

## УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ СУПЕРМЕРЕЖІ

Балан С.О., Становська Т.П., Красножон С.М.,

Одеський національний політехнічний університет,

Одеська державна академія холоду

Множину складних регенеруючих технічних систем (СРТС) масового виготовлення таких як, наприклад, апарати нафтохімічного виробництва, можна уявити як деяку спільноту незв'язаних або слабо зв'язаних індивідуумів, які працюють в різноманітних конкретних умовах експлуатації.

В процесі роботи в кожній окремій СРТС накопичуються ушкодження, які можуть призводити до відмови усєї системи. Їх причина містить як детерміновану компоненту, пов'язану з особливостями конструкції, так і стохастичну, – визначену умовами її експлуатації. Життєвий цикл СРТС відрізняється малопередбачуваністю також через суб'єктивність у прийнятті експлуатаційних рішень, а також через те, що їхня регенерація сама по собі є дією непередбачуваною по термінах і якості.

Своєчасний, випереджаючий ремонт та заміна елементів, ресурс яких наближається до своєї межі, є метою управління життєвим циклом, яке неможливе без сучасних методів прогнозування ушкоджень, наприклад, використання нейросіткових інформаційних технологій. Останні, як відомо, базуються на “трьох китах”: архітектурі, математичних моделях нейронів і методах оптимізації, а також на забезпеченні відповідними даними для навчання мережі. Аналіз доробок, які існують в прогнозуванні життєдіяльності СРТС за допомогою нейронних мереж, дозволяє дійти висновку, що найбільша проблема полягає, насамперед, у репрезентативності навчальної вибірки – головної цінності нейросіткової моделі, від об'єму та якості якої залежить адекватність моделювання.

Тому при моделюванні життєвого циклу СРТС за допомогою нейронної супермережі, яка складається з окремих нейронних мереж (НМ), важливим етапом є виділення головних внутрішніх та зовнішніх чинників його експлуатації, які призводять до різного виду ушкоджень. Розглянемо такий процес на прикладі найбільш

розповсюдженого елемента хімічних та нафтохімічних виробничих комплексів — кожухотрубчастого теплообмінного апарата жорсткого типу із нерухомими трубними решітками [1].

Середній плановий ресурс апарата до першого ремонту — 120 міс. розподіляли на п'ять ресурсних ітерацій по 24 міс. Вважаючи, що всі ушкодження відбуваються в апараті тільки наприкінці кожної ресурсної ітерації, одержували п'ять “окремих” теплообмінників з різним внутрішнім станом. Відповідно, для моделювання життєвого циклу теплообмінника створена супермережа з п'яти чотирьохшарових НМ, кожна з яких відтворювала стан апарата протягом однієї ітерації.

Як показує досвід експлуатації, до ушкоджень теплообмінних апаратів можна віднести, насамперед, забруднення та знос. В першому випадку робоча поверхня апаратів покривається накипом, мастилом, відкладенням солей та смол, окислюється, тощо. Знос полягає в зменшенні товщини стінки корпусу, днища, трубних решіток; опуклостях та вм'ятинах на корпусі та днищах; свищах, тріщинах, прогарах на корпусі, трубках та фланцях; збільшенні діаметру отворів для труб в трубних решітках; прогині трубних решіток та деформації трубок; пошкодженні компенсаторів різних типів; пошкодженні сальникових пристроїв, каткових та пружинних опор; порушенні гідро- і термоізоляції [2].

Для обладнання, яке розглядається, внутрішні чинники ушкоджень складаються з поточного стану окремих деталей апарата та його вузлів в процесі експлуатації (справний, частково ушкоджений, зруйнований). За досвідом технічного обслуговування та ремонту багатьох кожухотрубчастих теплообмінників [2, 3] виділена скінченна кількість головних внутрішніх чинників — 12 типів можливих його ушкоджень, які враховуються моделлю (рис. 1), а імовірність виникнення ушкодження апарата будь-якого іншого типу протягом періоду експлуатації вважалася рівною нулю.

Головні типи ушкоджень отримували найменування за назвою відповідних деталей, що входять у конструкцію, або з'єднань між ними (табл. 1).

