

УДК 004.032.26

*Шараєвський Г.І.*

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України. Україна, м. Київ

## НЕЙРОКОМП'ЮТЕРНА ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ АНОМАЛІЙ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ АТОМНИХ СТАНЦІЙ

*В роботі запропоновано підхід до навчання та автоматичної адаптації діагностичної нейромережевої структури на основі топології Кохонена в умовах апріорної невизначеності множини класів, що підлягають розпізнаванню. Цей підхід реалізовано на основі визначення моменту розладки випадкового часового ряду, із використанням авторегресійної моделі.*

*Ключевые слова:* розпізнавання; штучні нейронні мережі; діагностика; теплофізичні процеси; ядерні реактори; випадкові часові ряди; розладка стохастичного процесу; модель авторегресії.

### Постановка проблеми

Ядерні енергоблоки сучасних АЕС, особливо, їх реакторні установки є об'єктами підвищеної екологічної небезпеки. Це пов'язане, у першу чергу, з потенційною загрозою виникнення аварійних режимів експлуатації в активних зонах енергетичних ядерних реакторів [1]. Підкреслюючи при цьому визначальний вплив характеру теплофізичних процесів, які протікають у сучасних водоохолоджуючих реакторних установках, на безпеку ядерних енергоблоків, необхідно відзначити наступні інформаційні аспекти забезпечення експлуатаційної надійності сучасних АЕС. Так, насамперед, енергетичні реактори, зокрема, некіплячі, типу ВВЕР, відзначаються надзвичайно високою теплонапруженістю поверхні тепловіддачі тепловиділяючих елементів (ТВЕЛ), які містять ядерне паливо. Саме цей компонент активної зони є критично важливим для безпеки АЕС. Раннє виявлення та автоматичне розпізнавання передаварійних теплофізичних процесів, зокрема, режиму кипіння теплоносія на поверхні ТВЕЛ, не може бути забез-

печено сучасними комп'ютерними засобами моніторингу та діагностики активних зон [2]. Таким чином, розробка нового покоління програмно-технічних засобів оперативної діагностики, які здатні забезпечити надійне автоматичне розпізнавання аномальних теплофізичних процесів на поверхні ТВЕЛ в процесі експлуатації реакторів ВВЕР, є – за оцінками фахівців [3] – актуальною науковою проблемою.

**Аналіз останніх досліджень**, що були виконані за останні роки [4], дозволили з'ясувати основні діагностичні параметри та їх характеристики, зокрема, спектральні, які містять важливу діагностичну інформацію про перебіг теплофізичних процесів в активних зонах реакторів ВВЕР. Зазначені процеси, що реалізуються на поверхні тепловіддачі ТВЕЛ, в ряді випадків мають аномальний характер, який здатний ініціювати аварійні режими теплозйому та руйнацію ТВЕЛ. Таким чином, ці аномальні теплофізичні процеси, насамперед, кипіння теплоносія в активній зоні, ядерного реактору являють собою безпосередню загрозу безпеці ядерного енергоблоку. Нещодавно, зокрема, в роботах [3, 4] було розробле-

но математичні підходи до вирішення задачі виявлення початку кипіння теплоносія за параметрами флуктуацій нейтронного потоку в активній зоні реактору ВВЕР. Проте, ці підходи є фактично детермінованими, що принципово не дає змоги забезпечити на основі їх використання надійну ідентифікацію ймовірного за своєю фізичною природою процесу генерації парової фази. Втім, слід зазначити, що висока надійність правильної ідентифікації цього аномального теплофізичного процесу на поверхні ТВЕЛ із використанням відомих базових статистичних, геометричних, структурних концепцій розпізнавання [5] також не може бути досягнута. Однією із причин цих обмежень є фактична неможливість одержання значних обсягів апріорних навчальних даних про класи об'єктів, які підлягають розпізнаванню, для практичної реалізації кожної із зазначених моделей. Разом з тим, практична реалізація нейромережевих підходів до ідентифікації складних діагностичних об'єктів, що була запропонована авторами в роботі [6, 7] підтвердила високу надійність та ефективність ряду топологій штучних нейронних мереж (ШНМ). Втім, ряд принципів аспектів адаптації ШНМ до реального діагностичного середовища в умовах апріорної невизначеності множини класів, що підлягають розпізнаванню, на сьогоднішній день є ще не вирішеними. В особливій мірі це стосується ідентифікації складних випадкових об'єктів діагностики (зокрема, спектральних реалізацій стохастичних діагностичних сигналів відповідно до нештатних режимів теплозйому з поверхні ТВЕЛ в реакторі ВВЕР), які розглядаються в даній публікації.

