

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 681.518.3:621.311.214

В. Ф. Граняк¹
С. Ш. Каців¹
В. В. Кухарчук¹**РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТІВ
ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЇ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ
ГІДРОАГРЕГАТУ ВІД ЙОГО НАВАНТАЖЕННЯ**¹Вінницький національний технічний університет

Досліджено залежності коефіцієнтів взаємкореляції, які використовуються як вагові коефіцієнти штучної нейроподібної мережі, від навантаження гідроагрегату. Необхідність застосування такої мережі пояснюється виключною складністю гідроагрегату як динамічної гідроелектромеханічної системи і практичною неможливістю математичного опису залежності віброакустичного сигналу від усіх чинників, які викликають вібрацію. Тому має сенс розглядати гідроагрегат як «чорну скриньку», тобто моделювати не його структуру, а зовнішнє функціонування. Вхідною інформацією для штучної нейроподібної мережі є амплітудно-частотно-часові спектри (АЧЧС) вібросигналів.

Вагові коефіцієнти визначаються для кожної смуги частот АЧЧС і визначають важливість урахування вейвлет-коефіцієнтів смуг частот вібросигналів в рівні вірогідності кожного нейрона.

Показано ефективність визначення вагових коефіцієнтів як коефіцієнтів взаємкореляції смуг частот АЧЧС вібросигналів, одночасно отриманих від різних сенсорів. Для цього гідроагрегат спрощено можна представити як відносно стаціонарну розподілену квазілінеаризовану нерозривну пружну систему зі змінними у просторі коефіцієнтами жорсткості. Іще однією особливістю гідроагрегату є дія на нього просторово рознесених некомпенсованих механічних сил різної природи, амплітуди та векторного напрямку, що змінюються у функції часу довільним чином. У зв'язку зі стохастичним характером збуджувальних некомпенсованих сил гідроагрегат можна вважати стохастичною системою, тому існують взаємкореляційні зв'язки між реакціями вібросигналу у різних точках досліджуваної електричної машини. Цілком адекватною можна вважати гіпотезу про те, що використання коефіцієнтів взаємкореляції вібросигналів між рознесеними у просторі вузлами гідроагрегату разом з їх миттєвими амплітудами дозволить отримати масив даних, що міститиме у собі інформацію не лише про амплітуду збуджувальних впливів, а й їх просторову локалізацію, що може бути з доволі високою імовірністю пов'язана з причинами їх виникнення.

Ключові слова: штучна нейроподібна мережа, амплітудно-частотно-часовий спектр, смуга частот, чинник вібрації, показник вірогідності, коефіцієнт взаємкореляції, некомпенсована збуджувальна сила, ваговий коефіцієнт.

Вступ

Система автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів (САДП-РДГ) [1] базується на модифікованій частотній технології вібродіагностування і є апаратно-програмним комплексом, який складається з вимірювальних каналів вібрації, підсистеми поточного моніторингу вібрації та підсистеми діагностування і прогнозування. Вимірювальні канали вібрації та підсистема поточного моніторингу впроваджені у промислову експлуатацію на Дністровській ГЕС-2, а підсистема діагностування і прогнозування поетапно впроваджується в дослідну експлуатацію.

Основною підсистеми діагностування є тришарова штучна нейроподібна мережа (ШНМ). Кожний з отриманих від підсистеми поточного моніторингу віброакустичних сигналів за допомогою дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) розкладається в амплітудно-частотно-часовий спектр (АЧЧС).

системи у точці А на дію збурення у вигляді сили $F_1(t) \dots F_k(t)$, відповідно.

У такому випадку результуючий віброцигнал, що спостерігатиметься у точці А, може бути знайдений, виходячи з принципу суперпозиції $\psi_A(t) = \sum_{i=1}^k \psi_{Ai}(t) = \sum_{i=1}^k F_i(t) \cdot H_{Ai}(t)$.

