
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 681.518.3

В.В. КУХАРЧУК, С.Ш. КАЦИВ, В.Г. МАДЬЯРОВ

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ДЕФЕКТІВ ГІДРОАГРЕГАТІВ

*Вінницький національний технічний університет
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
E-mail: kaciv@ineem.vntu.edu.ua*

Анотація. В роботі розглянуті основні засади, на яких ґрунтується штучна нейронна мережа, яка призначена для автоматизованого діагностування дефектів гідроагрегатів та прогнозування їх розвитку. Наводиться одна з можливих загальних структур такої мережі.

Аннотация. В работе рассмотрены основные положения, на которых базируется искусственная нейронная сеть, предназначенная для автоматизированного диагностирования дефектов гидроагрегатов и прогнозирования их развития. Приводится одна с возможных общих структур такой сети.

Abstract. In the robot the considered basic rules, on which is based artificial neuronets intended for automated diagnosing of defects of hydrounits and forecasting of their development. One is resulted from possible general structures of such network.

Ключові слова: діагностування, прогнозування, дефекти гідроагрегату, штучна нейронна мережа.

Ключевые слова: диагностирование, прогнозирование, дефекты гидроагрегата, искусственная нейронная сеть.

Keyword: diagnosing, forecasting, defects of hydrounits, artificial neuronets.

ВСТУП

Система автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегату (САДП-РДГ) є апаратно-програмним комплексом [1], який складається з двох підсистем – підсистеми поточного моніторингу вібрацій та підсистеми діагностування та прогнозування, структурна схема якої зображена на рис.1.



Рис.1. Підсистема діагностування і прогнозування дефектів гідроагрегату

Однією з головних складових частин цієї підсистеми є комп'ютерна нейронна мережа.

Основною причиною необхідності застосування нейромережної технології є виключна складність гідроагрегату як динамічної гідроелектромеханічної системи і практичної неможливості математичного опису залежності віброакустичного сигналу від всіх чинників, які викликають вібрацію.

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

Штучна нейронна мережа (ШНМ) дозволяє реалізувати різні типи інформаційних моделей об'єкта, а саме: моделювання відгуку системи на зовнішні впливи; класифікація внутрішніх станів системи; прогноз динаміки зміни системи; порівняльна інформаційна значимість параметрів системи; оптимізація параметрів системи відносно заданої функції цінності; адаптивне управління системою.

Для функціонування САДП-РДГ в її ШНМ мають бути реалізовані другий і третій з вищенаведених типів інформаційних моделей об'єкта.

Найбільш поширеними типами ШНМ, що використовуються при моделюванні складних технічних систем є мережі Кохонена, перцептрони, ймовірнісні та нечіткі ШНМ, нейронні мережі адаптивної резонансної теорії (ШНМ АРТ) тощо [2, 3].

ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ, ЯКА НАДХОДИТЬ В ШНМ

Для побудови ШНМ необхідно спочатку визначити – яка інформація може надходити на вхід ШНМ і що ми бажаємо отримати в результаті її функціонування.

Нагадаємо, що складовою частиною САДП-РДГ є 4 вимірювальних канали ВКВ-1 – ВКВ-4, які забезпечують отримання віброакустичних сигналів (віброприскорення) від вібросенсорів (акселерометрів).

Ці вібросенсори розташовані таким чином:

- вібросенсори ВД1, ВД2 вимірювального каналу ВКВ-1 встановлені по радіальним вертикальному і горизонтальному напрямкам на турбінному підшипнику гідроагрегату;
- вібросенсори ВД3, ВД4 вимірювального каналу ВКВ-2 по тим же напрямкам на опорно-упорному підшипнику;
- вібросенсори ВД6, ВД7 вимірювального каналу ВКВ-3 встановлено в радіально вертикальному напрямку на корпусах вентиляторів;
- вібросенсор ВД5 вимірювального каналу ВКВ-4 встановлено в радіально вертикальному напрямку на маслоприймачі гідроагрегату.

