

УДК 681.518.3

С. Ш. КАЦІВ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**ШТУЧНА НЕЙРОПОДІБНА МЕРЕЖА ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ГІДРОАГРЕГАТУ**

**Анотація.** Гідроагрегат є дуже складною динамічною гідроелектромеханічною системою і адекватний математичний опис залежності віброакустичного сигналу від всіх чинників, які викликають вібрацію, практично неможливий. Тому в цій роботі запропоновано для автоматизованого діагностування існуючих дефектів гідроагрегату використовувати тришарову штучну нейроподібну мережу, яка дозволить розглядати гідроагрегат як "чорну скриньку". Наведена структура цієї мережі та її математична модель. Розглянуті деякі перерізи амплітудно-частотно-часових спектрів вібросигналів гідроагрегату і на їх основі зроблені попередні діагностичні висновки.

**Ключові слова:** діагностування дефектів гідроагрегату, штучна нейроподібна мережа, амплітудно-частотно-часовий спектр.

**Аннотация.** Гидроагрегат является очень сложной динамической гидроэлектро-механической системой и адекватное математическое описание зависимости виброакустического сигнала от всех факторов, вызывающих вибрацию, практически невозможно. Поэтому в этой работе предложено для автоматизированного диагностирования существующих дефектов гидроагрегата использовать трехслойную искусственную нейроподобную сеть, что позволит рассматривать гидроагрегат как "черный ящик". Приведена структура этой сети и ее математическая модель. Рассмотрены некоторые сечения амплитудно-частотно-временных спектров вибросигналов гидроагрегата и на их основе сделаны предварительные диагностические выводы.

**Ключевые слова:** диагностирование дефектов гидроагрегата, искусственная нейроподобная сеть, амплитудно-частотно-временной спектр.

**Abstract.** The hydrounit is very difficult dynamic hydroelectromechanical system and adequate mathematical description of dependence vibrating signal by all factors causing vibration, practically is impossible. Therefore in this work it is offered for the automated diagnosing of existing defects of the hydrounit to use three-layer artificial neurosimilar network, that will allow to consider the hydrounit as «black box». The structure of this network and its mathematical model is given. Some sections peak-frequency-hour of spectra of vibrating signals of the hydrounit are considered and on their basis the preliminary diagnostic conclusions are made.

**Keyword:** diagnosing of defects of hydrounits, artificial neurosimilar network, peak-frequency-hour of spectra.

**Вступ**

Вітчизняний і закордонний досвід доводить, що впровадження засобів діагностування є одним із найважливіших чинників підвищення економічної ефективності використання устаткування в промисловості. Призначення діагностування – виявлення і попередження відмов та несправностей, підтримка експлуатаційних показників у встановлених межах, прогнозування стану обладнання з метою повного використання ресурсу.

Одним з найпоширеніших видів діагностування є вібродіагностування, оскільки практично миттєва реакція вібросигналу на зміну стану обладнання є незамінною якістю в аварійних ситуаціях, коли визначальним чинником є швидкість постановки діагнозу і прийняття рішення, що черговий раз довела аварія на Саяно-Шушенський ГЕС.

Вібродіагностування – це галузь знань, що включає в собі теорію і методи організації процесів розпізнавання технічних станів машин і механізмів по вихідній інформації, що міститься у віброакустичному сигналі.

Основним фізичним носієм інформації про стан елементів працюючого устаткування у вібродіагностуванні є віброакустичний сигнал – збірне поняття, що містить інформацію про коливальні процеси (вібраційні, гідро- або газодинамічні тощо) і акустичний шум механізму в навколишньому середовищі. Отже вібродіагностуванню може піддаватися будь-яке устаткування, функціонування якого супроводжується коливальними процесами. Всяке відхилення параметрів функціонування устаткування від норми призводить до зміни характеру взаємодії його елементів і до зміни супровідної взаємодії віброакустичних процесів [1,2].

Протягом останніх 20 років у світі (і зокрема на теренах СНД) ведеться активна робота по створенню автоматизованих комп'ютерних систем моніторингу та діагностування дефектів машин та обладнання. Одними з перших були системи, розроблені в АО ВАСТ (м. С.-Петербург), які базувалися на спектральному аналізі вібросигналів, та забезпечували вібродіагностування роторних машин [2,3].

В останні роки створені спеціалізовані комп'ютерні системи для діагностування гідроагрегатів, виробництва ТОВ "Ампер" (комплекс КНК-32) та ДІАМЕХ2000 (комплекс АЛІМА3-7010-ГЕС), які теж базуються на спектральному аналізі вібросигналів.

Недоліком вищезгаданих систем діагностування є те, що спектр сигналу отримується за допомогою звичайного перетворення Фур'є, яке дає адекватний результат лише для стаціонарних сигналів, в той час як вібросигнал гідроагрегату є суттєво нестационарним.

Тому останнім часом проводяться дослідження, які виправляють цей недолік (наприклад, [4,5]), але при цьому нестационарний вібросигнал трансформується в тривимірний амплітудно-частотно-часовий спектр (АЧЧС) з допомогою віконного перетворення Фур'є, що має фіксовану ширину вікна і, внаслідок цього, недостатню роздільну здатність.