Виходячи з аналогічних міркувань, для точки В залежність реакції віброцигналу від збурювальних сил запишеться у такому вигляді $\psi_B(t) = \sum_{i=1}^k \psi_{Bi}(t) = \sum_{i=1}^k F_i(t) \cdot H_{Bi}(t)$, а залежність кожної реакції

системи у точці В від реакції системи у точці А матиме вигляд $\psi_{Bi}(t) = \frac{H_{Bi}(t)}{H_{Ai}(t)} \psi_{Ai}(t)$.

Звідси загальна реакція системи у точці В визначатиметься, як

$$\psi_B(t) = \sum_{i=1}^k \frac{H_{Bi}(t)}{H_{Ai}(t)} \psi_{Ai}(t). \quad (3)$$

Аналогічним чином можуть бути пов'язаними між собою й інші точки, що належать ОК.

Оскільки, у зв'язку з стохастичним характером збуджувальних некомпенсованих сил $F_1(t) \dots F_k(t)$ розглянутий ОК можна вважати стохастичною системою, наведені вирази є теоретичним обґрунтуванням наявності взаємкореляційних зв'язків між реакціями віброцигналу в різних точках досліджуваної електричної машини.

Суттєвою проблемою у використанні запропонованого підходу є отримання миттєвих значень коефіцієнтів взаємкореляції. Оскільки, вібраційні процеси у контрольованих вузлах електричної машини мають випадковий характер, для точної оцінки лінійного зв'язку між двома величинами $\psi_A(t)$ та $\psi_B(t)$ мав би застосовуватися такий вираз:

$$K_{\psi}(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (\psi_1 - m_A(t_1)) (\psi_2 - m_B(t_2)) \cdot f(\psi_1, \psi_2, t_1, t_2) d\psi_1 d\psi_2, \quad (4)$$

де $m_A(t_1)$, $m_B(t_2)$ — математичні очікування функцій $\psi_A(t)$ та $\psi_B(t)$ у моменти часу t_1 та t_2 , відповідно; $f(\psi_1, \psi_2, t_1, t_2)$ — двовимірна густина імовірності випадкового процесу $\psi(t)$, що зумовлює появу віброцигналів у вузлах А та В.

В свою чергу, $f(\psi_1, \psi_2, t_1, t_2) = \frac{\partial^2 F(\psi_1, \psi_2, t_1, t_2)}{\partial \psi_1 \partial \psi_2}$, де $F(\psi_1, \psi_2, t_1, t_2)$ — двовимірна функція розподілу ймовірностей випадкового процесу $\psi(t)$, яка задає значення ймовірності того, що у момент часу t_1 виконується нерівність $\psi_A \leq \psi_1$, а у момент часу t_2 виконується нерівність $\psi_B \leq \psi_2$, тобто

$$F(\psi_1, \psi_2, t_1, t_2) = P(\psi_A(t_1) \leq \psi_1, \psi_B(t_2) \leq \psi_2). \quad (5)$$

Враховуючи особливість ОК, коефіцієнт автокореляції між сигналами $\psi_A(t)$ та $\psi_B(t)$ доцільно визначати для того ж самого моменту часу $t_1 = t_2$, тобто $K_{\psi}(t_1, t_2) = K_{\psi}(t_1)$.

За стаціонарних збурювальних зовнішніх впливів $F_1(t) \dots F_k(t)$ сигнали $\psi_A(t)$ та $\psi_B(t)$ можна вважати ергодичними, тому після низки перетворень шуканий квазімиттєвий коефіцієнт взаємкореляції може бути розрахований як $K_{\psi}^*(t_1) = \frac{1}{T} \int_0^T (\psi_A^*(t_1)) (\psi_B^*(t_1)) dt_1$, а для дискретних часових реалізацій, з урахуванням відомого рівняння Пірсона, можна записати

$$K_{\psi}^*(t_1) = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^* \psi_{Bi}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^{*2} \cdot \sum_{i=1}^n \psi_{Bi}^{*2}}}, \quad (6)$$

де ψ_{Ai}^* та ψ_{Bi}^* — i -ті значення часових реалізацій функцій $\psi_A(t)$ та $\psi_B(t)$.