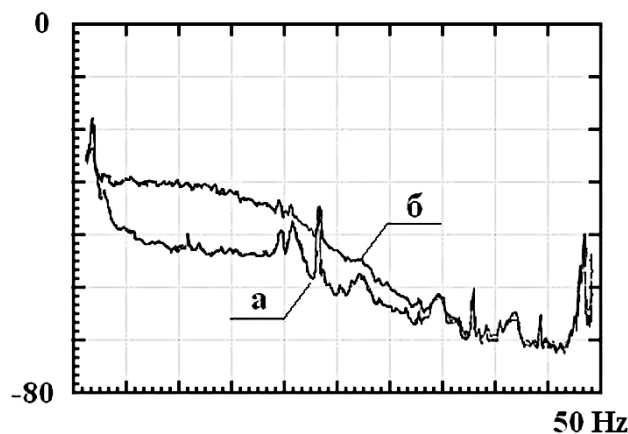
**Мета даної роботи** полягає в створенні математичної моделі для практичної реалізації навчання й адаптації ШНМ в умовах апріорної невизначеності множини класів, які підлягають розпізнаванню цією нейроком'ютерною діагностичною структурою. Зазначений підхід передбачає використання математичних моделей стохастичних динамічних систем. Ці моделі забезпечують автоматичне виявлення у реальному часі факту зміни статистичних властивостей випадкового часового ряду, що аналізується в ознакових спектральних каналах діагностичного сигналу і є пов'язаним з виникненням початку кипіння на поверхні ТВЕЛ в реакторі ВВЕР.

**Постановка задачі** про розпізнавання випадкового об'єкта в умовах апріорної невизначеності множини класів, що підлягають розпізнаванню, математично формалізується наступним чином. Відповідно до зазначених вище умов апріорної невизначеності відомою є наступна діагностична інформація:

- вихідні навчальні статистичні вибірки, що стосуються штатного (конвективна тепловіддача) режиму теплозйому ;

- множина спектральних ознак, в яких зміна статистичних властивостей багатомірного діагностичного вектора, який відповідає спектру відповідного шумового сигналу з активної зони ядерного реактору, характеризує момент міжкласового переходу від штатного режиму тепловіддачі з поверхні ТВЕЛ до аномального теплофізичного процесу початку кипіння.

Слід зазначити, що перелічені вище обмеження стосовно наявності вихідної апріорної інформації про класи діагностичних об'єктів суттєво відрізняються від звичайно ідеалізованих у відомих роботах [4] умов розпізнавання випадкових діагностичних об'єктів. Ці ідеалізовані умови відзначаються наявністю попередньо відомих експерту з навчання діагностичної системи всіх без винятку елементів навчальної вибірки множини класів  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ , що підлягають розпізнаванню. В реальних умовах експлуатації АЕС вищезазначена апріорна інформація про класи діагностичних об'єктів є практично відсутньою. Таким чином, математична формалізація запропонованої в даній роботі моделі автоматичного визначення моментів міжкласових переходів в процесі динамічної зміни режимів теплозйому з поверхні ТВЕЛ в умовах збільшення теплової потужності активної зони реактору ВВЕР може бути конкретизована наступним чином. В якості прикладу спектральних реалізацій діагностичних сигналів, що підлягають автоматичному розпізнаванню, на рис. 1 наведено дві типові спектральні реалізації діагностичних сигналів нейтронного шуму, що відповідають: а) класу А1 конвективної тепловіддачі з поверхні реальних ТВЕЛ у експериментальній тепловиділяючій збірці (ТВЗ) реактора ВВЕР – 440; б) розвиненій теплогідравлічній аномалії (клас А3) в цій ТВЗ, що відповідає пазирковому кипінню теплоносія в активній



**Рис. 1.** Типові реалізації діагностичних сигналів нейтронного шуму, що відповідають:

а) штатному режиму (клас А1) конвективної тепловіддачі з поверхні реальних ТВЕЛ у експериментальній ТВЗ реактора ВВЕР – 440; б) розвиненій теплогідравлічній аномалії (клас А3) в цій ТВЗ, з пазирковим кипінням еплонсія в активній зоні цього реактору

зоні цього реактору. Слід відзначити, що спектральні структури цих сигналів є суттєво подібними і в реальних умовах експертом-діагностом ідентифіковані бути не можуть. Таким чином, аномальний теплогідрравлічний режим, що відповідає початку кипіння теплоносія на поверхні ТВЕЛ і становить клас А2, евристично не може бути ідентифікований експертом-діагностом на основі візуального аналізу спектральної структури цього сигналу.