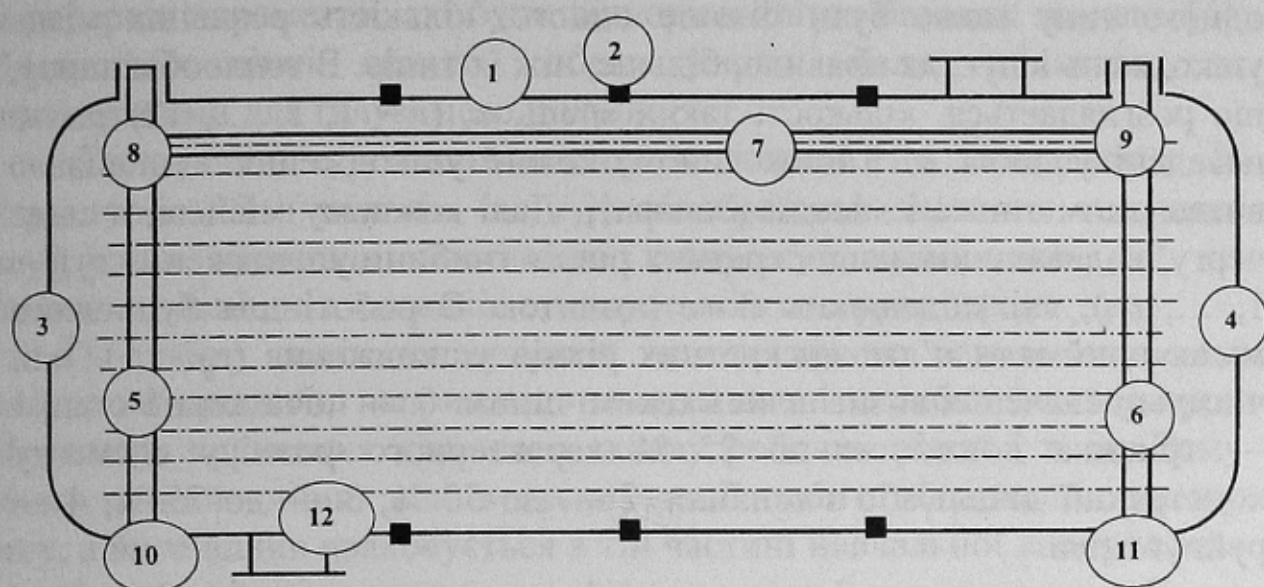


Рисунок 1 - Схема розташування місць можливих ушкоджень кожухотрубчастого теплообмінного апарата (позначення — в табл. 1)

Таблиця 1

Типи і кількість внутрішніх чинників експлуатації

№ на рис. 1	Тип ушкодження	Кількість місць ушкодження, $m_i$	Позначення	Вид змінної
1	Корпус (обичайка)	4	$x_1, y_1$	дискретна
2	Корпус (зварний шов)	12	$x_2, y_2$	дискретна
3	Ліве днище	1	$x_3, y_3$	дискретна
4	Праве днище	1	$x_4, y_4$	дискретна
5	Ліва трубна решітка	1	$x_5, y_5$	дискретна
6	Права трубна решітка	1	$x_6, y_6$	дискретна
7	Трубка	37	$x_7, y_7$	дискретна
8	Ліва трубна решітка / трубка	37	$x_8, y_8$	дискретна
9	Права трубна решітка / трубка	37	$x_9, y_9$	дискретна
10	Корпус / ліве днище	1	$x_{10}, y_{10}$	дискретна
11	Корпус / праве днище	1	$x_{11}, y_{11}$	дискретна
12	Корпус / фланець	4	$x_{12}, y_{12}$	дискретна

Оскільки в кожному конкретному апараті деталей або з'єднань одного типу може бути більше одного, кількість реальних місць ушкоджень існує, як правило, більше, ніж їх типів. В теплообміннику, що розглядається, кількості таких місць  $m_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 12$ ) також наведені у табл. 1. Таким чином, кожне ушкодження відповідало визначеним типам і місцям в апараті. Далі кожному місцеві, в свою чергу, надавали кілька дискретних рівнів глибини ушкодження  $r_{ij}$  ( $j = 1, \dots, m_i$ ), які моделюють його розвиток. В роботі для будь-якого місця приймали п'ять дискретних рівнів ушкодження ( $r_{ij} = 5$ ). Їхні чисельні значення визначалися таким чином: 0 — початковий стан; 1 — тріщина довжиною до 25 % характерного розміру елемента конструкції деталі або з'єднання; 2 — до 50 %; 3 — до 75 %; 4 — руйнування.

До множини зовнішніх чинників, що враховуються, відносили технічні умови експлуатації (хімічне, термічне і барометричне навантаження і т. д.) та умови виробництва (природно-кліматичні, організація, культура і т. д.). За досвідом технічного обслуговування і ремонту хімічного та нафтохімічного обладнання виділена скінченна кількість головних зовнішніх чинників, що враховуються (табл. 2).

