

УДК 004.855.5

**ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
КОНТРОЛЮ СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ***Смирницький Г.О., Омельченко А.А.**Донецький національний технічний університет м. Донецьк  
кафедра автоматизованих систем управління  
e-mail: smirnitskiygena@gmail.com, a\_omelchenko@ukr.net***Анотація**

*Смирницький Г.О., Омельченко А.А. Особливості комп'ютеризованих інформаційних систем контролю стану залізобетонних промислових об'єктів. Розглянуті аспекти побудови комп'ютеризованих систем, що здійснюють моніторинг внутрішнього стану залізобетонних об'єктів, сигнали акустичної емісії від яких є вхідними даними для аналізу.*

**Загальна постановка проблеми.** Для великої кількості галузей сучасної промисловості характерна потреба у застосуванні методів контролю, що не викликають руйнацію ("non-destructive tests") з метою з'ясування кількості, ступеня розвитку, місця розташування дефектів у внутрішній структурі матеріалів, з яких виконано об'єкт, що контролюється: адже контроль повинен здійснюватись безпосередньо під час протікання технологічного процесу (або експлуатації об'єкта чи його окремих частин під навантаженням), що не дозволяє порушувати цілісність елементів об'єкта для з'ясування кількості та вагомості розвинених дефектів. За наявністю знань про динаміку утворення дефектів можливо спрогнозувати час наближення об'єкта до аварійного стану, вчасно вживши необхідні запобіжні заходи. Протягом останнього часу динамічно зростає число публікацій, присвячених використанню метода акустико-емісійного контролю (АЕ-контролю), який має ряд переваг серед інших методів контролю, що не викликають руйнацію, зокрема:

- метод АЕ-контролю забезпечує виявлення та реєстрацію дефектів, що розвиваються, і це дозволяє класифікувати дефекти не за розміром, а за ступенем їх небезпеки;
- метод АЕ-контролю чуттєвий до дефектів, що ростуть: він дозволяє виявити в робочих умовах приріст тріщини дуже малих розмірів; чуттєвість акустико-емісійної апаратури за теоретичними оцінками складає приблизно  $1 \cdot 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>, що дозволяє визначити приріст тріщини 1 мкм на величину 1 мкм;
- властивість інтегральності метода АЕ-контролю забезпечує контроль усього об'єкта з використанням одного чи декількох перетворювачів сигналів, нерухомо встановлених на поверхні об'єкта;
- метод АЕ-контролю дозволяє проводити контроль різних технологічних процесів та процесів зміни властивостей і стану матеріалів;
- розташування та орієнтація об'єкта не впливає на можливість виявлення дефекту;
- метод АЕ-контролю має менше обмежень, пов'язаних із властивостями та структурою матеріалів.

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 поміж перешкод являє собою складну задачу. Під час розвитку дефекту, коли його розмір наближується до

критичного значення, амплітуда сигналів АЕ і темп їхньої генерації різко збільшується, що призводить до значного зростання вірогідності визначення такого джерела АЕ.

Суттєвим недоліком поданого метода є відсутність єдиної інформаційної бази, яка б містила у собі систематизовані результати досліджень, що дозволяли б поширювати отримані результати на ряд подібних. Сучасні системи, які використовують метод АЕ-контролю, здебільшого потребують наявності оператора для аналізу отриманих характеристик імпульсів акустичної емісії, тому актуальне питання пошуку засобів, які б допомогли перенести виконання функції аналізу отриманих спектральних характеристик на машинну частину системи, що дозволило б за умов якісної роботи системи зменшити ризик суб'єктивної помилки оператора та звільнити певну кількість його робочого часу. Крім того єдиного рішення для всіх типів об'єктів, стан яких потрібно контролювати, не існує: треба враховувати особливості галузі. Варто зазначити, що програмно-апаратні рішення, розроблені промисловими компаніями, які займаються виготовленням приладів технічної діагностики, мають високу ціну та вузьку сферу застосування.

**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, шляхом з'ясування кількості, розміру та розташування дефектів у його внутрішній структурі. Досягти цієї мети можна за умови вирішення наступних задач:

- реєстрація акустичних даних;
- ідентифікація імпульсів акустичної емісії на фоні перешкод;
- класифікація імпульсів акустичної емісії і відповідно їхніх джерел;
- прогнозування ступеня зносу об'єкта.