Автором було запропоновано спектральний аналіз вібросигналів здійснювати за допомогою дискретного вейвлет-перетворення (ДВП), яке має змінну ширину вікна і тому значно кращу роздільну здатність [6-9].

Разом з тим, навіть за наявності АЧЧС вібросигналу діагностування існуючих дефектів гідроагрегатів є досить складною задачею. Справа в тому, що гідроагрегат є дуже складною динамічною гідроелектромеханічною системою і математичний опис залежності віброакустичного сигналу від всіх чинників, які викликають вібрацію, практично неможливий. Особливо це стосується гідромеханічної складової вібросигналу, яка викликається турбулентністю, кавітацією, виникненням стоячих хвиль тощо [1, 10].

Тому доцільно розглядати гідроагрегат як "чорну скриньку", тобто моделювати не його структуру, а зовнішнє функціонування.

Досить часто таке моделювання здійснюється за допомогою нейромережних технологій [11 – 13].

Найбільш поширеними типами нейронних мереж, що використовуються при моделюванні складних технічних систем є мережі Кохонена, перцептрони, ймовірнісні та нечіткі мережі, нейронні мережі адаптивної резонансної теорії тощо. Вибір типу мережі та її структури залежить як від вхідних потоків даних, так і від вихідних діагностичних висновків.

Для розв'язання задачі вібродіагностування передбачається створення системи автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів (САДП-РДГ) [6].

В цій системі основні масиви вхідних даних формуються за допомогою ДВП вібросигналів, які надходять від вібросенсорів ВД1 – ВД4, що встановлені по радіальним вертикальному і горизонтальному напрямкам турбінного і опорно-упорного підшипників гідроагрегату. Додатково до віброакустичних сигналів САДП-РДГ отримує дані про струм навантаження та частоту обертів гідроагрегата, а також рівень води у водосховищі.

Вихідні діагностичні висновки повинні відповідати основним чинникам [1], що викликають вібрацію гідроагрегату, а саме: нерівноваженість ротора; порушення жорсткості опорної системи; дефекти турбінного і опорно-упорного підшипників; вібрація електричних машин електромагнітного походження; порушення гідродинаміки потоку.

Аналізуючи вищесказане, можна дійти до висновку, що неоднорідність вхідних масивів даних, складність задачі, значна невизначеність експертних оцінок призводять до недоцільності використання стандартних типів нейронних мереж і вимагають розробки нестандартної штучної *нейроподібної* мережі (ШНМ).

#### Актуальність задачі

Задача своєчасного діагностування існуючих дефектів гідроагрегату в режимі квазіреального часу останнім часом набула підвищеної актуальності після всім відомої аварії на Саяно-Шушенській ГЕС, яка викликала людські жертви і завдала значних економічних збитків Російській Федерації.

#### Мета задачі

Метою задачі є побудова ШНМ для діагностування існуючих дефектів гідроагрегату.

#### Структура ШНМ САДП-РДГ для діагностування існуючих дефектів гідроагрегату

Для діагностування дефектів гідроагрегату запропонована тришарова ШНМ, яка зображена на рис. 1.

Кількість вхідних нейронів (на рис. 1 вони зображені колами) залежить від кількості частотних смуг в АЧЧС кожного з 4-ох вібросигналів. Якщо кількість частотних смуг в АЧЧС дорівнює  $M$ , то кількість вхідних нейронів дорівнює  $4(M + 1) + 2$ . Вхідні нейрони виконують функцію прийняття числових даних і їх сортування. Розміри числових масивів, які надходять на кожний вхідний нейрон різні. Так, на перший вхідний нейрон кожної з 4-ох груп надходять неприпустимі значення віброзміщення та їх часові відліки, розмір цього масиву даних важко передбачити – він може коливатися від 0 до декількох тисяч.

На другий вхідний нейрон надходять один вейвлет-коефіцієнт першої смуги частот, на третій –  $k$  вейвлет-коефіцієнтів другої смуги частот, на четвертий –  $k^2$  вейвлет-коефіцієнтів третьої смуги частот, на останній нейрон кожної групи надходить  $k^{M-1}$  вейвлет-коефіцієнтів  $M$ -ої смуги частот ( $k$  – коефіцієнт стиснення ДВП).

Кількість значень рівня води у водосховищі з їх часовими відліками теж може коливатися у широких межах, оскільки нове значення рівня повинно надходити до вхідного нейрона лише при його зміні. За аналогічним принципом надходять дані і про струм навантаження гідроагрегатора.

Перший шар ШНМ (позначений цифрою 1) містить  $4M$  нейронів. Кожен з них отримує вейвлет-коефіцієнти певної смуги частот від відповідного вхідного нейрона і, одночасно, масив значень рівня води у водосховищі і масив значень струму навантаження гідроагрегатора. Нейрони першого шару при-

значені для виділення із АЧЧС кожного з чотирьох вібросигналів спектральних складових, які викликаються гідродинамічними та електродинамічними чинниками. Крім того, ці нейрони повинні для кожної частоти АЧЧС визначити *фонові* спектральні складові.