Алгоритм визначення коефіцієнтів взаємкореляції

На основі вищенаведеної математичної моделі розроблено алгоритм визначення коефіцієнтів взаємкореляції, блок-схема якого показана рис. 2.

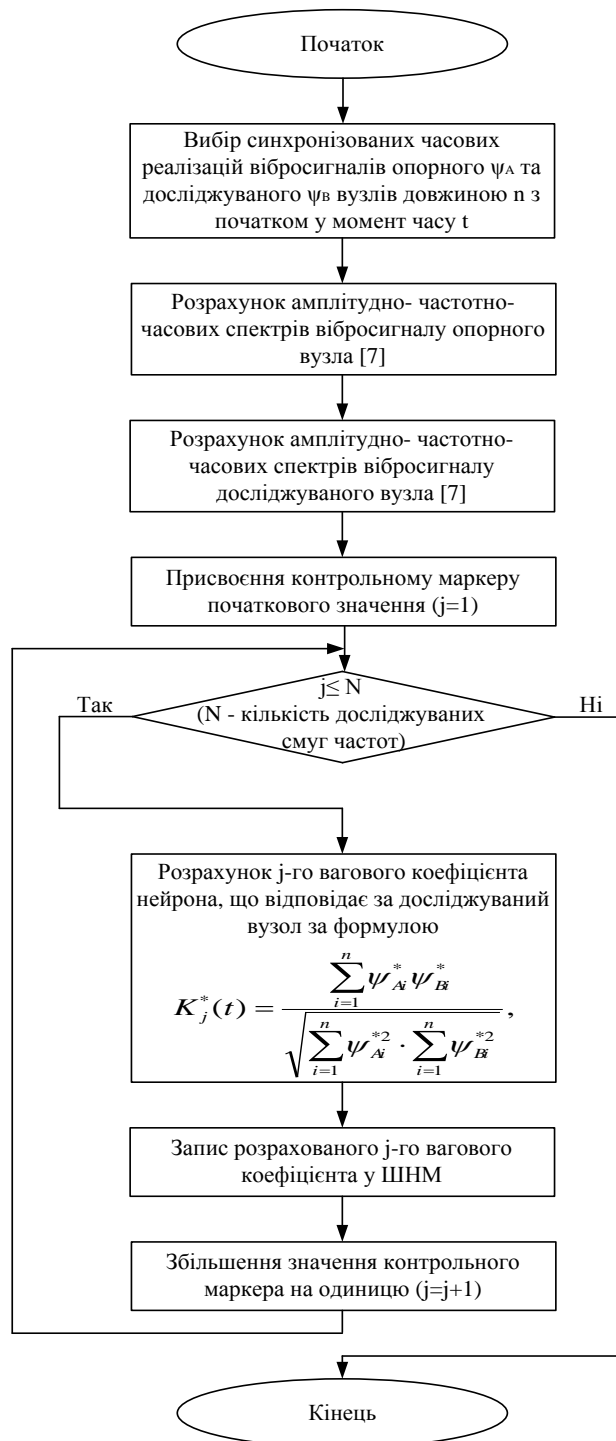


Рис. 2. Блок-схема алгоритма визначення коефіцієнтів взаємкореляції

Вищенаведений алгоритм реалізовано на прикладі реальних архівних значень вібросигналів, отриманих від сенсорів, які встановлені на опорно-упорному та турбінному підшипниках першого гідроагрегата Дністровської ГЕС-2 у режимі його промислової експлуатації.

Результати експериментальних досліджень

Матриці вейвлет-коефіцієнтів АЧЧС розраховані за допомогою дискретного вейвлет-перетворення [7] для архівних значень вібросигналів за однакові проміжки часу для кожного з вібросенсорів, встановлених на турбінному і опорно-упорному підшипниках по горизонтальній та вертикальній осі. Необхідні стеки архівних даних вибрані для значень навантаження гідрогенератора 6,1 МВт та 3,7 МВт.