Додатково до віброакустичних сигналів САДП-РДГ отримує дані про струм навантаження та частоту обертів гідроагрегата, а також рівень води у водосховищі.

Ці дані надходять до підсистеми поточного моніторингу САДП-РДГ, звідки, після первинної обробки (переведення віброприскорення у віброзміщення), передаються у підсистему діагностування та прогнозування.

Відзначимо, що вентилятори та маслоприймач є відносно простими механічними системами в порівнянні з гідроагрегатом, тому цілком достатньо контролювати в системі поточного моніторингу їх віброзміщення і передавати їх вібросигнали немає потреби, що приводить до деякого спрощення ШНМ.

Кожен з отриманих віброакустичних сигналів за допомогою дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) розкладається в амплітудно-частотно-часовий спектр (АЧЧС) [4 – 6].

Отже, на вхід ШНМ мають надходити такі дані:

- всі значення віброзміщення, що перевищують припустиму норму, по кожному із 4 вібросенсорів (ВД1 – ВД4) за певний інтервал часу з часовою фіксацією цих значень;
- амплітудно-частотно-часові спектри, що відповідають кожному з вищезгаданих віброакустичних сигналів за цей же інтервал часу;
- значення струму навантаження гідрогенератора за цей же інтервал часу з часовою фіксацією;
- значення рівня води за цей же інтервал часу з часовою фіксацією.

Діагностичний блок САДП-РДГ повинен спрацьовувати тоді, коли максимум віброзміщення хоча б для одного вібросигналу перевищує допустиме значення (160 мкм).

В цьому випадку мають бути визначені ті смуги частот у відповідній МВК, вейвлет-коефіцієнти яких є найбільшими в спектрі і на основі цієї інформації треба діагностувати одну чи декілька причин виникнення неприпустимого віброзміщення;

Розглянемо це питання детальніше.

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВИКЛИКАЮТЬ ВІБРАЦІЮ ГІДРОАГРЕГАТА

Причинами виникнення небезпечної вібрації гідроагрегату можуть бути [7]:

Неврівноваженість ротора. Неврівноваженістю ротора називають такий стан ротора, при якому під час обертання виникають відцентрові сили і моменти, що викликають змінні

навантаження на опори ротора і його вигин. Неврівноваженість ротора можуть викликати джерела механічного походження, гідродинамічного тощо. При неуврівноваженості ротора та відсутності інших розвинутих дефектів агрегату в багатьох випадках вібросигнал є періодичним або майже періодичним, із періодом коливань, що відповідає частоті обертання ротора $f_r = 1.785$ Гц. Ця складова впливає на 4-у смугу АЧЧС при $k = 3$ і одночасно на 6-у та 7-у смуги при $k = 2$.

Порушення жорсткості опорної системи. В цьому класі дефектів прийнято об'єднувати ті, що призводять до нерозрахованої зміни жорсткості опорної системи і підвищенню вібрації устаткування. З появою дефектів цієї групи вібрація іноді може багаторазово перевищувати припустимі значення.

Вплив жорсткості опорної системи на вібрацію очевидний. Амплітуда вібрації обернено пропорційна динамічній жорсткості

$$A = P_0 C_d^{-1}, \quad (1)$$

де A – амплітуда вібрації; C_d – динамічна жорсткість, P_0 – амплітуда сили.

Істотно знижується динамічна жорсткість в області резонансу. При резонансі навіть невеличкі сили призводять до надмірної вібрації опор. Для усунення цієї проблеми необхідна налагодження опорної системи від резонансу зміною її жорсткості, звичайно убик збільшення, або маси.

Нелінійна жорсткість опор характеризується порушенням пропорційності між силою і деформаціями. Внаслідок нелінійності навіть при впливі гармонійної сили порушення і гармонійних переміщеннях вала опорна реакція може мати складний спектр, що містить різні гармоніки оборотної частоти (f_r). Це означає, цей дефект впливає на смуги середньочастотного діапазону, тобто на 5-у та 6-у при $k = 3$ і з 7-ї по 10-у при $k = 2$.