Визначення межі між класами А1 та А2, що є невідомою експертам, в роботі практично реалізовано на основі наступного математичного підходу до визначення моменту розладки випадкового часового ряду. Останній утворено відповідною послідовністю рівнів спектральної повності в спектрах діагностичного сигналу нейтронного шуму при збільшенні теплової потужності реакторного каналу.

Як відомо [8], часовий ряд  $\{X_1^N\}$ ,  $N \rightarrow \infty$  є стаціонарною випадковою послідовністю (її стаціонарність характеризує притаманна їй головна властивість, що відповідає незмінності статистичних моментів другого порядку), яка представлена відповідною траєкторією цієї послідовності. У деякий момент часу  $t_0$  ця траєкторія стрибком змінює свої статистичні властивості, що рівнозначно визначаються відповідним вектором параметрів  $\theta$ ,  $\dim\{\theta\} = r$ . Це означає, що до моменту  $(t_0 - 1)$  включно вектор параметрів становив  $\theta = \theta^2$ , а починаючи з моменту  $t_0$  цей вектор складає  $\theta = \theta_1$ . Спостерігаючи  $\{X_1^N\}$ ,  $N \rightarrow \infty$  треба визначити момент  $t_0$  зміни статистичних властивостей цього часового ряду, тобто момент його розладки. Принциповим є той факт, що при послідовному виявленні цього моменту в часовому ряді  $\{X_1^N\}$ ,  $N \rightarrow \infty$  визначення  $t_0$  має відбуватися в темпі, що є відповідним до виникнення наступної точки  $X^N$  цього випадкового процесу. Визначення моменту розладки  $t_0$  має бути забезпечено в режимі реального часу. Існують наступні відомі підходи до визначення моменту розладки такого випадкового стаціонарного процесу. Відповідно до [9] алгоритм кумулятивних сум (АКС), запропонований Пейджером (Е. Page), використовує послідовний критерій відношення ймовірностей (ПКВЙ), що був розроблений Вальдом (А. Wald). Відповідно до АКС: для гіпотези  $H_1$ , за відсутності розладки, параметр  $\theta = \theta_1$ ; з іншого боку, за умови, коли виникає розладка діє гіпотеза  $H_2$ , якій відповідає  $\theta = \theta_2$ . При цьому параметр  $\theta$  є параметром щільності ймовірностей  $\omega(x_t | \theta)$  розподілу значень часового ряду  $\{X_1^N\}$ ,  $N \rightarrow \infty$ . При цьому кумулятивна сума (КС) цього ряду визначається наступним чином:

$$S_t = S_{t-1} + \ln \left[ \frac{\omega(x_t | \theta_2)}{\omega(x_t | \theta_1)} \right], \quad (1)$$

Якщо на момент часу  $t$  ця сума відповідає  $S_t \geq h_1$ , то має місце гіпотеза  $H_2$ . Навпаки, якщо в цей

момент  $t$ , ця сума  $S_t \leq -\varepsilon$ , то приймається гіпотеза  $H_1$ , коли ж  $-\varepsilon < S_t < h$ , то виконується наступний крок АКС, що відповідає моменту  $(t + 1)$ . В умовах коли на кроці  $(t - 1)$  вже прийнята гіпотеза  $H_1$ , то КС обнулюється, тобто  $S_t^k = 0$  ( $k = 0$ ).

Таким чином, якщо  $t_0$  є моментом зміни гіпотез з  $H_1$  на  $H_2$ , то має місце наступне математичне очікування:

$$E \left[ \ln \frac{\omega(x_t | \theta_2)}{\omega(x_t | \theta_1)} \right] > 0.$$

Якщо, відповідно до А.Н.Ширяєва та Лордена (G. Lorden) [9], прийняти  $\varepsilon = 0$ , то АКС з (1) приймає наступний вигляд:

$$g_t = (g_{t-1} + \Delta g_t)^+, \quad \Delta g_t = \ln \frac{\omega(x_t | \theta_2)}{\omega(x_t | \theta_1)},$$

Де:  $(x)^+ = \max(0, x)$ ;  $g_0 = 0$ .

При цьому момент визначення факту розладки подібно до (1) має вигляд;

$$t_a = \inf \{t \geq 1: g_t \geq h\}. \quad (2)$$

Вищезазначені особливості алгоритму АКС на основі ПКВЙ зображено на рис. 2.