Ми будемо називати *фоновими* спектральні складові вібросигналу, коли гідроагрегат, для якого проводиться діагностування, з якихось причин зупинений, а інші агрегати Дністровської ГЕС-2 працюють. В цьому випадку вібросигнали генеруються працюючими гідроагрегатами і через будівельні конструкції передаються на зупинений гідроагрегат, де і фіксуються його вібросенсорами.

Всі ці процедури налаштування, які виконує перший шар ШНМ, мають відбуватися протягом дослідної експлуатації САДП-РДГ.

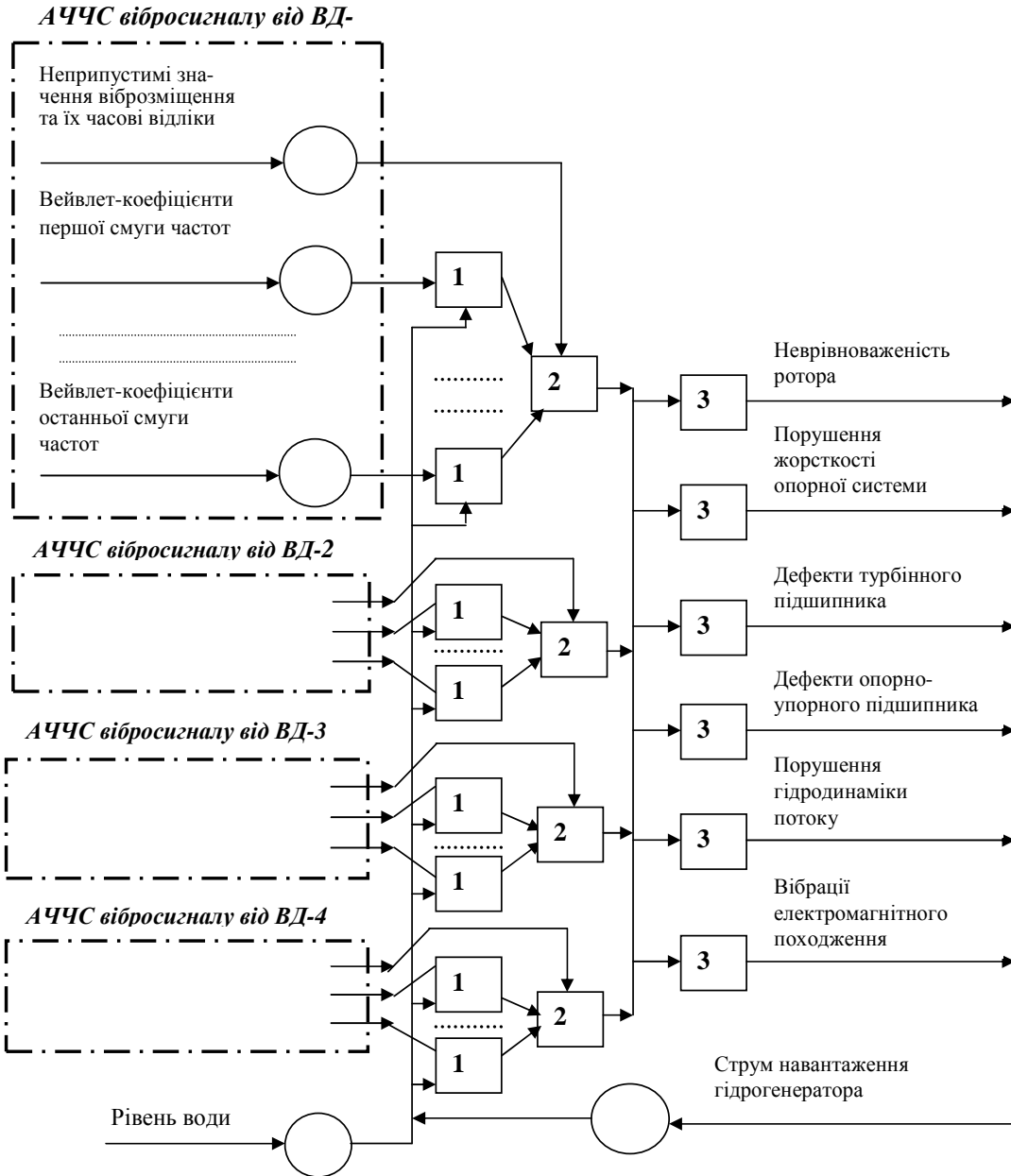


Рисунок 1 – Структура ШНМ для діагностування дефектів гідроагрегату

Другий шар ШНМ (позначений цифрою 2) містить 4 нейрона. Кожен з них отримує амплітудно-частотно-часовий спектр одного з чотирьох віброакустичних сигналів, а також неприпустимі значення віброзміщення та їх часові відліки для цього вібросигналу. Крім того, до кожного нейрону надходять дані про можливу залежність певних смуг частот відповідної АЧЧС від гідродинамічних та електродинамічних чинників і фонові спектральні характеристики, що є результатом настроювання першого шару ШНМ. Кожен нейрон другого шару визначає переріз певного АЧЧС для усіх моментів часу, коли віброзміщення цього вібросигналу перевищує припустиме значення.