Таблиця 2

Типи і кількість зовнішніх чинників — умов експлуатації

№ №	Тип зовнішніх чинників	Одиниця вимірюва ння	Познач ення	Вид змінної
1	Термін експлуатації	міс	$x_{13}$	неперервна
2	Коефіцієнт використання	—	$x_{14}$	неперервна
3	Температура максимальна	град	$x_{15}$	неперервна
4	Частота теплосмін	1/год	$x_{16}$	неперервна
5	Інтенсивність теплосмін	град	$x_{17}$	неперервна
6	Їдкість тепловіддавача	бал	$x_{18}$	дискретна
7	Їдкість теплоодержувача	бал	$x_{19}$	дискретна
8	Запобігання відмовам	бал	$x_{20}$	дискретна
9	Запобігання зносу	бал	$x_{21}$	дискретна
10	Природні умови	бал	$x_{22}$	дискретна
11	Культура виробництва	бал	$x_{23}$	дискретна
12	Організація виробництва	бал	$x_{24}$	дискретна

З дванадцяти розглянутих типів чинників п'ять мають неперервні параметри, які були віднормовані до базових значень [4]. Дискретні змінні являли собою умовні бали, обчислені за стандартними для галузі методиками.

Таким чином, вхідний вектор  $X$  кожної НМ складався з 24 параметрів: 12 з них  $\{x_1 \dots x_{12}\}$  відображали значення головних внутрішніх чинників технічного стану теплообмінників, 12 — головних зовнішніх чинників експлуатації конструкції  $\{x_{13} \dots x_{24}\}$ .

У роботі хімічних апаратів мають також велике значення випадкові процеси, наприклад, незаплановані стрибки температури або тиску, коливання хімічного складу робочих рідин і т. ін. Тому стохастичний чинник має в експлуатації такого обладнання значну вагу, а його вплив враховується в тій частині навчальної виборки, яка моделює зовнішні впливи.

На виході кожної НМ супермережі концентруються два вектори параметрів: після третього шару 12 параметрів вектора  $Y \{y_1, \dots, y_{12}\}$  відбивають стан конструкції наприкінці відповідної ресурсної ітерації, причому кожен з них, як і параметри стану на вході, має 5 дискретних значень (0, 1, ..., 4), а після четвертого — вектор  $Z \{z\}$  сповіщає про придатність до експлуатації системи в цілому.

При розрахунку кількості нейронів в окремих шарах НМ виходили з таких міркувань.

У першому шарі кількість нейронів дорівнювала кількості параметрів на вході НМ, тобто 24.

Оскільки в кожен момент апарат може знаходитися в стані, що відповідає тільки одному значенню рівня ушкодження кожного місця, загальна кількість альтернативних станів апарата в нашому прикладі дорівнювала

$$S_{\Sigma} = \prod_{i=1}^{12} (5m_i) \approx 2,37 \cdot 10^{15}.$$

Логарифмуючи цю кількість за основою 5 (від кількості станів кожного місця ушкодження, які треба запам'ятати в НМ), одержимо  $\log_5 2,37 \cdot 10^{15} \approx 22$ ; отже кількість нейронів у другому шарі дорівнювала 22. В третьому шарі кількість нейронів дорівнювала кількості параметрів на виході НМ, тобто 12.

Отже перші три шари НМ складаються з 58 нейронів, які реалізують сигмоїдальну функцію активації. Четвертий шар НМ складається з одного нейрона, який реалізує порогову функцію активації.

Загальна схема архітектури НМ наведена на рис. 2.