Відомі методи визначення розладки практично не можуть бути застосовані для вирішення сформульованих вище діагностичних задач, що поля-

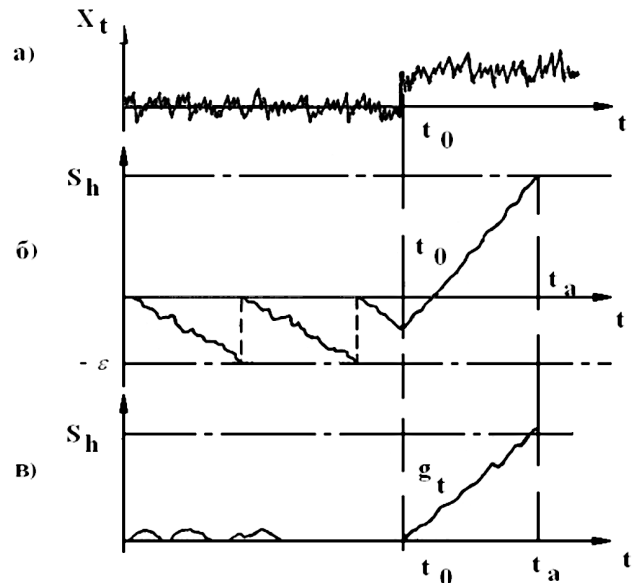


Рис. 2. Визначення моменту зміни статистичних властивостей часового ряду на основі використання АКС:

а) розладка стаціонарного випадкового процесу в момент часу  $t_0$ ; б) реалізація АКС (Е. Page) з використанням ПКВЙ; в) реалізація підходу А.Н.Ширяєва та G. Lorden до визначення АКС на основі обчислення статистики  $g_t$  з відбиваючим екраном

гають у виявленні в режимі on-line стану формування нового технічного стану об'єкту діагностики (в першу чергу, початкових фаз формування аномальних режимів експлуатації) на основі аналізу послідовностей значень спектральної повності у визначальних, тобто породжуючих, ознаках відповідного діагностичного вектора. Зазначена невідповідність існуючих методів АКС із використанням ПКВЙ та інших вирішуючи функцій зумовлені наступними об'єктивними чинниками:

- Інформація стосовно статистичного параметру  $\theta = \theta_2$  при  $t > t_0$  фактично є відсутню через неможливість визначення цього параметру в умовах розвитку передаварійної ситуації на АЕС.

- В реальних умовах виникнення аварійної ситуації, тобто переходу до нового технічного стану критично важливих для безпеки елементів та систем активної зони, досліджуваний числовий ряд  $\{X_1^N\}$ ,  $N \rightarrow \infty$  не є стаціонарним.

- Часовий ряд  $\{X_1^N\}$  апіорно не може вважатися незалежною послідовністю без попереднього визначення його статистичних властивостей.

### Моделі розладки випадкового процесу

Із урахуванням вищезазначених обмежень існуючі підходи до обчислення АКС мають бути суттєво розвинені на основі іншої концепції визначення стану розладки статистичних послідовностей із використанням математичних моделей авторегресії (АР). Далі на основі розглянутого вище теоретичного підходу до визначення моменту зміни статистичних властивостей часового ряду в даній роботі розглянуто наступні математичні моделі до виявлення стану розладки випадкового процесу  $\{X_1^N\}$  з урахуванням характерних умов отримання апіорної інформації:

**Перша модель.** Якщо до інтервалу часу  $t \leq t_0 - 1$  (момент  $t_0$  є невідомим) сумісна щільність розподілу ймовірностей  $\omega(X_1^{t_0-1} | \bar{\theta}) = f(\bar{\theta} : \bar{\theta} \in \bar{\theta}_1)$  (де:  $\bar{\theta}_1$  — область параметричного простору з розмірністю  $\dim \bar{\theta} = r$ ), залежить від вектора параметрів  $\bar{\theta}$ , то має місце наступна гіпотеза стосовно статистичних властивостей часової послідовності  $\{X_1^N\}$  на цьому інтервалі часу.

$$H_0 : \bar{\theta} \in \bar{\theta}_1. \quad (3)$$

При зміні статистичних властивостей часового ряду умовна сумісна щільність розподілу ймовірностей його значень змінюється і становить

$$\omega(X_1^N | X_1^{t_0-1}, \bar{\theta}) = f(\bar{\theta} : \bar{\theta} \in \bar{\theta}_2).$$

В цих умовах при зміні статистичних властивостей часового ряду приймається гіпотеза

$$H_1 : \bar{\theta} \in \bar{\theta}_2, \dim \bar{\theta} = r. \quad (4)$$

Відповідно до цієї моделі, інформація стосовно параметрів  $\bar{\theta}_1$  і  $\bar{\theta}_2$  відповідних розподілів ймовірностей має бути повною. Проте, за умови раптового виникнення нештатного експлуатаційного режиму обладнання АЕС, що діагностується, інформація стосовно вектору параметрів  $\bar{\theta}_2$  є невідомою. З цієї причини розгляду підлягає наступна, друга, модель розладки та підходи до завдання інформації про вектор параметрів  $\bar{\theta}$ .