**Рішення задач та результати дослідження.** Останні три задачі 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. Раніше 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, що використовує нейронну мережу, вхідним образам для якої будуть відповідати спектральні характеристики акустичних сигналів; натренована нейронна мережа повинна визначити, до якого класу слід віднести дефект, який спричинив випромінювання акустичних хвиль.

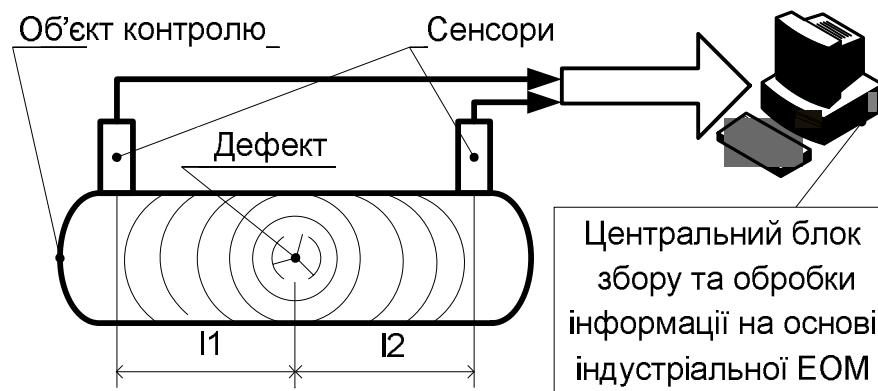


Рисунок 1 – Узагальнена схема комп'ютеризованої системи контролю стану промислового об'єкта за допомогою метода акустичної емісії

Акустичні хвилі фіксуються за допомогою спеціалізованих сенсорів, прикладом яких можуть бути перетворювачі акустичної емісії із вбудованим попереднім посилювачем GT250, GT350 або без цієї опції GT200, GT205, GT300, GT400 інформація про які доступна за адресою [8]. Звукові коливання досягають сенсорів, де вони перетворюються на електричні сигнали; прибори АЕ-контролю реєструють ці сигнали і зображують дані на екрані у вигляді осцилограм, локацій, цифрових індикацій, на основі яких оператор може дати оцінку стану і поведінки структури матеріалу під навантаженням, виявити дефекти і визначити місце їх розташування.

Сенсори, зображені на рисунку, розташовані за лінійною схемою. Програмно, виходячи з відомих швидкості звуку в матеріалі і координат сенсорів обчислюються координати джерела (дефекту). Схеми розташування сенсорів можуть бути різними залежно від матеріалу виконання, форми об'єкта, що досліджується тощо.

Отримання корисної інформації, що міститься у сигналах АЕ, здійснюється різними методами їх кількісної обробки. Число можливих параметрів, що реєструються, може бути досить великим, тому велике значення має обрання найбільш інформативних параметрів, що несуть необхідну інформацію про динамічну локальну перебудову внутрішньої структури твердих тіл. 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.

Деякі сучасні вимірювальні прилади реєструють спектр АЕ та ЕАЭ – енергію АЕ-сигналу, яка зазвичай пропорційна тривалості, квадрату амплітуди і визначається за площею сигналів, що реєструються. Цей параметр якісно описує інтегральну поведінку АЕ у часі, проте, нажаль, не дозволяє здійснювати кількісне оцінювання енергетичних параметрів процесу утворення дефектів: справа в тому, що визначена таким чином у вузькій частотній смузі сенсора «псевдоенергія АЕ» відповідає лише малій частині (іноді усього 1-2%) справжньої енергії первинного випроміненого широкосмужного сигналу АЕ.

