

УДК 004.855.5

## ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ, ЩО ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ ПІД ЧАС РОБОТИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НЕРУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ ВНУТРІШНЬОГО СТАНУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Смирницький Г.О., Омельченко А.А.

Донецький національний технічний університет

E-mail: smir nizky@gmail.com, a\_omelchenko@ukr.net

4

*Розглянуті аспекти побудови комп'ютеризованих систем, що здійснюють моніторинг внутрішнього стану промислових об'єктів, сигнали акустичної емісії від яких є вхідними даними для аналізу. Досліджені методи первинної обробки звукового сигналу та його приведення до форми, що використовується під час аналізу. Зроблений висновок про можливість застосування нейронних мереж для розпізнавання сигналів акустичної емісії на тлі завад.*

### Загальна постановка проблеми

Нинішній етап розвитку людства вимагає нарощування виробничих потужностей, необхідних для того, щоб забезпечити промисловість необхідними ресурсами, проте сучасне виробництво пов'язане з великою кількістю небезпечних та шкідливих факторів. Іноді через відсутність якісних засобів контролю на виробництві виникає загроза аварії, яка може призвести до людських жертв та матеріальних збитків, або навіть до техногенної катастрофи. В якості яскравих прикладів можуть бути наведені сумнозвісні події 2010 року: техногенна катастрофа в результаті аварії на глибоководній нафтовидобувній платформі у Мексиканській затоці, завал на золотодобувній шахті в Чилі, важке хімічне забруднення вод річки Дунай через аварію на алюмінієвому заводі в Угорщині в результаті

розлому греблі.

Таким чином очевидна необхідність у застосуванні методів контролю, що не викликають руйнацію, з метою з'ясування кількості, ступеня розвитку, місця розташування дефектів у внутрішній структурі матеріалів, з яких виконано об'єкт, що контролюється, безпосередньо під час протікання технологічного процесу чи експлуатації об'єкта чи його окремих елементів під навантаженням. За умови вдосконалення існуючих методів неруйнуючого контролю можна отримати знання про динаміку утворення дефектів і з великою вірогідністю оцінити залишковий ресурс певного елемента об'єкта контролю, спрогнозувати час наближення до аварійного стану, вчасно вжити необхідні запобіжні заходи.

Протягом останнього часу динамічно зростає число публікацій, присвячених використанню метода акустико-емісійного контролю (АЕ контролю), який має ряд переваг перед іншими методами неруйнуючого контролю. Даними, що використовуються під час контролю, є пружні звукові коливання, які виникають в результаті звільнення енергії під час динамічної перебудови внутрішньої структури об'єкта (тобто в ході виникнення та розвитку дефекту-тріщини).

Особливістю метода АЕ контролю, яка обмежує його застосування, у ряді випадків пов'язана з труднощами виділення сигналів акустичної емісії (АЕ) з шумів, тому що сигнали АЕ є шумоподібними за своєю природою (АЕ – стохастичний імпульсний процес). Якщо сигнали АЕ мають малу амплітуду, виділення корисного сигналу на тлі завад являє собою складну задачу.

### **Постановка задач дослідження**

Мета дослідження полягає у здійсненні пошуку можливих варіантів побудови програмно-апаратного рішення технічної діагностики з використанням методів для визначення ступеня зносу об'єкта, що перебуває під контролем. Досягти цієї мети можна за умови вирішення наступних задач:

- реєстрація акустичних даних;

- ідентифікація імпульсів акустичної емісії на тлі завод;
- класифікація імпульсів акустичної емісії і відповідно їхніх джерел.

### Рішення задач та результати дослідження

В недавні часи реєстрація, ідентифікація та класифікація акустичних імпульсів, які виникають в процесі пластичної деформації і руйнації (зростання тріщин) об'єктів, що перебувають під контролем, відбувалися завдяки роботі підготованої людини-оператора, яка спиралася виключно на свої суб'єктивні слухові відчуття. Сучасні технології дозволяють створити комп'ютерну систему, яка б змогла автоматизувати певну частину функцій, які раніше виконувались оператором вручну. Схематичний вид такої системи наведено на рис. 1.

