

АДАПТИВНИЙ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЯДЕРНИХ РЕАКТОРАХ

Г. І. Шарасівський

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, Київ, Україна

Постановка проблеми. Сучасні системи моніторингу в структурі автоматизованих систем управління технологічними процесами атомних електростанцій (АЕС) не забезпечують автоматичного формування діагностичних рішень стосовно ряду визначальних для безпеки ядерної енергоустановки (ЯЕУ) технологічних процесів та режимів експлуатації критично важливих елементів та систем цієї технічної системи. Формування діагностичних рішень покладено безпосередньо на операторів ядерного енергоблоку, які в умовах високого психофізичного навантаження та браку часу мають на основі власного досвіду та відповідного регламенту експлуатації віднайти порушення, визначити його тип та прийняти превентивні засоби для запобігання розвитку аварійної ситуації [1]. Таким чином, в умовах інформаційного перевантаження оперативного персоналу виконання функцій з діагностики елементів складного технічного об'єкту в ручному режимі не може бути якісно виконано.

Мета роботи полягає в розробці підходів до навчання та адаптації штучної нейронної мережі (ШНМ) з топологією Кохонена [2] в умовах апріорної невизначеності множини класів, що підлягають розпізнаванню з використанням методів теорії стохастичних динамічних систем [3].

Задачі діагностики в умовах апріорної невизначеності множини класів

Особливості розпізнавання динамічних діагностичних об'єктів при наявності обмежень на апріорну інформацію стосовно множини класів, що підлягають розпізнаванню, полягають у наступному:

а) відомими є навчальні вибірки стосовно штатного режиму експлуатації обладнання ЯЕУ;

б) відома кінцева множина спектральних ознак, в яких зміна статистичних властивостей сигналів характеризує момент міжкласового переходу від штатного режиму експлуатації до нерегламентного.

Цей тип задач відрізняється від розглянутих в роботах [2] умов розпізнавання діагностичних об'єктів в задачах з попередньо відомими елементами навчальної множини $A = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$, що утворена конкретними діагностичними об'єктами. Ця апріорна інформація на етапі навчання, виходячи з характерної спектральної структури та частотного діапазону сигналів [1], принципово може бути надана експертом. Таким чином, визначальним у зазначених діагностичних умовах відповідно до зазначеної специфіки розпізнавання є той факт, що аварійна динаміка практично не може бути відтворена на відповідних дослідницьких стендах з причини не повної відповідності фізичних умов на цих стендах реальним фізичним процесам в умовах експлуатації, а також через потенційну небезпеку розвитку при відтворенні в умовах АЕС аварійних процесів. Саме через вищезазначені об'єктивні чинники спектральні реалізації потенційно небезпечних передаварійних експлуатаційних станів не є відомими експерту.

В якості прикладу 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 ТВЗ. б) розвиненій теплогідравлічній аномалії (клас А3) в цій ТВЗ, що відповідає пухирковому кипінню теплоносія, тобто передаварійному режиму. Слід відзначити, що спектральні структури цих сигналів є суттєво подібними і в реальних умовах експертом-діагностом візуально ідентифіковані бути не можуть. Таким чином, аномальний теплогідравлічний режим, що відповідає початку кипіння теплоносія на поверхні ТВЕЛ і становить клас А2, евристично не може бути ідентифікований експертом-діагностом на основі візуального аналізу структури цього сигналу.

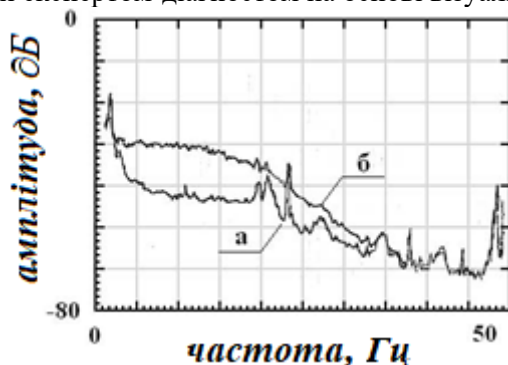


Рис.1. Типові реалізації діагностичних сигналів нейтронного шуму, що відповідають: а) штатному режиму (клас А1) конвективної тепловіддачі з поверхні реальних ТВЕЛ у експериментальній ТВЗ реактора ВВЕР – 440. б) розвиненій теплогідравлічній аномалії (клас А3) в цій ТВЗ, з пухирковим кипінням теплоносія в активній зоні цього реактору.