Третій шар ШНМ (позначений цифрою 3) містить 6 нейронів, кожен з яких відповідає одному з чинників, які є причинами виникнення вібрацій. Кожний нейрон третього шару отримує всі перерізи певного АЧЧС для моментів часу, коли віброзміщення цього вібросигналу перевищує припустиме значення, а також дані про можливу залежність певних смуг частот відповідної АЧЧС від гідродинамічних та електродинамічних чинників і фонові спектральні характеристики.

Кожен нейрон третього шару визначає рівень вірогідності того, що причиною надмірного віброзміщення певного вібросигналу є характерний чинник вібрації, якій відповідає цьому нейрону.

Очевидно, що ця ШНМ спрацьовує лише у випадку, коли хоча б в одному з вібросигналів міститься надмірне віброзміщення.

Слід відзначити, що можливі ситуації, коли одночасно декілька різних характерних чинників вібрації отримають високі рівні вірогідності. В цьому випадку ШНМ видасть діагноз про необхідність перевірки під час чергового або позачергового технічного огляду одразу декількох дефектів гідроагрегату.

#### **Математична модель, алгоритм і програмна реалізація ШНМ САДП-РДГ для діагностування існуючих дефектів гідроагрегату**

Насамперед, відзначимо, що всі процедури цього розділу виконуються з абсолютними значеннями вейвлет-коефіцієнтів.

Як вже було сказано в попередньому підрозділі нейрони першого шару мають виконувати три функції:

- визначати фонові значення вейвлет-коефіцієнтів кожної смуги частот;
- визначати залежність вейвлет-коефіцієнтів кожної смуги частот від струму навантаження гідроагрегату;
- визначати залежність вейвлет-коефіцієнтів кожної смуги частот від рівня води у водосховищі.

Відомо, що рівень турбулентності обернено пропорційний рівню води у водосховищі, тобто ця залежність має гіперболічний характер.

Що ж стосується залежності рівня вібрації від струму навантаження то вона має прямо пропорційний характер.

Звичайно, в процесі дослідної експлуатації САДП-РДГ характер цих залежностей може уточнюватися, але, апіорі, для задачі діагностування можна записати:

$$|d_j(H, I)| = D_{0j} + D_j + v_j I + \frac{1}{p_j + q_j H^2}, \quad (1)$$

де  $H$  – рівень води у водосховищі;

$I$  – струм навантаження гідрогенератора;

$d_j(H, I)$  – вектор-функція залежності вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ої смуги частот від рівня води у водосховищі та струму навантаження;

$D_{0j}$  – усереднене фонове значення масиву вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ої смуги частот;

$D_j$  – усереднене значення масиву вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ої смуги частот при максимальному рівні води у водосховищі та режимі холостого ходу гідрогенератора;

$v_j$  – узагальнений числовий коефіцієнт, що характеризує залежність вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ої смуги частот від струму навантаження;

$p_j, q_j$  – узагальнені числові коефіцієнти, що характеризують залежність вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ої смуги частот від рівня води у водосховищі.

Ця залежність визначається лише для тих смуг частот, для яких вейвлет-коефіцієнти зростають при падінні рівня води чи при зростанні струму навантаження. Для тих смуг частот, вейвлет-коефіцієнти яких ніяк не реагують ні на рівень води, ні на струм з АЧЧС виділяється лише  $D_{0j}$ .

Отже, кожен нейрон першого шару передає далі в ШНМ, окрім масиву вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ої полоси частот, ще й параметри  $H, I, D_{0j}, D_j, v_j, p_j, q_j$ .

Процедура, яку виконує кожен нейрон другого шару полягає в тому, що для кожного моменту часу  $\tau$ , для якого віброзміщення перевищує припустиме значення, визначається переріз АЧЧС відповідного вібросигналу. Для цього спочатку в кожній смузі частот  $j$  знаходяться інтервали часу  $[t_{j,n} - t_{j,n+1}]$ , які відповідають умові:

$$t_{j,n} < \tau < t_{j,n+1}. \quad (2)$$

Після цього для всіх  $j = 1, M$  знаходять переріз  $S_\tau(M)$ , який і передається далі в ШНМ.

Таким чином, на кожен нейрон третього шару надходять вектори  $S_\tau(M)$  кожного вібросигналу і параметри  $H, I, D_{0j}, D_j, v_j, p_j, q_j$  кожної смуги АЧЧС кожного вібросигналу.

Нагадаємо, що кожний нейрон третього шару відповідає за діагностування певного чинника виникнення вібрації. При формуванні нейронної мережі в кожен нейрон третього шару введена апріорна експертна інформація про перелік номерів смуг частот, на які може впливати чинник цього нейрону.

Для зручності, додатково введемо у вищенаведені параметри індекс  $i = 1 \dots 4$ , який відповідає кожному з 4-ох вібросигналів від сенсорів ВД1 – ВД4, та індекс  $k = 1 \dots 6$ , який відповідає кожному з нейронів третього шару ШНМ.