Окрім звичайних гармонік, в спектрі вібросигналу при порушенні жорсткості можуть спостерігатися і так звані *субгармонійні* коливання. Субгармонійні коливання мають частоту, у ціле число разів меншу частоти обертання, при цьому переважають коливання з половиною частотою $\frac{f_r}{2} = 0.89$ Гц, що відповідає 4-ій смузі АЧЧС при $k = 3$ і 6-ій смузі при $k = 2$.

Дефекти підшипників. Турбінний підшипник є підшипником ковзання і причини його виходу з ладу можна умовно розділити на дві групи:

- низькочастотна вібрація підшипників, що виникає внаслідок втрати динамічної усталеності обертання ротора і порушення умов мастила;
- вібрація, пов'язана з дефектами виготовлення, складання й експлуатації підшипників ковзання, що включають різноманітні дефекти складання і підгонки підшипників і відхилення їхніх геометричних розмірів від номінальних, експлуатаційний знос підшипників тощо.

Характерні риси вібрації при зародженні і розвитку дефектів підшипників ковзання можуть бути дуже різними і залежать від багатьох чинників. Основні з них: розмір і місце прикладення сил, перерозподіл реакцій, навантаженість опор, якість та умови роботи мастильного прошарку в підшипниках, частота обертання ротора, ступінь розвитку дефектів підшипників тощо. У вібраційному сигналі можуть бути присутнім коливання з частотою обертання ротора, можливо її гармоніками, субгармоніками і дрібними гармоніками, некратна частоті обертання ротора тощо.

Таким чином ці дефекти проявляються в смугах частот низькочастотного і середньочастотного діапазонів.

Порушення гідродинаміки потоку. Джерелами вібрації в цих випадках є: турбулентність потоку, яка створює випадкові пульсації тиску; вихроутворення, що виникають навколо лопаток гідротурбіни; гідродинамічна неуврівноваженість робочого колеса; кавітації в потоку рідини тощо.

Досить часто на крайках лопат у потоці виникають вихори, які призводять до випадкових пульсацій тиску, що викликає коливання корпусів і робочих лопаток. Пульсації тиску, що викликаються вихроутворенням потоку в області робочого колеса, які виникають внаслідок порушення форми лопаток робочого колеса, призводять до небезпечних резонансних низькочастотних коливань опорної частини цього агрегату.

Неоднорідність потоку в проточній частині – одне із найбільш характерних і інтенсивних джерел гідродинамічних коливань. Причина цих коливань – нерівномірність поля швидкостей і тисків по кроку між лопатками колеса. За частотним складом пульсації цих сил є складними коливаннями, що містять компоненти на частоті обертання ротора, лопаткової частоті і їх гармоніках, а також бічні частоти навколо лопаткових частот. Ці імпульси тиску носять гармонійний характер. Частота проходження лопаткових імпульсів залежить від частоти обертання ротора та числа лопаток

робочого колеса. У найпростішому випадку вона визначається за формулою

$$f_{\text{л}} = z_{\text{л}} f_{\text{р}}, \quad (2)$$

де $z_{\text{л}}$ – кількість робочих лопаток колеса, $f_{\text{л}}$ – лопаткова частота, $f_{\text{р}}$ – частота обертання ротора.

Оскільки $f_{\text{р}} = 1.785$ Гц, $z_{\text{л}} = 4$, то $f_{\text{л}} = 4 \cdot 1.785 = 7.156$ Гц, що відповідає 6-ій смузі АЧЧС при $k = 3$ і 9-ій смузі при $k = 2$.

Специфічним джерелом коливань агрегату є кавітація, що виникає при місцевому зниженні тиску в тих областях потоку де швидкість її досягає максимального значення, тобто при обтіканні тіл або в районі ядер вихорів. Вібрація при кавітації носить випадковий характер, коливання лежать в області середніх і високих частот і можуть бути великі за значенням. У випадку збігу власних частот коливань робочих лопаток або деталей насоса з частотами коливань, що виникають при кавітації, особливо при малих подачах, можлива поява інтенсивних автоколивань лопаток і навіть ротора, що надзвичайно небезпечно і може призвести до швидкої руйнації агрегату.