Визначення межі між класами A1 та A2, що є невідомою експертам, в даній роботі практично реалізовано на основі математичного підходу до визначення моменту розладки випадкового часового ряду [3]. Останній утворено відповідною послідовністю рівнів спектральної повності в спектрах діагностичного сигналу нейтронного шуму при збільшенні теплової потужності реакторного каналу. Дослідження зазначених випадкових часових рядів, виконані в даній роботі, довели можливість їх ефективної апроксимації послідовностями авторегресійного типу. Так, нехай w_1, w_2, \dots, w_N є проінтегрованою послідовністю авторегресії (АР), тобто:

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

Де: ∇^d – оператор різності; d – порядок різності; p – порядок авторегресії; Φ_1, \dots, Φ_p – коефіцієнти авторегресії; ε_t – незалежна гаусівська послідовність.

Аналіз послідовностей рівнів спектральної повності у інформаційно значущих спектральних ознаках нейтронного шуму показав, що міжкласовий перехід супроводжується суттєвою зміною $(p+1)$ -мірного вектору параметрів моделі (1) тобто $\theta^T = (\Phi_1, \dots, \Phi_p, \sigma_\varepsilon)$. Формально, виявлення факту зміни цього вектора параметрів моделі АР, а саме: коефіцієнтів авторегресії Φ_1, \dots, Φ_p - дає змогу вирішити задачу виявлення початку міжкласового переходу. На рис.2 представлено результати пошуку розладки у ключовому спектральному каналі в момент переходу від класу А1 до класу А2.

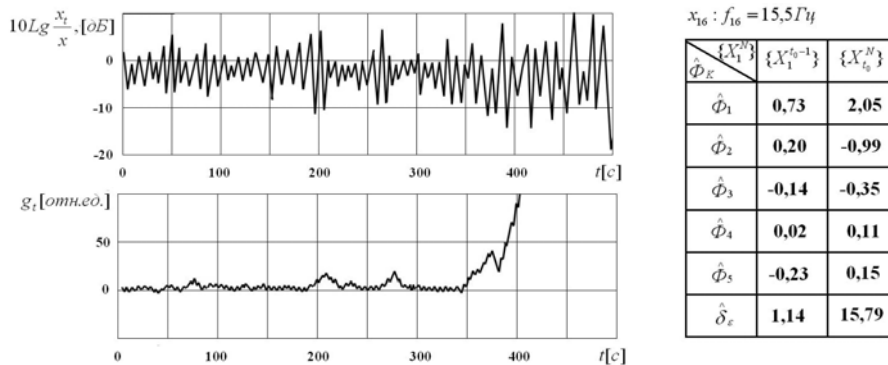


Рис. 2. Форма функціонування алгоритму визначення моменту міжкласового переходу за умови апріорної невизначеності класів.

На цій же формі наведено обчислені відповідно до запропонованого алгоритму параметри авторегресії відповідного часового ряду, зміна яких свідчить про наявність факту зміни статистичних властивостей цього ряду в момент зафіксованого міжкласового переходу. Показово, що спектральні канали для пошуку розладки були попередньо визначені експертом, виходячи з відомих фізичних особливостей процесу кипіння теплоносія на поверхні ТВЕЛ та характерних властивостей нейтронного шуму, як діагностичного сигналу. Автоматичне визначення межі між класами А1 та А2, а також наступне виокремлення класу А3 дозволило сформувати відповідні навчальні вибірки [1]. Це дало змогу ефективно реалізувати автоматичну діагностику на основі ШНМ з топологією Кохонена.

Висновки

1. Дослідження структури випадкових часових рядів, що утворені рівнями спектральної повності в інформаційно значущих частотних діапазонах спектрів сигналів, які надходять з виходу діагностичних сенсорів довели можливість їх ефективної апроксимації послідовностями авторегресійного типу.

2. 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 теорії стохастичних динамічних систем

1. Г.І. Шараєвський. *Нейромережові програмні засоби для автоматичної діагностики елементів обладнання атомних електростанцій*: автореф.дис...канд.техн.наук: 01.05.03 / ІПМЕ НАН України. Київ, 2011. 24 с.
2. С. Хайкин. *Нейронные сети: полный курс* (И.Д. Вильямс, 2016) 1104 с.
3. А.А. Жигалевский, А.Е. Красковский. *Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники* (Л.: Изд. Ленингр. ун- та, 1988) 224 с.