Тоді, кожен вектор  $S_{i\tau}(M)$  містить  $M$  елементів  $d_{ij\tau} \in S_{i\tau}(M)$ .

Далі кожен нейрон має виконати такі процедури:

1. Для кожної смуги частот кожного АЧЧС відокремити фонову, гідродинамічну та електродинамічну складові від складових, які викликані іншими чинниками.

Для перших чотирьох нейронів, які характеризують безпосередньо механічні дефекти гідроагрегату це виконується за формулою

$$\forall k = 1, 4 \forall i = 1, 4 \forall j = 1, M \left( d_{kij\tau}^* = |d_{ij\tau}| - D_{0ij} - v_j I - \frac{1}{p_{ij} + q_{ij} H^2} \right). \quad (3)$$

Для п'ятого нейрона, який повинен діагностувати порушення гідродинаміки потоку можна записати

$$\forall i = 1, 4 \forall j = 1, M \left( d_{5ij\tau}^* = \frac{1}{p_{ij} + q_{ij} H^2} \right). \quad (4)$$

Для шостого нейрона, який повинен діагностувати електродинамічну складову вібрації можна записати

$$\forall i = 1, 4 \forall j = 1, M \left( d_{6ij\tau}^* = v_j I \right). \quad (5)$$

2. Наступним кроком є нормування всіх елементів  $d_{kij\tau}^*$ , яке виконується з формулою

$$\forall k = 1, 6 \forall i = 1, 4 \forall j = 1, M \left( d_{kij\tau}^{norm} = \frac{d_{kij\tau}^*}{\sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^M d_{kij\tau}^*} \right). \quad (6)$$

3. Для визначення абсолютного показника вірогідності того, що причиною надмірного віброзміщення є характерний чинник вібрації, якій відповідає  $k$ -му нейрону, використовують його множину номерів смуг частот  $Q_k$ .

Тоді показник вірогідності  $PV_{k\tau}$  чинника, який відповідає  $k$ -му нейрону, на момент часу  $\tau$  визначається як

$$\forall k = 1, 6 \forall i = 1, 4 \forall j \in Q_k \left( PV_{k\tau} = \sum_{i,j} w_{ki} d_{kij\tau}^{norm} \right), \quad (7)$$

де  $w_{ki}$  – вагові коефіцієнти, які визначають важливість урахування вейвлет-коефіцієнтів смуг частот АЧЧС  $i$ -го вібросигналу в рівні вірогідності  $k$ -го нейрону.

Апріорі, вагові коефіцієнти визначаються так:

- для першого, другого, п'ятого та шостого нейронів вони приймаються однаковими і дорівнюють 1, тобто

$$\forall i = 1, 4 \wedge (k = 1 \vee k = 2 \vee k = 5 \vee k = 6) \Rightarrow (w_{ki} = 1); \quad (8)$$

- для третього нейрона (дефекти турбінного підшипника) пріоритетним доцільно вважати АЧЧС вібросигналів, отриманих від вібросенсорів ВД1 та ВД2 (встановлених на турбінному підшипнику), тому

$$(i = 1 \vee k = 2) \wedge (k = 3) \Rightarrow (w_{ki} = 1), \quad (9)$$

а для АЧЧС вібросигналів, отриманих від вібросенсорів ВД3 та ВД4 (встановлених на опорно-упорному підшипнику) доцільно ввести знижені вагові коефіцієнти (наприклад, 0.5), тобто

$$(i = 3 \vee k = 4) \wedge (k = 3) \Rightarrow (w_{ki} = 0.5); \quad (10)$$

- аналогічно, для четвертого нейрона можна записати

$$(i = 3 \vee k = 4) \wedge (k = 4) \Rightarrow (w_{ki} = 1), \quad (11)$$

$$(i = 1 \vee k = 2) \wedge (k = 4) \Rightarrow (w_{ki} = 0.5). \quad (12)$$

4. В процесі експлуатації САДП-РДГ випадки перевищення припустимих віброзміщень будуть час від часу повторюватися, тому передбачено накопичення та усереднення отриманих показників вірогідності кожного нейрона, тобто за певний проміжок часу  $t$

$$PV_{kt} = \frac{\sum PV_{k\tau}}{N_t}, \quad (13)$$

де  $N_t$  – кількість випадків перевищення припустимого віброзміщення за час  $t$ .

5. Таким чином, можна сформуувати множину показників вірогідності всіх нейронів третього шару ШНМ  $\{PV_{1t}, PV_{2t}, PV_{3t}, PV_{4t}, PV_{5t}, PV_{6t}\}$ .

Аналізуючи вищенаведені вирази неважко помітити, що абсолютні значення показників вірогідності будуть досить малими і це викличе певні незручності при їх аналізі. Тому доцільно ввести відносний рівень вірогідності  $RV_{kt}$  за формулою:

$$RV_{kt} = \frac{PV_{kt}}{\max(PV_{1t}, PV_{2t}, PV_{3t}, PV_{4t}, PV_{5t}, PV_{6t})}, \quad (14)$$

6. Нарешті, ми можемо перейти до формулювання діагностичного висновку. При цьому слід пам'ятати, що причиною вібрації є одночасна дія усіх без винятку чинників, тому мова може йти лише про встановлення деякої ієрархії небезпеки цих чинників для гідроагрегату в поточний момент часу.