**Друга модель.** Відповідно до цієї моделі в моменти часу  $t \leq t_0 - 1$ , що передують виникненню розладки має місце наступна щільність розподілу ймовірностей  $\omega(X_1^{t_0-1} | \bar{\theta}) = f(\bar{\theta} : \bar{\theta} \in \bar{\theta}_1)$ , яка відповідає гіпотезі  $H_0 : \bar{\theta} \in \bar{\theta}_1$ .

При  $t > t_0$  має місце зміна статистичних властивостей часового ряду  $\{X_t^N\}$  який має вже іншу сумісну щільність розподілу  $\omega(X_t^N | \bar{\theta})$  де  $\bar{\theta} \in \bar{\theta}_2$ . Можливим є наступний підхід до завдання апіорної інформації про вектор параметрів  $\bar{\theta}$ :

Цей вектор може бути описаний рівнянням

$$\bar{\theta} = \bar{\theta}_0 + \lambda \bar{c}, \quad (5)$$

де:  $\bar{\theta}_0$  — попередньо встановлена межа у прості параметрів;  $\bar{c}$  — одиничний вектор  $\|\bar{c}\| = 1$  напрямку у просторі  $\bar{\theta}$  з розмірністю  $\dim \bar{c} = r$ .

При цьому вирішуючи правило стосовно факту зміни часового ряду при виникненні розладки, визначається момент переходу «межі»  $\bar{\theta}_0$  в напрямку одиничного вектору  $\bar{c}$ . Іншими словами, до розладки ( $t \leq t_0 - 1$ ), має місце гіпотеза  $H_0$  якій відповідає параметр  $\lambda \leq 0$ , а після розладки  $t > t_0$  приймається гіпотеза  $H_1$ , якій відповідає  $\lambda > 0$ . Зазначена модель адекватно характеризує факт збільшення інтенсивності спектральної повності в деякій інформаційно значущій спектральній ознаці в умовах виникнення аномального експлуатаційного стану ТВЕЛ в ядерному реакторі. При цьому факт збільшення спектральної інтенсивності відповідної частотної ознаки в спектрі сигналу є фізично доведеним, як це впливає з даних ряду робіт [4-7].

Визначення фізичної межі між двома класами режимів тепловийому, а саме: конвективною тепловіддачею (відомий клас А1) та початку кипіння теплоносія (невідомий клас А2, інформація про який у експерта з навчання є відсутньою), — в даній роботі практично реалізовано на основі розглянутої вище другої математичної моделі визначення моменту розладки випадкового часового ряду. Цей ряд утворено відповідною послідовністю рівнів спектральної повності в спектрах діагностичного сигналу нейтронного шуму при збільшенні теплової потужності реакторного каналу. Попередні дослідження зазначених випадкових часових рядів, виконані авторами даної роботи, довели можливість їх ефективної апроксимації послідовностями авторегресійного типу. З огляду на це  $w_1$ ,