Задача реєстрації акустичних даних виконується за допомогою особливих датчиків. Як зазначено в [1], основним елементом резонансного датчика є п'єзоелектричний кристал, що перетворює механічний рух в електричний сигнал. Кристал поміщається в спеціальний корпус з денцем у вигляді платівки і роз'ємом. Датчик збуджується хвилями напружень, які потрапляють на його денце, і перетворює їх в електричні сигнали. Ці сигнали надходять на розташований поблизу (або ж безпосередньо в корпусі датчика) передпідсилювач, посилюються і на кінцевому етапі реєстрації надходять на основну вимірювальну та обробну апаратуру. Частоти,

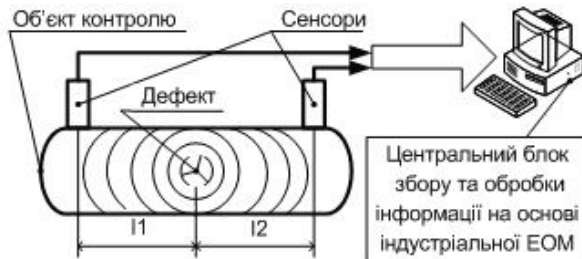


Рисунок 1 – Узагальнена схема комп'ютеризованої системи АЕ контролю

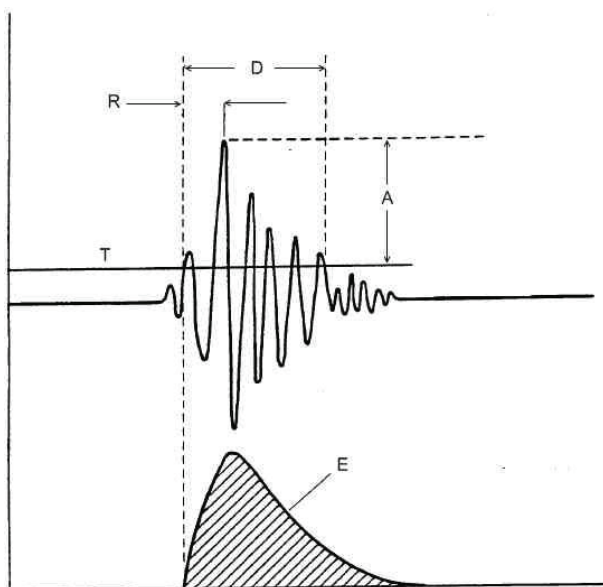


Рисунок 2 — Стандартний набір параметрів, що вимірюються системою АЕ контролю

що характеризують датчик, є домінуючими при утворенні форми і спектру АЕ сигналу.

В [1] проілюстровані класичні інформаційні параметри, які повинні фіксуватися при аналізі сигналів АЕ, які зазвичай позначаються у літературі наступним чином:  $T$  — поріг, щодо якого розраховується число осциляцій, тобто перетину його сигналом;  $A$  — амплітуда (максимальне значення сигналу);  $D$  — тривалість (повний час від перетину сигналом порогу до відходу під поріг);  $R$  — час наростання сигналу (час від першого перетину порогу сигналом до досягнення ним максимальної амплітуди);  $E$  - енергетичний параметр MARSE.

Дотепер ще слабке метрологічне забезпечення вимірювань в галузі АЕ призводить до достатньо довільного вибору та різної інтерпретації інформаційних параметрів та методів їхньої реєстрації, що робить складнішим співставлення результатів. Слід зауважити, що визначити дані параметри можна за умови того, що

імпульс акустичної емісії було вірно ідентифіковано на тлі завод та виробничих шумів.

У роботі [2] зазначено, що під час проведення моніторингу неодмінно присутні акустичні завади, що ускладнюють проведення моніторингу. Оскільки корельовано завади з вузькою смугою частот можуть призвести до помилки, їх треба виключити із подальшого аналізу. Для класифікації сигналів і завод зручно використовувати величину  $l$ , що визначає співвідношення енергії сигналу до  $(s(t))$  і після  $(s'(t))$  медіанної фільтрації його спектру  $F(W)$ .

$$l = \frac{\sum_{n=0}^N s'(\Delta t \times n)}{\sum_{n=0}^N s(\Delta t \times n)^2} \quad (1)$$

$$s'(\Delta t \times n) = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^N \text{median}(F(\Omega)) \times e^{-jn \frac{2\pi}{N}} \quad (2)$$

Якщо, обираючи параметри медіанного фільтру, задати ширину частотного вікна відповідно до ширини спектра завади, співвідношення для завод і для сигналів буде відрізнятися приблизно у 20 разів. Такий спосіб фільтрації можна застосовувати для виключення будь-яких завод з вузькою смугою, як високочастотних, так і низькочастотних.