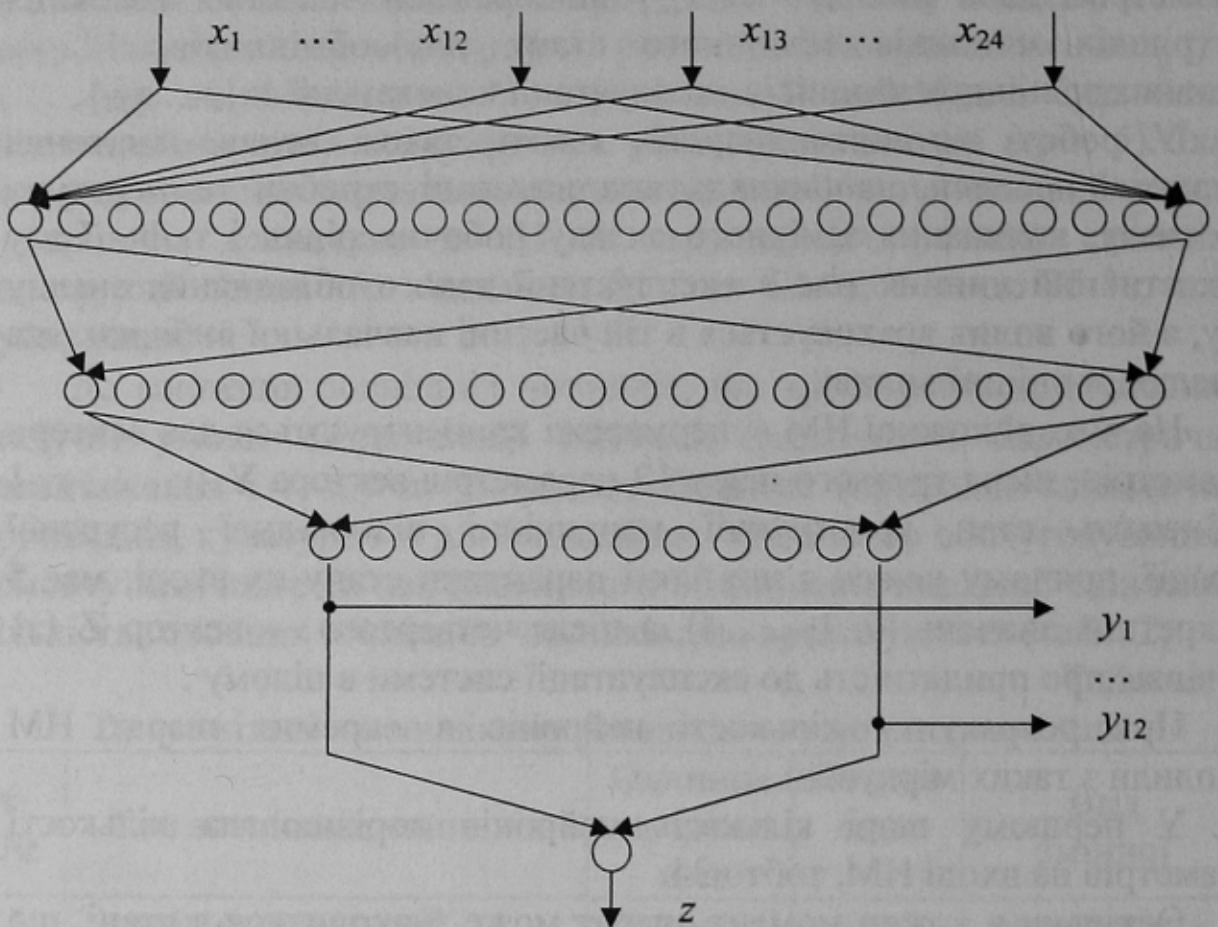


Рисунок 2 - Схема архітектури НМ

До функції перших трьох шарів конкретної, "прив'язаної" до визначеної ресурсної ітерації НМ входило автоматичне прогнозування технічного стану кожухотрубчастого теплообмінника, який опинився після початку експлуатації або після чергового ремонту саме на цій ресурсній ітерації.

До функції четвертого шару НМ входила автоматична класифікація апарата на належність до одного з двох класів: можлива або неможлива подальша експлуатація. Відповідно при навчанні НМ для різних шарів застосовували різний підхід.

Перші три шари НМ навчали методом зворотного поширення [5] по навчальних вибірках виду  $\langle x_1 \dots x_{24} \rangle \langle y_1 \dots y_{12} \rangle$ . Четвертий шар, що складається з одного нейрона, навчали шляхом розрахунку ваг синапсів його входу методом статистичної обробки характеристик надійності кожухотрубчастих теплообмінників, які входять у перелік зовнішньої інформації про відмови і ремонти.

Первинне настроювання параметрів НМ на кожній часовій ітерації здійснювали по навчальних вибірках, одержаних при прискорених гідравлічних випробуваннях. Далі НМ на кожній ітерації донавчали за даними, що надходять з місць реальної практичної експлуатації кожухотрубчастих теплообмінників даного виду.

Порівняння даних експериментальних досліджень теплообмінників з результатами моделювання їх життєвого циклу за допомогою НМ показали, що достовірність прогнозування ушкоджень на одній ресурсній ітерації супермережі складає 85–87 %.

Побудована модель дозволяє з досить високою імовірністю прогнозувати події, які відбуваються на протязі життєвого циклу хімічного та нафтохімічного обладнання, з метою використання даних прогнозу для потреб проектування та управління експлуатацією виробничих комплексів даного класу.

#### Список джерел

1. Кострова Г.В., Савельєва О.С., Становський О.Л. Обладнання нафтогазової та хімічної галузі. — Одеса: ОДПУ, 2001. — 135 с.
2. Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования. — Л.: Химия, 1981. — 368 с.
3. Максименко М.З., Краснов В.И. Ремонт теплообменников. — М.: Химия, 1990. — 104 с.
4. Балан С.А., Становский А.Л., Халиль Ягхи. Статистические методы прогнозирования жизненного цикла сложных восстанавливаемых технических систем // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2000. — Вып. 3 (12). — С. 95 — 98.
5. Аведьян Э.Д. Алгоритмы настройки многослойных нейронных сетей // Автоматика и телемеханика. — 1995. — № 4. — С. 106 — 118.