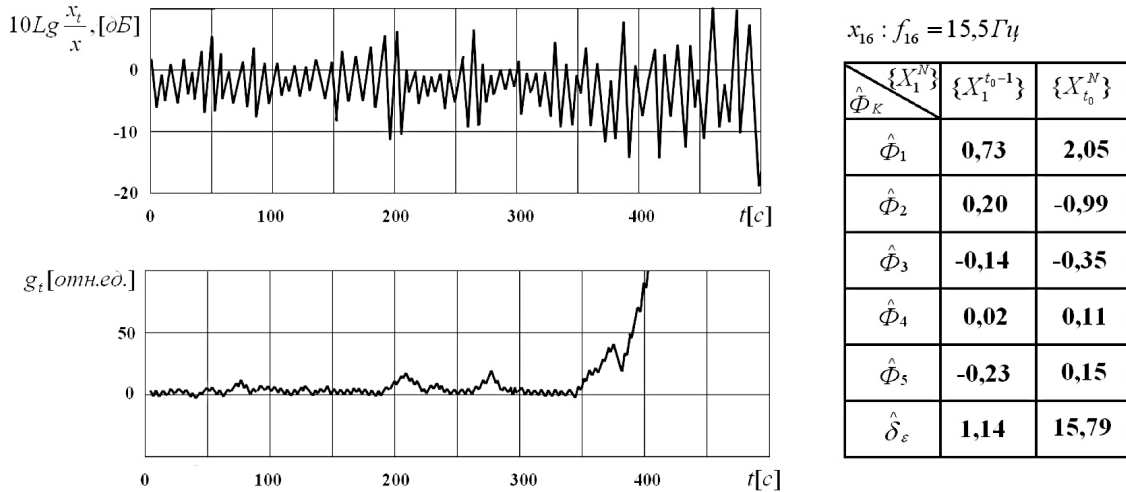


Рис. 3. Результати практичної реалізації алгоритму визначення моменту між класового переходу на основі АР моделі за умови апріорної невизначеності одного із суміжних класів

$w_2, \dots, w_N$  є проінтегрованою послідовністю авторегресії (АР), тобто:

$$\nabla^d W_t = x_t, \quad \nabla^1 W_t - W_{t-1}, \quad x_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (6)$$

Де:  $\nabla^d$  – оператор різності;  $d$  – порядок різності;  $p$  – порядок авторегресії;  $\Phi_1, \dots, \Phi_p$  – коефіцієнти авторегресії;  $\varepsilon_t$  – незалежна гаусівська послідовність.

Аналіз послідовностей рівнів спектральної повності у інформаційно значущих інформаційних ознаках нейтронного шуму показав, що міжкласовий перехід супроводжується суттєвою зміною

$(p + 1)$  – мірного вектору параметрів моделі (6) тобто  $\theta^T = (\Phi_1, \dots, \Phi_p, \sigma_\varepsilon)$ . Формально, виявлення факту зміни цього вектора параметрів моделі АР, а саме: коефіцієнтів авторегресії  $\Phi_1, \dots, \Phi_p$  – дає змогу вирішити задачу виявлення початку міжкласового переходу, як це показано на наступній ілюстрації.

Вищезазначені результати пошуку розладки в інформаційно значущому спектральному каналі нейтронного шуму в активній зоні реактору ВВЕР трьох спектральних каналах в момент міжкласового переходу від класу А1 до класу А2 представлено на рис.3.

На рис. 4 представлено узагальнену структурну схему функціонування розробленої в даній роботі