Приклад такої матриці показано на рис. 3.

0,02069	-0,01008	0,00755	0,02031	0,02619	0,0103	0,01195	0,01467	-0,00045	0,00688	0,00964	0,01421	0,00
0,01728	-0,00119	-0,00327	0,02602	-0,02754	-0,01236	0,00052	-0,01992	0,00273	0,00361	0,01112	0,00858	-
0,01759	0,04836	-0,04893	0,11513	-0,1395	0,10373	-0,11438	-0,01685	0,14243	-0,20017	0,22514	-0,05899	-
-0,2419	-0,88442	0,06589	-0,08955	0,48909	-0,04607	-0,32788	0,78221	-0,47923	-0,19158	0,00955	0,46991	-
2,35352	-1,72711	1,82403	-4,58843	0,29455	0,87866	4,22881	-2,21588	-1,76549	-1,29282	5,94472	-4,36734	-
1,4979	4,5	2,05287	5,21291	6,14076	0,22188	1,95654	4,13263	-0,83317	0,24727	-1,03711	3,40606	3,30089
2,48321	-0,09981	2,56417	-1,93959	0,24257	3,86009	-0,96053	-0,73273	3,2154	-1,55479	-1,69598	1,57373	1
2,86545	3,79834	0,47512	-0,56832	1,7388	2,28785	5,46944	1,98003	1,29479	-3,25119	-5,9838	1,56397	3,53
-1,3988	2,69136	-3,18709	-1,3624	-0,40712	-0,13094	-3,04697	1,09537	3,42112	-0,46046	1,45545	1,09923	1,
-3,18812	-6,45123	-0,81392	4,88748	2,30427	-2,47239	1,54511	1,17681	3,70308	-0,57574	1,47907	1,09741	1
-3,08478	-6,54706	-0,78777	4,88343	2,30446	-2,47237	1,54511	1,17681					
-3,08466	-6,54704	-0,78777	4,88343									
-3,08466	-6,54704											
-3,08466												

Рис. 3. Приклад матриці вейвлет-коефіцієнтів АЧЧС для опорно-упорного підшипника (вісь Y, навантаження — 6,1 МВт)

Далі (згідно з алгоритмом рис. 2) коефіцієнти взаємкореляції визначалися для частотних смуг з третьою по чотирнадцяту. Причому для формування часових реалізацій третьою частотною смугою використано 4 послідовних значення, для четвертої — вісім, для решти — десять. Визначені на основі експериментальних даних коефіцієнти зведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1

Результати комп'ютерного моделювання (навантаження 6,1 МВт)

Місце отримання та вісь вхідних сигналів	Номер смуги частот											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Опорний підшипник, вісь Y — турбінний підшипник, вісь Y	0,821	0,707	0,73	0,953	0,703	0,879	0,693	0,527	0,64	0,754	0,53	0,699
Опорний підшипник, вісь Y — опорний підшипник, вісь X	0,851	0,83	0,862	0,864	0,846	0,794	0,683	0,699	0,763	0,849	0,64	0,68
Опорний підшипник, вісь X — турбінний підшипник, вісь X	0,642	0,658	0,612	0,688	0,606	0,846	0,753	0,688	0,585	0,816	0,668	0,57
Турбінний підшипник, вісь X — турбінний підшипник, вісь Y	0,625	0,524	0,691	0,877	0,905	0,741	0,831	0,765	0,781	0,641	0,634	0,29

Таблиця 2

Результати комп'ютерного моделювання (навантаження 3,7 МВт)