Відзначимо, що рівень вірогідності  $RV_{kt}$  є, хоча і дуже важливою, але не єдиною діагностичною ознакою, які враховуються при формулюванні діагностичного висновку.

Так, наприклад, якщо в якийсь момент часу  $\tau$ , неприпустимі значення віброзміщення містяться лише у вібросигналах, отриманих від ВД1 та ВД2, а у двох інших вібросигналах вони цілком припустимі, то можна зробити висновок про переважаючу небезпеку дефектів саме турбінного підшипника і прийняти для нього  $RV_{kt} = 1$ .

У випадку, якщо неприпустимі значення віброзміщення містяться лише у вібросигналах, отриманих від ВД3 та ВД4, а у двох інших вібросигналах вони цілком припустимі, то можна зробити висновок про переважаючу небезпеку дефектів саме опорно-упорного підшипника і прийняти для нього  $RV_{kt} = 1$ .

Якщо ж неприпустимі значення віброзміщення містяться в усіх вібросигналах, то ситуація стає неоднозначною і потребує більш детального аналізу. Розглянемо це на прикладах, отриманих за допомогою програми, реалізованої за алгоритмом, наведеним вище.

#### Формування попередніх діагностичних висновків

На рис. 2 зображений переріз АЧЧС (визначеним за допомогою ДВП з  $k = 2$ ) вібросигналу від ВД1, який відповідає надмірному віброзміщенню в момент часу  $\tau_1$ .

З цього перерізу видно різкий стрибок спектральних характеристик 6-ої та 7-ої смуг частот. Згідно експертній інформації, це свідчить про переважаючу небезпеку невірноваженості ротора, і тому для цього чинника можна встановити  $RV = 1$ .

Більш складною є ситуація, зображена на рис. 3 (момент часу  $\tau_2$ ).

Тут помітні стрибки на 5-ій, 6-ій і 9-ій смугах частот. Це вказує на гідродинамічні та електродинамічні чинники, а також на порушення жорсткості опорної системи і на дефекти підшипників.

Цікавим є і наступний переріз АЧЧС вібросигналу від ВД2, зображений на рис. 4 (момент часу  $\tau_3$ ). На ньому можна спостерігати дуже різкий стрибок на п'ятій смузі частот, що свідчить про субгармонійну спектральну складову, яка виникає при порушеннях гідродинаміки потоку та порушеннях жорсткості опорної системи.