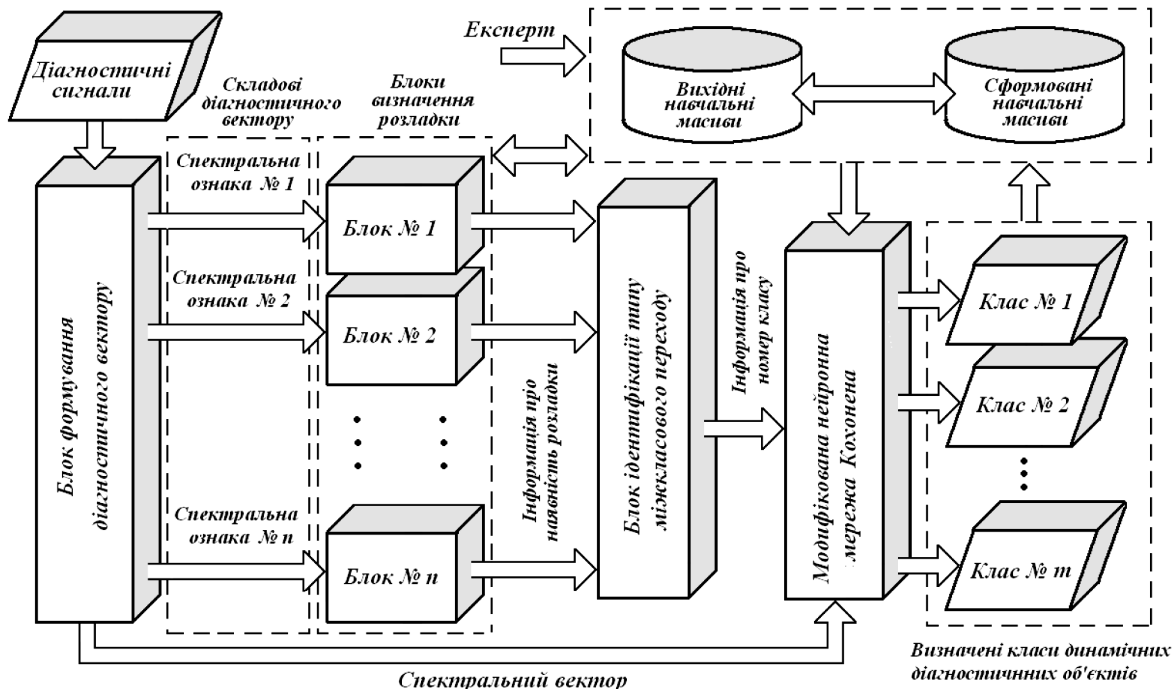


Рис. 4. Узагальнена структурна схема функціонування нейрокомп'ютерного комплексу для програмної реалізації динамічних діагностичних задач в умовах апріорної невизначеності множини класів

РЕЗУЛЬТАТИ ІССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ПРОЦЕССОВ, МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ



нейрокомп'ютерної системи для програмної реалізації саме визначення перехідних процесів в обладнанні. Відповідно до цієї схеми, діагностичний сигнал, що підлягає ідентифікації, надається до блоку спектрального аналізу, в якому на основі відповідного типу спектрального перетворення, зокрема, алгоритму швиткого перетворення фур'є [ШПФ] формуються спектральні ознаки цього сигналу. На основі інформації, попередньо наданої експертом з множини цих спектральних ознак виокремлюються деякі ознаки, зміна статистичних властивостей в яких, відповідає за факт між класового переходу. В кожному з таких блоків виявлення факту розладки (із використанням другої та третьої моделей) реалізується на основі розглянутих в роботі алгоритмів визначення моменту зміни статистичних властивостей відповідного часового ряду. Інформація про визначені таким чином спектральні канали, які характеризують початок відповідного міжкласового переходу, на основі логічного аналізу узагальнюється в блоці ідентифікації типу міжкласового переходу, на виході якого формується номер класу, що попередньо був невідомим. Синхронно з визначенням типу цього класу з блоку спектрального аналізу на вхід до модифікованої в даній роботі ШНМ надається відповідна цьому типу класу спектральна реалізація. В разі відсутності реалізацій цього типу в карті самоорганізації, у відповідності до модифікованого в даній роботі алгоритму SOM здійснюється автоматичне динамічне додавання нового класу до множини класів діагностичних об'єктів А, що підлягають розпізнаванню. Всі ідентифіковані таким чином (раніше невідомі) типи класів діагностичних об'єктів та відповідні цим класам спектральні реалізації реєструються в базі даних системи автоматичної діагностики та надаються експерту для подальшого аналізу.

### Висновки

1. Реальні фізичні умови навчання штучних нейромережових структур, які можуть використовуватися як діагностичні засоби для раннього виявлення нештатних режимів експлуатації в обладнанні АЕС, відзначаються значними обмеженнями на отримання попередньої навчальної інформації про зазначені потенційно небезпечні режими.

2. Дослідження випадкових часових рядів, що утворені рівнями спектральної повності в інформаційно значущих частотних діапазонах спектрів сигналів, які надходять до входу системи автоматичної діагностики нейромережового типу з виходу діагностич-

них сенсорів довели можливість їх ефективної апроксимації послідовностями авторегресійного типу.

3. Вирішення задачі адаптації діагностичних нейромережових структур до конкретного об'єкту діагностики в умовах апріорної невизначеності множини класів, що підлягають розпізнаванню, може бути ефективно реалізовано на основі визначення моменту розладки випадкового часового ряду, із використанням авторегресійної моделі.

4. Запропонована в даній роботі архітектура адаптивного нейромережового комплексу складає практичну основу для створення якісного нового інтелектуального-покоління спеціалізованих програмно-технічних засобів, що здатні ефективно забезпечити раннє автоматичне виявлення та надійну ідентифікацію прихованих експлуатаційних аномалій в критично важливих для забезпечення експлуатаційної безпеки елементах технологічного обладнання реакторних установок.