Місце отримання та вісь вхідних сигналів	Номер смуги частот											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Опорний підшипник, вісь Y — турбінний підшипник, вісь Y	0,908	0,6939	0,767	0,75	0,565	0,68	0,485	0,46	0,75	0,908	0,526	0,755
Опорний підшипник, вісь Y — опорний підшипник, вісь X	0,611	0,614	0,765	0,744	0,626	0,637	0,791	0,598	0,774	0,646	0,698	0,62
Опорний підшипник, вісь X — турбінний підшипник, вісь X	0,891	0,588	0,517	0,288	0,475	0,68	0,728	0,684	0,63	0,381	0,882	0,389
Турбінний підшипник, вісь X — турбінний підшипник, вісь Y	0,815	0,73	0,636	0,703	0,696	0,511	0,758	0,83	0,678	0,536	0,722	0,177

Аналіз результатів досліджень

У роботах [1] та [7] показано, що кожний рядок матриці вейвлет-коефіцієнтів АЧЧС відповідає певній смузі частот спектра.

Верхня межа спектра, згідно з теоремою Котельнікова–Шеннона, дорівнює половині частоти дискретизації вимірювальних каналів вібрації. Оскільки для вимірювальних каналів вібрації Дністровської ГЕС-2 частоти дискретизації складає 913,92 Гц, то верхня межа спектра — 456,96 Гц.

Коефіцієнт стискання дискретного вейвлет-перетворення, використаний під час наведеного дослідження, дорівнював 2, тому кожна наступна смуга частот удвічі ширша за попередню.

Довжина стека значень вібросигналу, який надходить від кожного вібросенсора складає 32768 значень, тому за алгоритмом дискретного вейвлет-перетворення кількість смуг частот в АЧЧС дорівнює 14.

В [1], [7] проведено розрахунок смуг частот АЧЧС в середовищі Excel, результати якого показані на рис. 4.

	A	B	C	D	E
1	Fd	Смуга частот	Ширини смуги	Початок смуги	Кінець смуги
2	913,92	1	0,027892327	0	0,027892327
3	dF	2	0,055784655	0,027892327	0,083676982
4	456,96	3	0,11156931	0,083676982	0,195246292
5	k	4	0,223138619	0,195246292	0,418384911
6	2	5	0,446277239	0,418384911	0,86466215
7	M	6	0,892554477	0,86466215	1,757216627
8	14	7	1,785108954	1,757216627	3,542325581
9		8	3,570217909	3,542325581	7,11254349
10		9	7,140435818	7,11254349	14,25297931
11		10	14,28087164	14,25297931	28,53385094
12		11	28,56174327	28,53385094	57,09559421
13		12	57,12348654	57,09559421	114,2190808
14		13	114,2469731	114,2190808	228,4660538
15		14	228,4939462	228,4660538	456,96

Рис. 4. Смуги частот АЧЧС вібросигналу гідроагрегата Дністровської ГЕС-2 з коефіцієнтом стиснення 2

Частота обертання ротора (генераторна частота) гідроагрегатів Дністровської ГЕС-2 дорівнює 1,785 Гц.

Як показано в [1], електродинамічні складові вібрації прямо пропорційні навантаженню гідро-генератора, а їх основний вплив зосереджений на генераторній частоті (f_r) та на найближчих до неї гармоніці ($2f_r$) та субгармоніці ($f_r/2$).

З рис. 4 видно, що генераторна частота міститься на початку сьомої смуги частот, відповідно найближча гармоніка — у восьмій смузі, а найближча субгармоніка — у шостій.

З табл. 1, 2 видно, що саме в цих смугах частот зі зростанням навантаження гідрогенератора суттєво збільшуються коефіцієнти взаємкореляції. Це підтверджує гіпотезу, наведену у роботах [5], [6], про те, що значення коефіцієнта взаємної кореляції між вібросигналами у досліджуваних вузлах буде зростати з наближенням точки прикладання значущої складової зовнішнього збурення до умовної точки механічного центру між ними, а також буде пропорційним відносному внеску цієї збурювальної сили у формуванні загального вібросигналу.

Враховуючи вищесказане, можна вважати повністю доведеним ефективність використання коефіцієнтів взаємкореляції не лише як вагових коефіцієнтів ШНМ, але і як додаткову ознаку наявності в певних смугах частот тих чи інших складових вібрації.