Задачі ідентифікації та класифікації імпульсів АЕ пов'язані з роботою над кількісними характеристиками, отже логічно застосувати для їх вирішення нейронні мережі. На даний час розроблені методи розпізнавання образів за допомогою нейронних мереж з різноманітною структурою і специфікою, завдяки чому відкриваються широкі простори для досліджень. Отже постає питання, яка повинна бути форма у даних, що подаються на нейронну мережу.

У роботі [3] пропонується використання фізіологічного підходу до аналізу звукової інформації, заснованого на даних когнітивної психології. Згідно з таким підходом часове подання сигналу за

допомогою швидкого перетворення Фур'є трансформується на частотне (тобто отримується спектр звукового сигналу). Для додаткової обробки спектрального подання використовується шакала барків – частотних діапазонів, на які розбитий весь чутний людським вухом діапазон, з межами, отриманими в ході досліджень з когнітивної психології. Весь діапазон частот (20-20000 Гц) покривається 24 барками; до 500 Гц ширина барків «приблизно однакова», а після 500 Гц – змінюється «приблизно логарифмічно»; на весь частотний діапазон реагує приблизно 3500 волоскових клітин органа Корті; у кожному барку міститься постійна кількість волоскових клітин (144-150 шт.); у кожному барку спостерігається постійна кількість ступенів відмінності однотональних сигналів за висотою (34-36 шт.); кожному ступеню відмінності відповідає постійна кількість волоскових клітин (4-5 шт.).

З метою дослідження способів аналізу акустичних даних був створений програмний додаток, за допомогою якого був отриманий спектр звукового сигналу (шляхом швидкого перетворення Фур'є), збереженого у форматі \*.wav.

Також було отримане відображення моделі сприйняття пода-

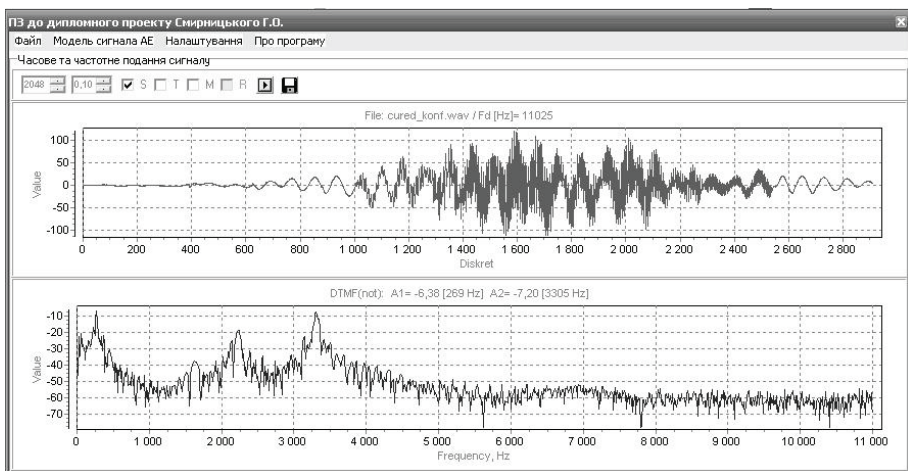


Рисунок 3 – Часове та частотне подання звукового сигналу, отримані за допомогою створеного програмного додатку

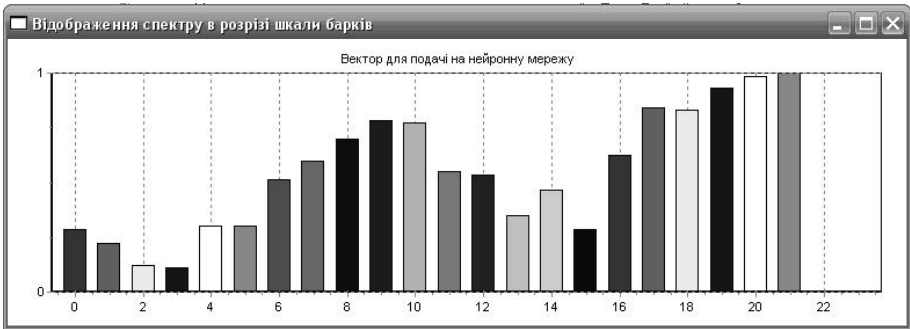


Рисунок 4 – Відносний розподіл енергії за барками

4

ного звуку людиною, як показано на рис. 4. Отриманий вектор може виступати у ролі вхідного образу для подачі на нейронну мережу.