### Література

- [1] Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахметьев А.М. Безопасность ядерных энергетических установок. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 279 с.
- [2] Анохин А.Н., Острейковский В.А., Сальников Н.Л. Системы поддержки оператора АЭС. — Обнинск: Институт атомной энергетики, 1988. — 92с.
- [3] A. Kratzsch, W. Kastner, R. Hampel, H. Ohlmeyer. Anwendung von Kunstlichen Neuronalen Netzen (Multilayer Perzeptron) in der Reaktorsicherheitsforschung. — awt 52. Jg. (2007) Heft 10, s 646-647.
- [4] Диагностирование неисправностей в ЯЭУ с помощью ИВС. Реферативный обзор отечественной и зарубежной литературы. — Москва: ВНИИ Центр, 1987. — 178 с.
- [5] Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов. — М.: Физматлит, 2010. — 304 с.
- [6] Шаповалова С.И., Шараевский Г.И. Диагностика подшипниковых узлов парового турбоагрегата АЭС при помощи нейронной сети// V международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2005»: Киев, 17-20 мая 2005 г.: Сб. тр. под редакцией Т.А. Таран.-: Просвіта, 2005, с. 296-301.
- [7] Шаповалова С.И., Шараевский Г.И. Предобработка диагностируемого сигнала для распознавания нейронной сетью // VII международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2007»: Киев, 15-18 мая 2007 г.: Сб. тр./ Ред. кол.: С.В.Сирота (гл.ред.) и др. К. — Просвіта, 2007, с. 352-357.
- [8] Жигалевский А.А., Красковский А.Е. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники. — Л.: Изд. Ленингр. ун- та, 1988. — 224 с.
- [9] Булинский А.В., Ширяев А.Н. Теория случайных процессов. — М.: Физматлит, 2005. — 408 с.

Sharayevskij G. I.

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of NAS of Ukraine. Ukraine, Kyiv

## NEUROCOMPUTING DIAGNOSTIC SYSTEM FOR EARLY DETECTION OF OPERATIONAL ANOMALIES THAT HIDDEN IN THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF NUCLEAR POWER PLANTS

*In this work the approach for training and automated adaptation of diagnostic neuro-networking structure on the basis of Kohonen's topology in conditions of a priori uncertainty of many classes to be recognized is proposed. This approach is implemented on the basis of determination of the moment of disorder of random time series using the autoregressive model.*

**Key words:** Recognition; artificial neural networks; diagnosis; thermal processes; nuclear reactors; random time series; disorder of random time series; autoregressive model.

Keywords: statistical distribution; risk management; probability of failure requirements.

### References

- [1] Samoylov O.B., Usyinin G.B., Bahmetev A.M. Bezopasnost yadernykh energeticheskikh ustanovok. — M.: Energoatomizdat, 1989. — 279 p.
- [2] Anohin A.N., Ostreykovskiy V.A., Salnikov N.L. Sistemyi podderzhki operatora AES.-Obninsk: Institut atomnoy energetiki, 1988. — 92 p.
- [3] A. Kratzsch, W. Kastner, R. Hampel, H. Ohlmeyer. Anwendung von Kunstlichen Neuronalen Netzen (Multilayer Perzeptron) in der Reaktorsicherheitsforschung. — awt 52. Jg. (2007) Heft 10, p. 646-647.
- [4] Diagnostirovanie neispravnostey v YEU s pomoschyu IVS. Referativnyiy obzor otechestvennoy i zarubezhnoy literatury. — Moskva: VNTI Tsentr, 1987. — 178 p.
- [5] Fedotov N.G. Teoriya priznakov raspoznaniya obrazov. — M.: Fizmatlit, 2010. — 304 p.
- [6] Shapovalova S.I., Sharaevskiy G.I. Diagnostika podshipnikovykh uzlov parovogo turboagregata AES pri pomoschi neyronnoy seti// V mezhdunarodnaya konferentsiya «Intellektualnyiy analiz informatsii IAI-2005»: Kiev, 17-20 maya 2005 g.: Sb. tr. pod redaktsiey T.A. Taran.-: ProsvIta, 2005, p. 296-301.
- [7] Shapovalova S.I., Sharayevskij G.I. Predobrabotka diagnostiruemogo signala dlya raspoznavaniya neyronnoy setyu // VII mezhdunarodnaya konferentsiya «Intellektualnyiy analiz informatsii IAI-2007»: Kiev, 15-18 maya 2007 g.: Sb. tr./ Red. kol.: S.V.Sirota (gl.red.) i dr. K. — ProsvIta, 2007, p. 352-357.
- [8] Zhigalevskiy A.A., Kraskovskiy A.E. Obnaruzhenie razladki sluchaynykh protsessov v zadachah radiotekhniki. — L.: Izd. Lenigr. un-ta, 1988. — 224 p.
- [9] Bulinskiy A.V., Shiryayev A.N. Teoriya sluchaynykh protsessov. — M.: Fizmatlit, 2005. — 408 p.