Висновки

1. Експериментально встановлено наявність сильних кореляційних зв'язків між часовими реалізаціями вібросигналу (віброприскорення) у просторово рознесених точках та у різних координатних осях гідроагрегата в стаціонарному режимі роботи.

2. Показано доцільність визначення вагових коефіцієнтів ШНМ для вібродіагностування дефектів гідроагрегатів за допомогою кореляційного методу, тобто розглядаючи їх як коефіцієнти взаємкореляції. Вхідними даними цієї процедури є числові значення вейвлет-коефіцієнтів окремих смуг частот АЧЧС.

3. Встановлено, що в смугах частот, в яких зосереджені електродинамічні складові вібрації, зі зростанням навантаження гідрогенератора суттєво збільшуються коефіцієнти взаємкореляції вібросигналів у просторово рознесених квазісиметричних точках гідроагрегату. Це дає можливість розглядати коефіцієнти взаємкореляції як додаткову ознаку наявності електродинамічної складової вібрації в певній смузі частот.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] В. В. Кухарчук та ін., *Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2014, 168 с.

[2] С. Ш. Каців, «Штучна нейроподібна мережа для діагностування дефектів гідроагрегатів», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 1, с. 74-83. 2013.

- [3] P. M. T. Broersen, *Automatic autocorrelation and spectral analysis*. London, GB: Springer-Verlag London Limited, 2006, 298 p.
- [4] S. S. Rao, *Vibration of continuous systems*. New York, USA: Jon Wiley & Sons, 2007, 720 p.
- [5] V. F. Hraniak, V. V. Kukharchuk, V. Kucheruk, and A. Khassenov «Using instantaneous cross-correlation coefficients of vibration signals for technical condition monitoring in rotating electric power machines,» *Bulletin of the Karaganda University: PHYSICS Series*, pp. 72-80, № 1 (89), 2018.
- [6] В. Ф. Граняк, С. Ш. Каців, В. В. Кухарчук, «Кореляційний підхід до визначення вагових коефіцієнтів штучної нейроноподібної мережі для вібродіагностування гідроагрегатів,» *Вісник Інженерної академії України*, № 4, с. 100-105. 2017.
- [7] Vasyl V. Kukharchuk et al., «Discrete wavelet transformation in spectral analysis of vibration processes at hydropower units,» *Proc. SPIE, Optical Fibers and Their Applications*, pp. 65-68. 2016.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та електричних вимірювань ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.05.2018

Граняк Валерій Федорович — канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань;

Каців Самойл Шулімович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, e-mail: katsyv@ukr.net ;

Кухарчук Василь Васильович — д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. F. Hraniak¹
S. Sh. Katsyv¹
V. V. Kukharchuk¹

The Results of Analysis of Dependence of Cross-Correlation Coefficients of Vibrating Processes of the Hydrounit on Its Power

¹Vinnitsia National Technical University

There has been investigated the dependence of cross-correlation coefficients, which are used as weight coefficients of artificial neurosimilar networks, on hydrounit power.

There has been carried out the analysis of results of a correlation method of definition of weight factors artificial neurosimilar networks intended for diagnosing of defects hydrounits.

The necessity of application of such network is substantiated by exclusive complexity of the hydrounit as dynamical hydroelectromechanical system and practical impossibility of the mathematical description of dependence vibrating signals on all factors which cause vibration. Therefore it makes sense to consider the hydrounit as «a black box», that is to model not its structure, and external functioning. The entrance information for artificial neurosimilar networks are peak-time-and-frequency spectrum (PTFS) of vibrating signals.

Weight factors are for each strip of frequencies PTFS and define importance of the account of wavelet-coefficients of strips of frequencies vibrating signals in level of reliability of every neuron.