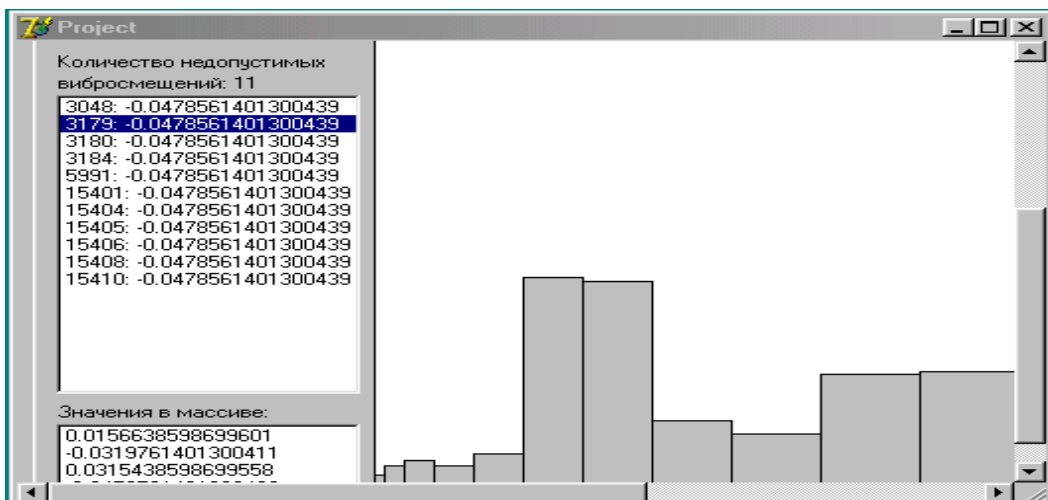


Рисунок 2 – Переріз АЧЧС вібросигналу від ВД1 в момент часу  $\tau_1$

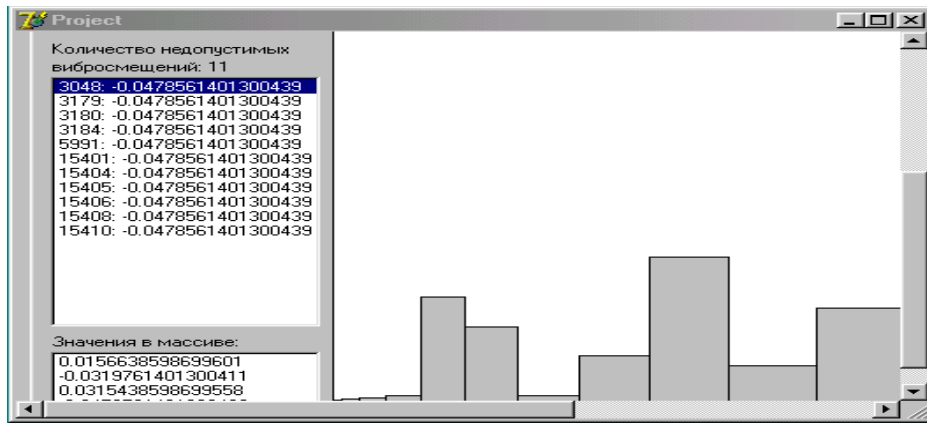


Рисунок 3 – Переріз АЧЧС віброцигналу від ВД1 в момент часу  $\tau_2$

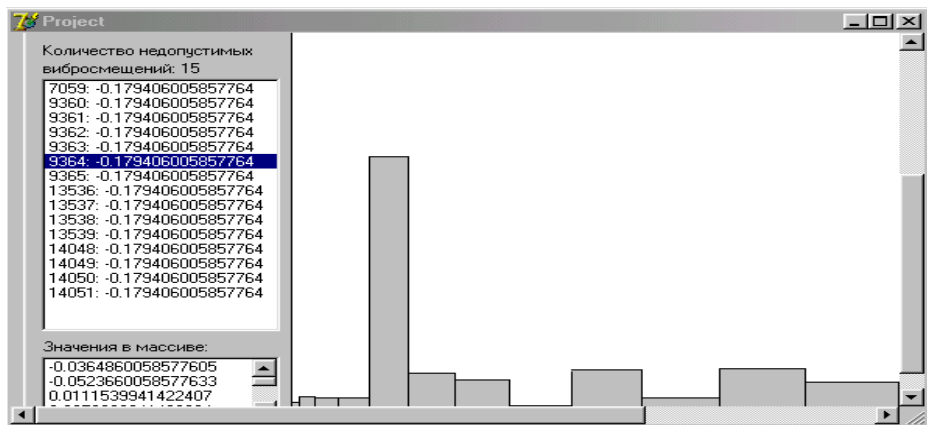


Рисунок 4 – Переріз АЧЧС віброцигналу від ВД2 в момент часу  $\tau_3$

На рис. 5 показаний переріз АЧЧС віброцигналу від ВД3, який встановлений на опорно-упорному підшипнику (момент часу  $\tau_4$ ).

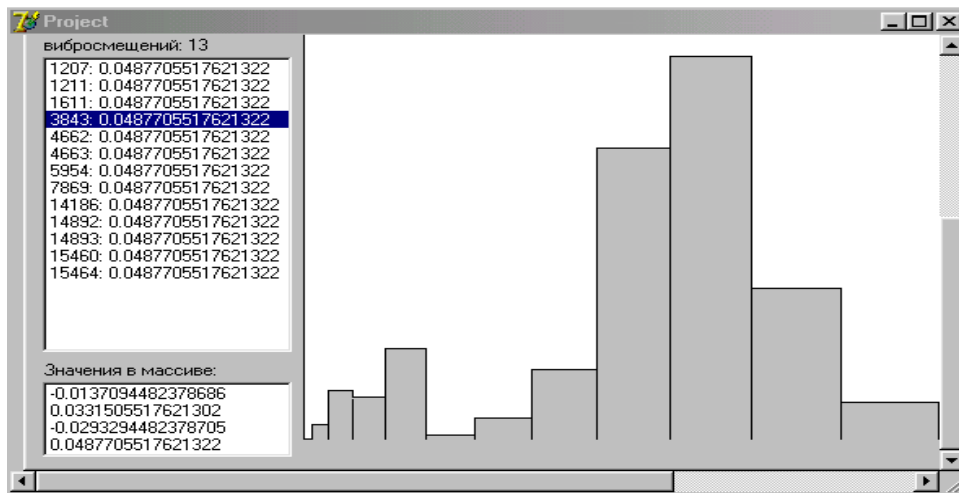
На ньому ми бачимо найбільші спектральні складові на 9-ій та 10-ій смугах. В цих смугах містяться лопаткові частоти і частоти пов'язані з кавітацією, тобто тут явно має місце порушення гідродинаміки потоку.

Таким чином, результуючий діагностичний висновок може бути сформульований як множина значень рівнів вірогідності різних чинників вібрації  $\{RV_{1t}, RV_{2t}, RV_{3t}, RV_{4t}, RV_{5t}, RV_{6t}\}$ .

Зупинимося окремо на проблемі настроювання ШНМ.

Кожний гідроагрегат є виключно складною електрогідромеханічною системою і його вібраційні характеристики містять багато індивідуальних особливостей. Це означає, що експертне визначення його множин номерів смуг частот  $Q_k$  і вагових коефіцієнтів  $w_{ki}$  до початку дослідної експлуатації САДП-РДГ може бути лише дуже приблизним.