Характерною особливістю вібраційного процесу в гідроагрегаті є суттєва залежність від рівня води у водосховищі.

Якщо рівень води дуже низький, значно зменшується ламінарність потоку води і поряд із вібраціями на лопатковою частотою, сильно зростає низькочастотна вібрація, що у край небезпечна. Інфразвукові коливання часто викликають резонанси значних частин і деталей агрегату, що швидко руйнують агрегат у цілому.

Вібрації електромагнітного походження. У електричних машинах присутні два основних види сил порушення вібрацій електромагнітного походження:

- радіальні сили, що виникають при тимчасових і просторових змінах магнітного поля в повітряному зазорі між ротором і статором;
- тангенціальні сили, що виникають при взаємодії магнітного поля з лінійним струмовим навантаженням машини.

Характер цих сил визначається зміною МДС обмоток і магнітної провідності повітряного зазору машин, тобто індукцією магнітного поля і лінійним струмовим навантаженням в обмотках машини. При цьому електромагнітні сили можуть викликати значні деформації магнітного осердя, збуджуючи просторові коливання статора і вигин ротора. Джерела електромагнітних сил розподілені в просторі і не мають конкретної точки прикладання.

Вібрація електромагнітного походження має загальну властивість: її рівень стрибкоподібно падає при відключенні машини від мережі в момент початку зупинки. Розмір стрибка вібрації стосовно її вихідного розміру говорить про “внесок” механічних і електромагнітних дефектів у загальний розмір вібрації.

При виникненні дефектів електромагнітного походження, у відсутності інших дефектів машини, рівень випадкової вібрації (шумовий компоненти) практично не змінюється, а високочастотні гармонійні складові, як правило, мають порівняно невеликі значення.

Для більш зручного аналізу зведемо залежність спектральних складових вібрисигналу від чинників, що викликають вібрацію в таблицю 1.

Таблиця 1.

Залежність смуг частот від чинників вібрації

Назва чинника, що викликає вібрацію	Номера смуг частот АЧЧС, на які він впливає	
	Для $k = 2$	$k = 3$
Неврівноваженість ротора.	6, 7	4
Порушення жорсткості опорної системи	5 – 10	4 – 6
Дефекти підшипників.	1 – 10	1 – 6
Порушення гідродинаміки потоку.	1 – 9	1 – 6
Вібрація електромагнітного походження	6 – 10	4 – 6

УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Оскільки вхідні дані що надходять до ШНМ є числовими масивами різної довжини, а на виході

необхідно отримати висновки двох різних типів, то ми маємо створити *неоднорідну нестандартну* нейронну мережу.

Незалежно від кількості внутрішніх шарів нейронної мережі та алгоритмів обробки даних її загальна структура має вигляд (рис. 2).

