.: Издательский дом «Спектр». 2017. 368с.

16. Бардаков В.В. Елизаров С.В., Барат В.А., Терентьев Д.А., Шуманский А.Г. UNISCOPE. Расширение границ метода АЭ. Сборник материалов Всеросийской конференции «Актуальны проблемы метода акустической эмиссии (АПМАЭ-2018).

Издательство Тольятти. 2018. С.39-40.

17. Елизаров С.В., Аликритский А.Л., Трифимов П.Н., Шиманский А.Т. Буганков А.А. Обзор новых аппаратных решений в системах акустической эмиссии семейства A-Line. Сборник материалов Всеросийской конференции «Актуальны проблемы метода акустической эмиссии (АПМАЭ-2018). Издательство Тольятти. 2018. С.10.

References

1. Nazarchuk Z.T. Akustyko-emisiine diahnostuvannia elementiv konstruktsii. Naukovo-tekhnichnii posibnyk. K. Naukova dumka 2009. 263p. [in Ukrainian]

2. Papirov I.I., Stoev P.I. Obnaruzhenie i issledovanie akusto-emissionnyih effektov pri plasticheskoy deformatsii staley v magnitnom pole. *Dopovidi Natsionalnii akademii nauk Ukrainy*. 2014. No 1. P .81-89. [in Russian]

3. Nedoseka A.Ya., Nedoseka S.A., Markasheva L.I., Kushnareva U.S. O raspoznavanii izmeneniy strukturyi materialov pri razrushenii po dannyim akusticheskoy emissii. *Tehnicheskaya diagnostika i nerazrushayuschiy kontrol*. 2016. No 4. P. 9-13. [in Russian]

4. Carpinteri A., Lacidogna G., Pugno N. Structural damage diagnosis and lifetime assessment by acoustic emission monitoring. *Engineering Fracture Mechanics*. 2007. No 74. P. 273-289.

5. Pollok A. Acoustic Emission Inspection. Metals Handbook. *Ninth Edition ASM International*. 1989. Vol.17. P.278-294.

6. Marasanov V.V., Sharko A.V., Koberskiy V.V., Sharko A.A. Informativnyie parametryi i shemyi akustiko-emissionnogo kontrolya. *Problemyi InformatsIynih tehnologIy*. 2016. No 01(019). P. 182-191. [in Russian]

7. Skalskyi V.R. Do problemy avtomatyzatsii diahnostuvannia konstruktsii metodom akustychnoi emisii. *Tekhnichna diahnostyka i nerazrushaiushchyi kontrol*. 2000. No 4. P. 3-9. [in Ukrainian]

8. Stahova A.P. Pribornaya sistema dlya izmereniya mehanicheskih nagruzheniy na osnove yavleniya akusticheskoy emissii. Dissertatsiya kand. tehn. nauk. 05.11.01 Priboryi i metodyi dlya izmereniya mehanicheskih velichin. Natsionalnyiy aviatsionnyiy universitet. Kiev 2017. [in Russian]

9. Marasanov V.V., Sharko A.A. Vyznachennia koordynat dzherel za obiemnoi lokalizatsii defektiv metodom akustychnoi emisii. Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» Seriia Kompiuterni nauky i informatsiini tekhnolohii». 2016. No 843. P.43-48. [in Ukrainian]

10. Marasanov V.V., Sharko A.O. Datchik akustichnoi emisii. patent na korysnu model No 116757 . 12.06.2017 Byul. No11 [in Ukrainian]

11. Marasanov V.V., Pohrebniak I.F., Sharko A.O. Akustychnyi datchyk kontroliu fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei materialiv. patent na korysnu model No122797 vid 25.01.2018 Biul. No2. [in Ukrainian]

12. Nerazrushayuschiy kontrol metallov i izdeliy. Spravochnik pod red. G.S. Samoylovicha. M.: Mashinostroenie, 1976. P. 292-327. [in Russian]

13. Koberskyi V.V., Marasanov V.V., Sharko A.O. Sharko O.V. Aparaturne zabezpechennia obrobky syhnaliv akustychnoi emisii. patent na korysnu model No116405 vid 25.05.2017 r. Biul. No10. [in Ukrainian]

14. Hreshnikov V.A., Drobot Yu.B. Akustychna emisiia. M.: Yzd-vo standartiv, 1976. 68 p. [in Ukrainian]

15. Ivanov V.I. Barat V.A. Akustiko-emissionaya diagnostika: spravochnik. M.: Izdatelskiy dom «Spektr», 2017. 368p. [in Russian]

16. Bardakov V.V. Elizarov S.V., Barat V.A., Terentev D.A., Shumanskiy A.G. UNISCOPE. Rasshirenie granits metoda AE. Sbornik materialov Vserosiyskoy konferentsii «Aktualnyi problemyi metoda akusticheskoy emissii (APMAE-2018). Izdatelstvo Tolyatti. 2018. P.39-40. [in Russian]

17. Elizarov S.V., Alikritskiy A.L., Trifimov P.N., Shimanskiy A.T. Bugankov A.A. Obzor novyih apparatnyih resheniy v sistemah akusticheskoy emissii semeystva A-Line. Sbornik materialov Vserosiyskoy konferentsii «Aktualnyi problemyi metoda akusticheskoy emissii (APMAE-2018). Izdatelstvo Tolyatti. 2018. P.10. [in Russian]