Для дискретної АЕ вводяться наступні інформаційні параметри:

- загальне число імпульсів – число зареєстрованих імпульсів АЕ за інтервал часу;
- активність АЕ – загальне число імпульсів, співставлень до одиниці часу;
- сумарна АЕ – число зареєстрованих перевищень (викидів) АЕ-сигналів встановленого рівня за заданий інтервал часу;
- швидкість рахування – число зареєстрованих перевищень АЕ-сигналів встановленого рівня за одиницю часу;
- густина вірогідності амплітуди імпульсів  $w(A)$ , тобто вірогідність того, що амплітуда АЕ-імпульсу  $A_0$  знаходиться в інтервалі від  $A$  до  $A+dA$  (формула 1); частіше використовують похідний параметр – кількість імпульсів, амплітуда яких знаходиться в інтервалі від  $A$  до  $A+dA$  (формула 2);

$$P\{A < A_0 < A + dA\} = w(A)dA \quad (1)$$

$$n(A) = N * w(A) \quad (2)$$

- розподілення часових інтервалів поміж окремими АЕ-імпульсами;
- амплітудно-часове розподілення імпульсів АЕ  $N(A;T)$  – функція, що вказую на кількість імпульсів  $Dn$ , зареєстрованих у проміжку часу від  $T$  до  $T+dT$ , амплітуда яких знаходиться в інтервалі від  $A$  до  $A+dA$  (формула 3).

$$dN = n(A,t)dAdt \quad (3)$$

Сучасні технічні можливості дозволяють спростити роботу оператора інтелектуальної системи та перекласти завдання розпізнавання образів на машинну частину системи (такі системи широко використовують штучні нейронні мережі). Можливо також, що за гарних умов налаштування і функціонування покращиться точність отриманих результатів. Нині існує декілька пропозицій щодо структури нейронної мережі для використання в системах, які повинні обробляти імпульси АЕ. Розглянемо наступну структуру мережі, наведену у [1].