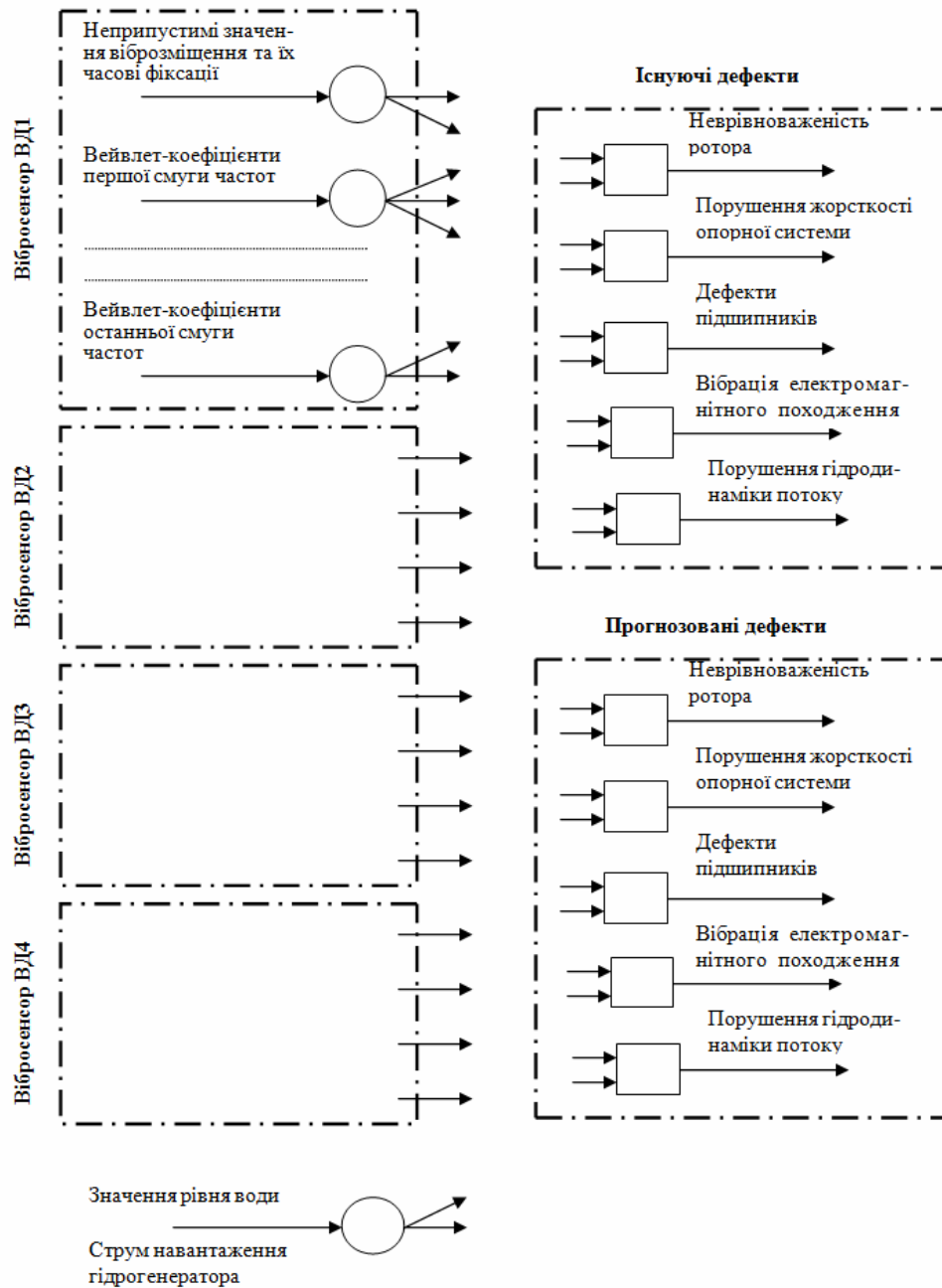


Рис. 2. Загальна структура ШНМ САДП-РДГ

ВИСНОВКИ

На вейвлет-коефіцієнти кожної смуги частот впливають різні дефекти гідроагрегату, тому однозначні висновки без застосування ШНМ неможливі.

Вхідні дані що надходять до ШНМ є числовими масивами різної довжини і природи, тому ШНМ буде неоднорідною і нестандартною.

Виключна складність гідроагрегату як динамічної гідроелектромеханічної системи роблять процедури навчання та самонавчання ШНМ досить складними, тому передбачається їх застосування протягом дослідної експлуатації САДП-РДГ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарчук В.В., Каців С.Ш., Говор І.К., Ніколаєв В.Я., Мадьяров В.Г. Система автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідрогенераторів // Вісник Інженерної Академії України. – 2009, №2. – С.126-132.
2. 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.
3. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере. / Горбань А.Н., Россиев Д.А. – Новосибирск: Наука, 1996. – 276 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / Ширман А.Р., Соловьев А.Б. – Москва, 1996. – 276 с.

Надійшла до редакції 17.03.2012р.

КУХАРЧУК В.В. – д.т.н., проф., завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

КАЦИВ С.Ш. – к.т.н., доц., доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна