УДК 681.518.3:621.311.214

В. В. Кухарчук, д.т.н.
С. Ш. Кацив, к.т.н.
В. Г. Мадьяров, к.т.н.
С. О. Биковський

ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ОБОРОТНИХ ГІДРОАГРЕГАТІВ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет, e-mail: kacyv.s.s@vntu.edu.ua

В роботі розглянуті особливості вібродіагностування потужних оборотних гідроагрегатів гідроакумулюючих електростанцій, які можуть працювати в трьох різних режимах: насосному, турбінному та режимі синхронного компенсатора. В кожному з цих режимів суттєво відрізняються електродинамічні та гідродинамічні складові амплітудно-частотно-часових спектрів вібросигналів.

Ключові слова: оборотний гідроагрегат, амплітудно-частотно-часовий спектр, вейвлет-коефіцієнт, штучна нейроподібна мережа, биття валу.

Вступ

В роботі [1] розглянуті принципи роботи, математичні моделі та алгоритми системи автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів (САДП-РДГ), яка призначена для функціонування на Дністровській ГЕС-2. Система базується на принципах частотно-часового спектрального аналіза, який перетворює вхідні вібросигнали в амплітудно-частотно-часові спектри (АЧЧС). Крім того, САДП-РДГ отримує дані про струми навантаження та рівень води у водосховищі.

Аналогічна система може бути створена для Дністровської гідроакумулюючої електростанції (ГАЕС). Разом з тим, вібродіагностування агрегатів ГАЕС має деякі істотні особливості.

1. Агрегати гідроакумулюючих електростанцій є *оборотними*, тобто можуть працювати в двох режимах – *насосному* і *турбінному*. В першому режимі ГАЕС, споживаючи надлишкову енергію від енергосистеми в години мінімуму навантажень, перекачує воду з нижнього водосхвища у верхній акумулюючий басейн. В другому режимі ГАЕС працює в години максимального споживання енергії. Використовуючи воду з верхнього басейну, вона видає електроенергію в систему.

Окрім цих режимів можливий також (досить рідко), так званий, режим *синхронного компенсатора*, коли від оборотного агрегату в систему надходить лише *реактивна енергія*.

Окремо відзначимо, що струми навантаження в усіх трьох режимах різні. Крім того, в перших двох режимах відрізняються одне від одного рівні води у нижньому водосховищі та верхньому акумулюючому басейні.

2. Окрім традиційної для звичайних гідроагрегатів вібрації у потужних оборотних гідроагрегатів має місце явище *биття* валу [2].

За означенням, биття – це коливання, які є результатом додавання двох гармонічних коливань з близькими частотами. При цьому, частота коливань значень розмаху при битті дорівнює різниці частот коливань, які додаються.

Далі розглянемо, які зміни, пов’язані з цими особливостями, мають бути внесені в САДП-РДГ

Штучна нейроподібна мережа для вібродіагностування існуючих дефектів оборотного гідроагрегату Дністровської ГАЕС

В порівнянні зі звичайними гідроагрегатами Дністровської ГЕС-2, агрегати ГАЕС відрізняються значно більшою потужністю і вимагають суттєво більшим оснащенням агрегату різними сенсорами.

Схема оборотного гідроагрегату ГАЕС з розташуванням сенсорів зображена на рис. 1.

На гідроагрегаті встановлені 10 сенсорів биття валу та 35 сенсорів вібрації (на рис. 1 зображено лише частину цих сенсорів).

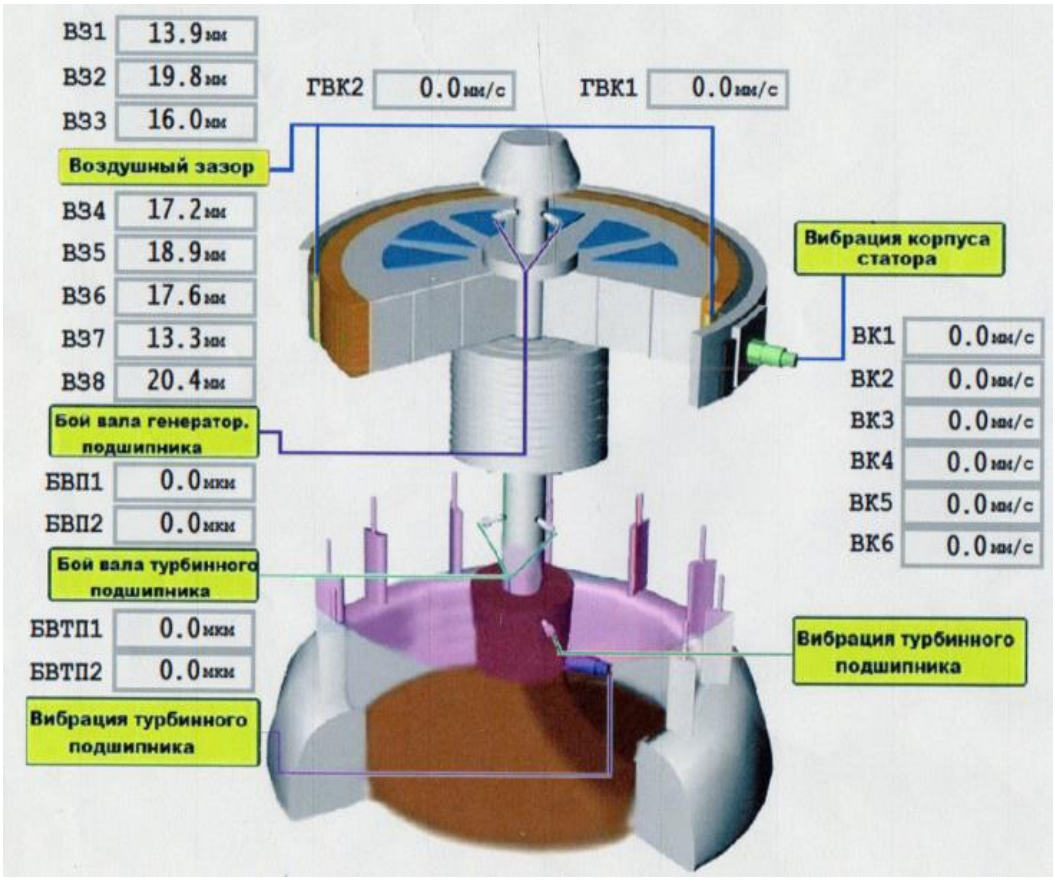

Рисунок1 – Схема гідроагрегату ГАЕС з розташуванням сенсорів

В роботах [1, 3] були детально розглянуті чинники вібрації, які є небезпечними для звичайних гідроагрегатів.

Розглянемо, за якими чинниками вібрації оборотний гідроагрегат Дністровської ГАЕС може відрізнятися від звичайного гідроагрегату Дністровської ГЕС-2.

На відміну від малопотужного звичайного гідроагрегату, у якого і турбіна і генератор містяться на спільному валу, оборотний гідроагрегат має два вали, що посилює складову вібрації, пов'язану з *неврівноваженістю ротора*. Крім того підсилюється *биття* валів.

Суттєво відрізняються і складові вібрації *електромагнітного походження*. Оскільки, вони прямо пропорційні електричному навантаженню агрегату, то в різних режимах роботи електродинамічні складові будуть різними. Найбільше значення вони будуть мати в *насосному* режимі, коли номінальна потужність агрегату досягатиме 417 МВт. В *турбінному* режимі агрегат має потужність 330 МВт і, відповідно, електродинамічні складові вібрації будуть меншими. Що ж стосується режиму *синхронного компенсатора*, то споживання реактивної потужності мережею завчасно оцінити досить важко, тому електродинамічні складові можуть коливатись в широких межах.

Гідродинамічні складові також залежать від режиму роботи агрегату. В насосному режимі потік води більш ламінарний ніж в турбінному, тому і гідродинамічні складові вібрації у насосному режимі менші ніж в турбінному. Очевидно, що в режимі синхронного компенсатора гідродинамічні складові вібрації взагалі відсутні.

З урахуванням усіх цих особливостей, структура штучної нейроподібної мережі (ШНМ) для вібродіагностування існуючих дефектів гідроагрегату ГАЕС буде мати вигляд, зображений на рис. 2.

Кількість вхідних нейронів (на рис. 2 вони зображені колами) залежить від кількості частотних смуг в АЧЧС кожного з 35-х вібросигналів. Для коефіцієнту стискання 2 і розміру стеку вхідного сигналу 32768 кількість частотних смуг в АЧЧС дорівнює $M = 14$, а кількість вхідних нейронів дорівнює $35(M+1)+3 = 528$. Вхідні нейрони виконують функцію прийняття числових даних і їх сортування.

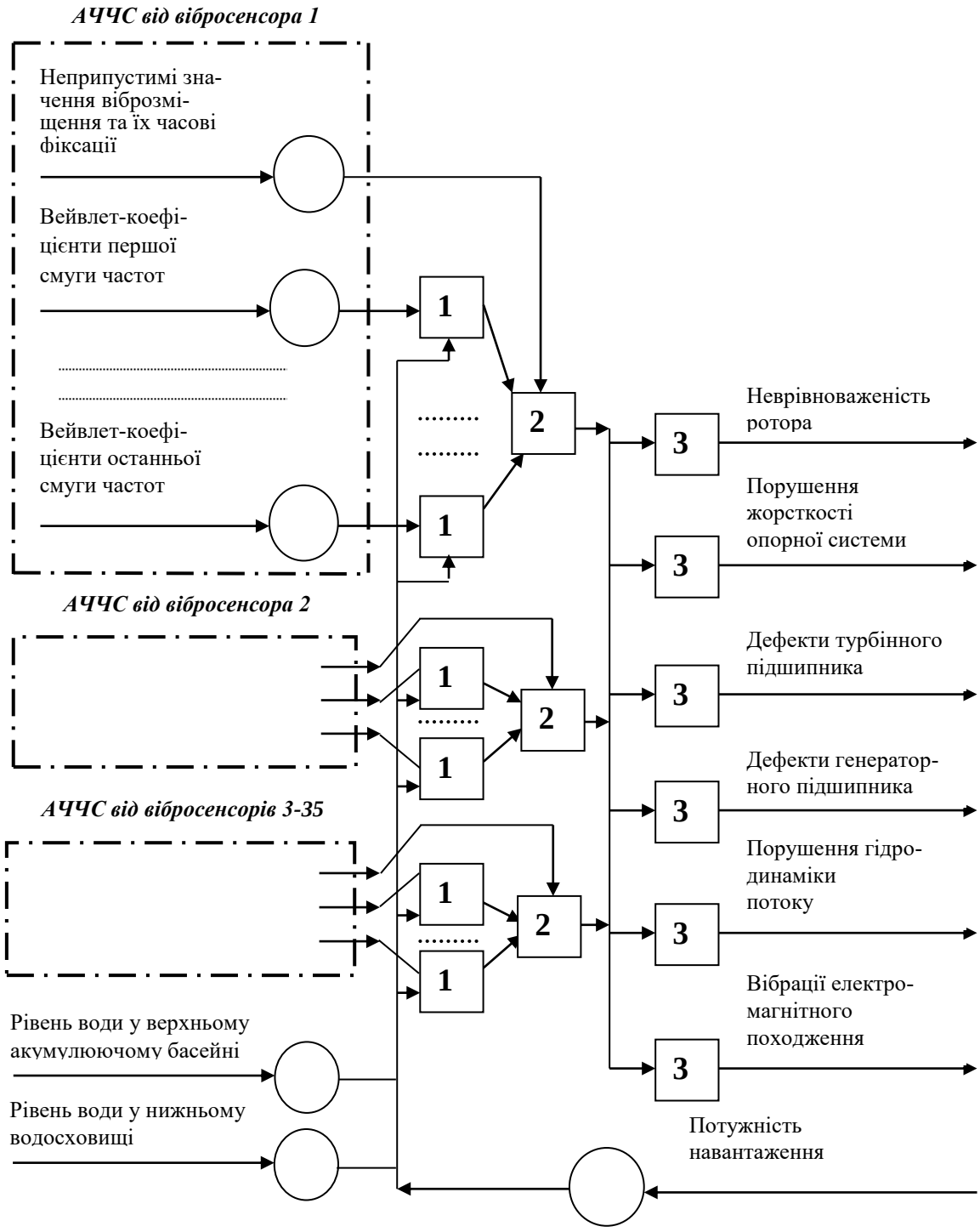

Рисунок 2 – Структура ШНМ для діагностування існуючих дефектів гідроагрегату

Розміри числових масивів, які надходять на кожний вхідний нейрон різні. Так, на перший вхідний нейрон кожної з 35-х груп надходять неприпустимі значення віброзміщення та їх часові фіксації, 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 – 2 вейвлет-коефіцієнтів другої смуги частот, на четвертий – 4 вейвлет-коефіцієнтів третьої смуги частот, на останній нейрон кожної групи надходить 18384 вейвлет-коефіцієнтів 14 - ої смуги частот.

Кількість значень рівней води у нижньому водосховищі та верхньому акумулюючому з їх часовими фіксаціями теж може коливатись у широких межах, оскільки нове значення рівня по-

винно надходити до вхідного нейрона лише при зміні його значення. За аналогічним принципом надходять дані і про потужність навантаження генератора (двигуна).

Перший шар ШНМ (позначений цифрою 1) містить 490 нейронів. Кожен з них отримує вейвлет-коефіцієнти певної смуги частот від відповідного вхідного нейрона і, одночасно, масиви значень рівней води і масиви значень потужності навантаження.

Нейрони першого шару призначені для виділення із АЧЧС кожного з 35 вібросигналів спектральних складових, які викликаються гідродинамічними та електродинамічними чинниками. Крім того, ці нейрони повинні для кожної смуги частот 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 ГАЕС працюють. В цьому випадку вібросигнали генеруються гідроагрегатами, що працюють, і через будівельні конструкції передаються на зупинений гідроагрегат, де і фіксуються його вібросенсорами.

Зазначимо, що як фонові, так і гідродинамічні та електродинамічні спектральні складові кожного з трьох режимів роботи гідроагрегату мають різні значення.

Другий шар ШНМ (позначений цифрою 2) містить 35 нейронів. Кожен з них отримує амплітудно-частотно-часовий спектр одного з віброакустичних сигналів, а також неприпустимі значення віброзміщення та їх часові фіксації для цього вібросигналу. Крім того, до кожного нейрона 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.

Треба також звернути увагу на те, що вагові коефіцієнти w_{ki}, які визначають важливість урахування вейвлет-коефіцієнтів смуг частот АЧЧС i-го вібросигналу в рівні вірогідності k-го нейрона, суттєво залежать від місця розташування вібросенсора. Так, наприклад, для вібросенсорів, що встановлені на статорних обмотках генератора, максимальні вагові коефіцієнти має електродинамічна складова спектру, для вібросенсорів, що встановлені на валах, максимальні вагові коефіцієнти має складова спектру, яка відповідає неврівноваженості ротора тощо.

Частотна ідентифікація масштабних коефіцієнтів

В роботах [1, 4] викладено алгоритм визначення смуг частот, які відповідають масштабним коефіцієнтам дискретного вейвлет-перетворення, і наведена електронна таблиця Microsoft Excel, що реалізує цей алгоритм. Визначимо ці смуги частот в нашому випадку.

Частота дискретизації вимірювальних каналів гідроагрегатів ГАЕС дорівнює 4000 Гц.

Електронна таблиця Microsoft Excel наведена на рис. 3.

Проаналізуємо отримані результати.

В існуючій вібродіагностичній практиці прийнято називати вібрацію в діапазоні, який нижче частоти обертання ротора, *низькочастотною*, відповідно від частоти обертання ротора до її 20-

ї гармоніки – *середньочастотною*, а вище – *високочастотною*.

	A	B	C	D	E
1	**Fд**	**Рядок МВК**	**Ширина смуги**	**Початок смуги**	**Кінець смуги**
2	*4000*	*1*	*0,122077764*	*0*	*0,122077764*
3	**dF**	*2*	*0,244155527*	*0,122077764*	*0,366233291*
4	*2000*	*3*	*0,488311054*	*0,366233291*	*0,854544345*
5	**k**	*4*	*0,976622108*	*0,854544345*	*1,831166453*
6	*2*	*5*	*1,953244217*	*1,831166453*	*3,78441067*
7	**M**	*6*	*3,906488433*	*3,78441067*	*7,690899103*
8	*14*	*7*	*7,812976866*	*7,690899103*	*15,50387597*
9		*8*	*15,62595373*	*15,50387597*	*31,1298297*
10		*9*	*31,25190747*	*31,1298297*	*62,38173717*
11		*10*	*62,50381493*	*62,38173717*	*124,8855521*
12		*11*	*125,0076299*	*124,8855521*	*249,893182*
13		*12*	*250,0152597*	*249,893182*	*499,9084417*
14		*13*	*500,0305194*	*499,9084417*	*999,9389611*
15		*14*	*1000,061039*	*999,9389611*	*2000*

Рисунок 3 – Смуги частот амплітудно-частотно-часового спектра вібросигналу

Відомо, що частота обертання ротора гідроагрегату Дністровської ГАЕС дорівнює 2,5 Гц.

Тоді, при частоті дискретизації 4000 Гц смуги частот містяться в діапазоні 0 – 2000 Гц, а саме:

- Смуги частот з першої по п’яту охоплюють низькочастотний діапазон.
- Смуги частот з п’ятої по дев’яту міститься в середньочастотному діапазоні.
- Смуги частот з дев’ятої по чотирнадцяту відносяться до високочастотного діапазону.

Висновки

Основні особливості вібродіагностування оборотних гідроагрегатів полягають в тому, що:

- оборотні гідроагрегати можуть працювати в трьох режимах – насосному, турбінному та режимі синхронного компенсатора, при цьому в кожному із режимів складові спектру вібросигналу різні;
- оборотний гідроагрегат має два вали, що посилює складову вібрації, пов’язану з неврівноваженістю ротора, а також підсилюється биття валів;
- нейроподібна мережа (як і для звичайних гідроагрегатів) також є тришаровою, але містить значно більше нейронів і ширший діапазон вагових коефіцієнтів.

Список літератури

1. Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія. / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив, В. В. Усов та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 169 с.
2. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М., 1996. – 276 с.
3. V. V. Kukharchuk Diagnostics and forecasting of hydro units faults / V. V. Kukharchuk, S. Sh. Kazyv // Khoa hoc & Công nghê. – 2012 – №8 (57). – p. 122-126.
4. Кухарчук В.В. Частотна ідентифікація масштабних коефіцієнтів дискретного вейвлет-перетворення вібросигналів / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив, С. О. Биковський // Вісник Інженерної Академії України. – 2012 – №1. – с. 138-142.

Відомості про авторів

Кухарчук Василь Васильович – д.т.н., професор, завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. (0432)598444.

Кацив Самоїл Шулімович – к.т.н., доц., доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. (0432)598444, e-mail: kacyv.s.s@vntu.edu.ua.

Мадьяров Вячеслав Губейович – к.т.н., доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. (0432)598444.

Биковський Сергій Олександрович – здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. (0432)598444.

УДК 681.518.3:621.311.214

Особливості вібродіагностування оборотних гідроагрегатів гідроакумулюючих електростанцій / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив, В. Г. Мадьяров, С. О. Биковський
Іл. 3. Бібліогр. 4 назви.
В роботі розглянуті особливості вібродіагностування потужних оборотних гідроагрегатів гідроакумулюючих електростанцій, які можуть працювати в трьох різних режимах: насосному, турбінному та режимі синхронного компенсатора. В кожному з цих режимів суттєво відрізняються електродинамічні та гідродинамічні складові амплітудно-частотно-часових спектрів вібросигналів.

Ключові слова: оборотний гідроагрегат, амплітудно-частотно-часовий спектр, вейвлет-коефіцієнт, штучна нейроподібна мережа, биття валу.

УДК 681.518.3:621.311.214

Особенности вибродиагностирования обратимых гидроагрегатов гидроаккумулирующих электростанций / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацыв, В. Г. Мадьяров, С. А. Быковский
Ілл. 3. Библиогр. 4 назв.

В работе рассмотрены особенности вибродиагностирования мощных обратимых гидроагрегатов гидроаккумулирующих электростанций, которые могут работать в трех разных режимах: насосном, турбинном и режиме синхронного компенсатора. В каждом из этих режимов существенно отличаются электродинамические и гидродинамические составляющие амплитудно-частотно-временных спектров вибросигналов.

Ключевые слова: обратимый гидроагрегат, амплитудно-частотно-временной спектр, вейвлет-коэффициент, искусственная нейроподобная сеть, биение вала.

UDC 681.518.3:621.311.214

Features of diagnosing of vibration reversible hydrounits of hydroheat-sink power stations / V. Kukharchuk, S. Katsyv, V. Usov, S. Bykovsky
Fig. 3. Refs.: 4 titles

In work features of diagnosing of vibration powerful reversible hydrounits of hydroheat-sink power stations which can work in three different modes are considered: pump, turbine and a mode of the synchronous jack. In each of these modes electrodynamic and hydrodynamic components of peak-time-and-frequency spectrum vibrating signal essentially differ.

Keywords: the reversible hydrounit, peak-time-and-frequency spectrum, vejvlet-factor, artificial neurosimular network, shaft palpation.