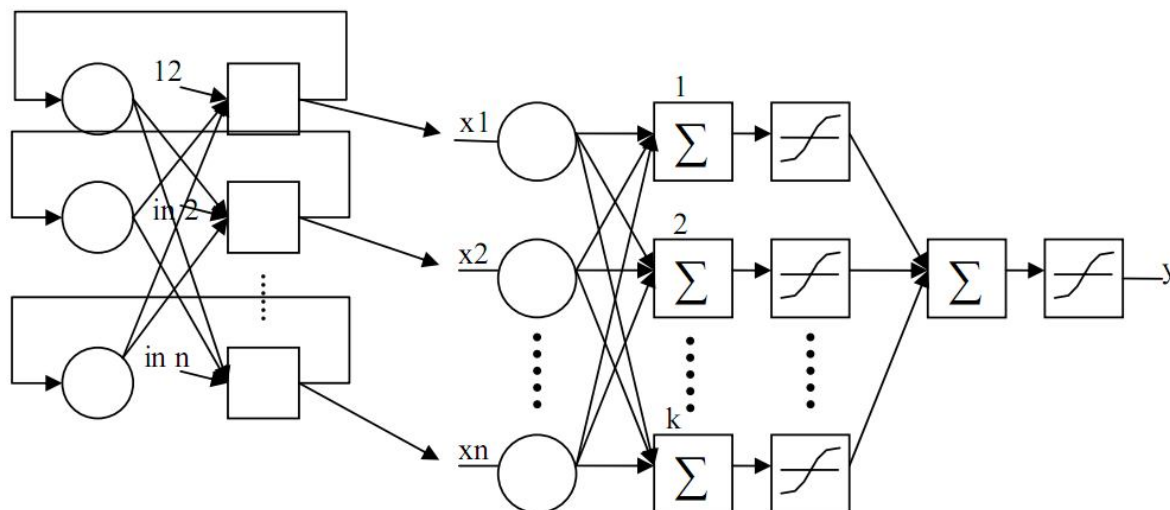


Рисунок 2 – Архітектура двохкомпонентної нейронної мережі

Подана мережа складається з двох компонентів: мережі Хопфілда і мережі прямого розповсюдження. Мережа Хопфілда використовується в якості асоціативної пам'яті: її функція полягає у зведенні образів, які надходять до входу мережі, до поданих під час навчання еталонів. Після обробки за допомогою мережі Хопфілда образ подається для класифікації до мережі прямого розповсюдження. Мережа прямого розповсюдження має 2 шари: 5 нейронів у першому шарі і 1 нейрон у другому. Налаштування кожного з компонентів мережі здійснюється роздільно; навчання мережі прямого розповсюдження здійснюється за методом зворотного поширення помилки у варіанті Левенберга-Маквардта. Вхідні дані мережі – спектральне подання сигналу, отримане з часового подання за допомогою дискретного перетворення Фур'є. У якості часового подання автор пропонує використовувати звукові файли, що містять виділені експертом зразки імпульсів акустичної емісії, а також зразки імпульсних перешкод. Пропонується використання фізіологічного підходу до аналізу звукової інформації, що оснований на даних когнітивної психології. Цей підхід полягає у тому, що для додаткової обробки спектрального подання використовується шкала барків – частотних діапазонів з межами, отриманими в ході досліджень з когнітивної психології; у кожному з таких діапазонів обчислюється середній рівень енергії сигналу.

Автор планує в подальшому експериментувати із введенням додаткових компонентів нейронної мережі. Також для розпізнавання використовуються мережі або карти Кохонена (здебільшого для контролю стану трубопроводів), когнітрона та неокогнітрона. Отже постає питання, яка повинна бути структура нейронної мережі для того, щоб якісно виконувати свої завдання саме для випадку залізобетонних конструкцій. Крім того існують рішення, ознайомитись з якими можна на порталі [7], зокрема «Fixed threshold hit detection and hit parameters evaluation» і «Neural networks framework for Acoustic Emission».

#### **Висновки.**

Для рішення поставленої задачі був проведений аналіз етапів роботи з сигналами акустичної емісії і математичних методів, що можливо при цьому використовувати.

Узагальнена схема роботи алгоритму 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 спектральні представлення, за допомогою нейронної мережі.

Визначальними при побудові алгоритму є:

- наявність сильних чи слабких перешкод 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.

Проаналізувавши публікації за останній час можна стверджувати, що метод акустико-емісійного контролю здобуває все більше популярності, тому що він має ряд переваг у порівнянні із подібними методами. Проте є невирішені питання, наприклад труднощі, які виникають при виділенні корисних сигналів на фоні перешкод; помилкове визначення імпульсу; визначення структури нейронної мережі, яка б давала кращі результати. Перспективно було б створити систематизоване сховище, де б могли зберігатись дані, створені під час роботи систем обробки даних АЕ, які могли б використовуватись у якості попереднього досвіду і для пошуку можливих шляхів покращення правил проведення дослідів.

### Список літератури

1. Деглина Ю.Б. Нейросетевой алгоритм распознавания сигналов акустической эмиссии// Искусственный интеллект. – 2006.- №4. – с. 731-734.
2. Харитонов К.О. Механизмы обеспечения единого времени в автоматизированной сейсмоакустической системе геомеханического мониторинга горных пород / Д.А. Куликов, К.О. Харитонов, Чье Ен Ун // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2007. – №4(32). – С. 72–77.
3. Харитонов К.О. Обнаружение импульсов акустической эмиссии и обеспечение единого времени в системе сейсмоакустического контроля горного давления / Д.А. Куликов, К.О. Харитонов, Чье Ен Ун // Информатика и системы управления. – Благовещенск: АмГУ, 2007. – №2. – С. 109-119.
4. Шамин А.Е., Овчарук В.Н. Программно-аппаратный комплекс предварительной обработки сигналов акустической эмиссии.//Научная статья, доклад по которой проводился под номером М-33 на «Конференции-2006», проведенной организацией “National Instruments”.
5. Шемякин В.В., Стрижков С.А. О применении метода акустической эмиссии в мониторинге опасных промышленных объектов // В мире неразрушающего контроля, 2004. № 4 (26).
6. Muravin, B., "The Application of Element Free Galerkin Method in the Investigation of Crack Interaction", Ph.D. Thesis, 2003, Tel-Aviv University.
7. <http://www.muravin.com/ae/index.html> – портал акустичної емісії, створений доктором Б. Муравіним.
8. [http://www.zetms.ru/catalog/vibrodat/acooust\\_emiss/wo\\_usil.php](http://www.zetms.ru/catalog/vibrodat/acooust_emiss/wo_usil.php) – дані про перетворювачі акустичної емісії, що виготовляються ЗАО "Электронные технологии и метрологические системы".