There has been shown the efficiency of definition of weight factors as cross-correlation coefficients of strips of frequencies PTFS of vibrating signals, simultaneously received from different sensor controls. For this purpose it is possible to present the hydrounit simplified as rather stationary distributed quasilinear indissoluble elastic system with variables in rigidity. Another feature of hydroelectric generator will be operating on it spatially set in space factors of uncompensated mechanical forces of different nature, amplitude and vectorial direction that arbitrarily change in time. In connection with stochastic character of excitant uncompensated forces a hydroelectric generator can be considered the stochastic system; therefore there are intercorrelation connections between the reactions of vibrosignal in the different points of the prospected electric machine. It is possible fully adequate to count a hypothesis that application of coefficients of intercorrelation of vibrosignals between set in space knots of hydroelectric generator together with their instantaneous amplitudes will allow to get the array of data, containing information not only about amplitude of excitant influences, but also their spatial localization, that can be with large probability related to reasons of their origin.

Keywords: artificial neurosimilar network, peak-time-and-frequency spectrum, strip of frequencies, vibration reason, reliability indicator, cross-correlation coefficient, not compensated revolting force, weight factor.

Hraniak Valerii F. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measurements ;

Katsyv Samoil Sh. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer, Senior Lecturer of the Chair of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measurements, e-mail: katsyv@ukr.net ;

Kukharchuk Vasyl V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measurements

В. Ф. Граняк¹
С. Ш. Кацьов¹
В. В. Кухарчук¹

Результаты анализа зависимости коэффициентов взаимокорреляции вибрационных процессов гидроагрегата от его нагрузки

¹Винницкий национальный технический университет

Исследованы зависимости коэффициентов взаимокорреляции, которые используются как весовые коэффициенты искусственной нейроразобной сети, от нагрузки гидроагрегата.

Необходимость применения такой сети объясняется исключительной сложностью гидроагрегата как динамической гидроэлектромеханической системы и практической невозможностью математического описания зависимости виброакустического сигнала от всех факторов, которые вызывают вибрацию. Поэтому имеет смысл рассматривать гидроагрегат как «черный ящик», то есть моделировать не его структуру, а внешнее функционирование. Входной информацией для искусственной нейроразобной сети являются амплитудно-частотно-временные спектры (АЧВС) вибросигналов.

Весовые коэффициенты находятся для каждой полосы частот АЧВС и определяют важность учета вейвлет-коэффициентов полос частот вибросигналов в уровне достоверности каждого нейрона.

Показана эффективность определения весовых коэффициентов как коэффициентов взаимокорреляции полос частот АЧВС вибросигналов, одновременно полученных от разных сенсоров. Для этого гидроагрегат упрощено можно представить как относительно стационарную распределенную квазилинеаризованую неразрывную упругую систему с переменными в пространстве коэффициентами жесткости. Еще одной особенностью гидроагрегата будет действие на него пространственно разнесенных некомпенсированных механических сил разной природы, амплитуды и векторного направления, которые произвольно изменяются во времени. В связи с стохастическим характером возбуждающих некомпенсированных сил гидроагрегат можно считать стохастической системой, поэтому существуют взаимокорреляционные связи между реакциями вибросигнала в разных точках исследуемой электрической машины. Вполне адекватной можно считать гипотезу о том, что применение коэффициентов взаимокорреляции вибросигналов между разнесенными в пространстве узлами гидроагрегата вместе с их мгновенными амплитудами позволит получить массив данных, содержащий информацию не только про амплитуду возбуждающих влияний, но и их пространственную локализацию, что может быть с большой вероятностью связано с причинами их возникновения.

Ключевые слова: искусственная нейроразобная сеть, амплитудно-частотно-временной спектр, полоса частот, причина вибрации, показатель достоверности, коэффициент взаимокорреляции, некомпенсированная возмущающая сила, весовой коэффициент.

Граняк Валерий Федорович — канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической электротехники и электрических измерений;

Кацьов Самоил Шулимович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теоретической электротехники и электрических измерений, e-mail: katsyv@ukr.net ;

Кухарчук Василий Васильевич — д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедры теоретической электротехники и электрических измерений