Рисунок 5 – Переріз АЧЧС вібро сигналу від ВДЗ в момент часу  $\tau_4$ 

Тому представляється доцільною така стратегія настроювання:

- протягом дослідної експлуатації САДП-РДГ щодобово архівується інформація про множини значень рівнів вірогідності різних чинників вібрації  $\{RV_{1t}, RV_{2t}, RV_{3t}, RV_{4t}, RV_{5t}, RV_{6t}\}$  і про перерізи  $S_{\tau}(M)$ , що відповідають усім випадкам надмірного віброзміщення;
- під час кожного чергового або позачергового технічного огляду гідроагрегату відповідальними особами обслуговуючого персоналу ГЕС (які в цьому випадку виконують функцію експертів) визначається рівень зношеності основних вузлів гідроагрегату;
- далі особа, яка має відповідати за функціонування САДП-РДГ, порівнює висновки експертів щодо наявних дефектів гідроагрегату з архівними даними рівнів вірогідності різних чинників вібрації  $\{RV_{1t}, RV_{2t}, RV_{3t}, RV_{4t}, RV_{5t}, RV_{6t}\}$  та перерізами  $S_{\tau}(M)$ , і приймає рішення щодо уточнення множин номерів смуг частот  $Q_k$  і вагових коефіцієнтів  $w_{ki}$ .

#### Висновки

1. Для діагностування дефектів гідроагрегату запропонована тришарова ШНМ, основною вхідною інформацією для якої є АЧЧС віброакустичних сигналів гідроагрегату.
2. Виключна складність гідроагрегату як динамічної гідроелектромеханічної системи обумовлює значну невизначеність апріорних експертних оцінок щодо залежності АЧЧС віброакустичних сигналів від чинників, які викликають вібрацію.
3. Тому процедури настроювання ШНМ повинні проводитися протягом усього часу дослідної експлуатації САДП-РДГ.

#### Список літератури

1. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / Ширман А.Р., Соловьев А.Б. – Москва, 1996. – 276 с.
2. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. – Л.: АО ВАСГ, 1997. – 170 с.
3. Пакет прикладных программ для диагностирования и прогнозирования состояния подшипников качения. Инструкция по эксплуатации. Части 3,4. Изд. АО ВАСГ, г. Санкт-Петербург, 1992г.
4. Воронцов О.Г. Розробка методу віброакустичної діагностики тихохідних роторних машин / Воронцов О.Г., Дегтяренко І. В. // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк: РВА ДонДТУ – 2002 – Вип. 41. – с.212-215.
5. Воронцов О.Г. Метод повышения достоверности вибродиагностики роторных машин по комплексу диагностических параметров / Воронцов О.Г. // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. – Донецьк: РВА ДонДТУ – 2002 – Вип. 38. – с.250-256.

6. Кухарчук В.В. Система автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідрогенераторів / Кухарчук В.В., Каців С.Ш., Говор І.К., Мадьяров В.Г., Ніколаєв В.Я., В.Л. Маліцький // Вісник Інженерної Академії України. – 2009 – №2. – с.126-132.
  7. Кухарчук В.В. Аналіз вібросигналів гідроагрегату за допомогою дискретного вейвлет-перетворення з коефіцієнтом стискання 2 / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, І. К. Говор, С. О. Биковський // Вісник Інженерної Академії України. – 2011. – №1. – с. 124-129.
  8. Кухарчук В.В. Дослідження результатів дискретного вейвлет-перетворення вібросигналу при коефіцієнті стискання 2 та різних материнських вейвлетах / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. Г. Мадьяров, С. О. Биковський // Вісник Інженерної Академії України. – 2011. – №2. – с. 66-69.
  9. Кухарчук В.В. Порівняльний аналіз результатів дискретного вейвлет-перетворення вібросигналів з довільними цілими коефіцієнтами стискання / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, І. К. Говор, С. О. Биковський // Вісник Інженерної Академії України. – 2011. – №2. – с. 172-176.
  10. Тарасов А.А. Физические процессы в гидрогенераторах с реактивной турбиной [Электронный ресурс] / Тарасов А.А. // Режим доступа : <http://diamech.ru/notes03112009.html>
  11. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Осовский С., пер. с польск. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с., ил. – ISBN 5-279-02567-4.
  12. Зажицкий А. В. Классификация состояния объекта виброакустической диагностики с использованием нейротехнических структур / Зажицкий А. В., Бурау Н. И., Тяпченко А. Н. // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Харків, 2002. – Вип. 31. – с. 181-185.
  13. Зажицкий О. Аналіз ефективності розпізнавання технічного стану об'єкту віброакустичної діагностики нейронними мережами / Олександр Зажицький, Надія Бурау // *Методи та прилади контролю якості*. – 2003. – № 11. – с. 21-26.
- Стаття надійшла: 12.09.2012.

#### Відомості про авторів

**Каців Самоїл Шулімович** – к. т. н., доц., доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, тел. (0432) 598444, [kaciv@ineeem.vntu.edu.ua](mailto:kaciv@ineeem.vntu.edu.ua), Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.