Важливим питанням є обрання структури нейронної мережі, за допомогою якої повинні вирішуватись задачі ідентифікації та класифікації сигналів АЕ. Такий підхід було застосовано у роботах [4], [5]. У якості часового подання автор пропонує використовувати звукові файли, що містять виділені експертом зразки імпульсів акустичної емісії, а також зразки імпульсних завад. У кожному з барків обчислюється середній рівень енергії сигналу і отримані значення нормуються. Таким чином вхідними даними для нейронної мережі є вектори з 24 елементів, проте через специфіку області застосування число значущих елементів таких векторів може бути скорочене.

Найчастіше для рішення таких задач використовуються мережі прямого розповсюдження та мережі або карти Кохонена. У [4] автор пропонує використати двокомпонентну мережу: перший компонент – мережа Хопфілда, що виконує роль асоціативної пам'яті; другий компонент – мережа прямого розповсюдження, що безпосередньо займається задачею класифікації вхідних образів. Проте у [5] автор отримує кращі результати, використовуючи мережу прямого розповсюдження.

## Висновки

Для рішення поставленої задачі були розглянуті етапи роботи з сигналами акустичної емісії і потрібні для цього математичні методи. Узагальнена схема алгоритму роботи системи зводиться до наступного: реєструється акустична інформація; проводиться попередня фільтрація можливих виробничих шумів; здійснюється перехід від часової форми представлення до спектральної; здійснюється ідентифікація та класифікація образів, яким відповідають подання енергії спектру за шкалою барків, за допомогою нейронної мережі.

Визначальними при побудові алгоритму роботи системи є:

- наявність сильних чи слабких завад при реєстрації сигналів;
- засоби створення образів, використовуваних для навчання нейронної мережі;
- можливість розширення простору вхідних образів нейронної мережі за рахунок отриманих в процесі роботи результатів.

Залишаються невирішені питання, наприклад труднощі, які виникають при виділенні корисних сигналів на тлі завад; помилкове визначення імпульсу; визначення структури нейронної мережі, яка б давала кращі результати.

## Література

- [1] Поллок А. Акустико-эмиссионный контроль // Авторская перепечатка из книги Металлы (METALS HANDBOOK), 9-ое издание, т. 17, ASM International (1989): С. 278-294 [Електронний ресурс] / Сайт компанії ТОВ «Діапак», - режим доступу: <http://www.diapac.ru/Articles/Pollock.pdf>.
- [2] Барат В.А., Алякритский А.Л. Метод статистической обработки данных акустико-эмиссионного мониторинга на примере реактора гидроочистки Мозырского НПЗ // Журнал «В мире неразрушающего контроля», 2004.



- № 4 (26) [Электронный ресурс] / Сайт компанії ТОВ «Диапак», - режим доступу: <http://www.diapac.ru/Articles/Monitoring.pdf>.
- [3] Асланов О.Є. Інтерпретація акустичних даних у задачах моніторингу виробничих шумів: Автореф. дис. канд. – Донецьк, 2005.
- [4] Деглина Ю.Б. Нейросетевой алгоритм распознавания сигналов акустической эмиссии // Искусственный интеллект. - 2006 .- № 4. - С. 731-734.
- [5] Деглина Ю.Б. Распознавание сигналов акустической эмиссии на основе нейросетевых методов // Материали Міжнародної наукової конференції «Комп'ютері науки та інформаційні технології», присвяченої пам'яті професора А.М. Богомолва 1-4 липня 2009 р. / Сумісний проект Саратовського державного університета ім. Н.Г. Чернишевського та Інститута прикладної математики та механіки Національної Академії наук України , - режим доступу: <http://knit2007.sgu.ru/docs/102.doc>.