
УДК 621.791.01.669

Макаренко В., Пабат В., Чеботар І., Лукач В., (Ніжинський агротехнічний Інститут НУБіПУ)

Експлуатаційна надійність екологічно небезпечних резервуарів в аграрнопереробній галузі

У статті наведені результати дослідження ресурсу безпеки резервуарів із застосуванням нейромережового аналізу.

Ключові слова: ресурс, резервуар, нейронна мережа, надійність, корозія.

Вступ. Відомо, що практично всі нафтопродукти (дизельні палива, бензин, газолін та ін.), які добуваються і переробляються в Україні, транспортуються і зберігаються підрозділами НАК«Укрнафтогаз». Тому технологічний процес перекачування нафтопродуктів у таких кількостях припускає наявність резервуарів великих об'ємів. У зв'язку з цим, питанням забезпечення експлуатаційної надійності резервуарних парків надається важливе значення, зокрема це стосується і резервуарів, які експлуатуються в промислових умо-

вах в аграрнопереробній галузі.

Аналіз досліджень і публікацій. Більша частина резервуарів, які зараз експлуатуються, побудовані 20-30 років тому. Нормативний термін – 20 років експлуатації – перевищили 24,9% резервуарів. Аналіз динаміки старіння резервуарного парку показує, що до 2020 року термін експлуатації 90% резервуарів перевищить нормативний, тому вже зараз необхідно вживати екстрених заходів з відновлення експлуатаційної придатності більшої частини наявного резервуарного парку.

З аналізу літературних даних [5-10] і результатів численних спостережень авторів цього дослідження можна зробити висновок, що до основних причин руйнації резервуарів можна віднести: корозійний знос днища, низьку корозійну тріщиностійкість нижніх поясів вертикальної стінки резервуарів, заводські і монтажні дефекти.

Постановка проблеми. До корозійних пошкоджень відноситься корозія зварних з'єднань і основного металу, яка сильно проявляється під дією циклічних і вібраційних навантажень. Тому стає очевидною необхідність у вивченні корозійної тріщиностійкості резервуарних сталей зі зміною напружено-деформованого стану РВС в умовах впливу корозійно-активних середовищ і мінусових температур. Крім того, численні дослідження змін властивостей міцності металоконструкцій після 20 років експлуатації показали практично повну їх постійність. Слід звернути увагу на те, що хоча запас надійності РВС настільки великий (відомі випадки, коли резервуари безаварійно експлуатувалися більше 20 років, маючи як заводські, так і монтажні дефекти), проте у зв'язку з погіршенням якості виготовленої резервуарної сталі і транспортованих продуктів, питання корозійної тріщиностійкості металу зварних швів і основної сталі мають право на існування та додаткове вивчення.

Мета досліджень – вивчення корозійної тріщиностійкості резервуарних сталей, які перебувають у тривалій експлуатації, із застосуванням нейромережевого методу аналізу.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження служила низьковуглецева сталь марки ВСт.Зсп (ГОСТ 380 - 88), яка експлуатувалась протягом 3, 15 і 25 років, фрагменти якої вирізали з демонтованих резервуарів у процесі їх ремонту. Для порівняння використовували не експлуатовану сталь такої ж марки, хімічний склад якої дорівнює (мас. %): С 0,18; Мп 0,16; Si 0,23; S 0,039; Р 0,037; Cr 0,28; Ni 0,25; Cu 0,26. Механічні властивості сталі: $\sigma_B = 460$ МПа; $\sigma_T = 240$ МПа; $\delta = 26\%$; KCU = 69 Дж/см² (t = +20°C); KCU = 29 Дж/см² (t = -20°C).

Корозійну тріщиностійкість досліджували відповідно до стандарту NACE TM 01 - 77 (90), метод А, на циліндричних зразках діаметром робочої частини 3 мм, що дозволяла товщина сталевих листів стінки і днища. Випробовували зразки на установці УСМР-6

під навантаженням $0,8 \sigma_{0,2}^{\min}$ (у кожному експерименті використовували по 3 зразки). При цьому визначали порогові значення показника корозійної тріщиностійкості σ_{SSC} для того, щоб порівняти якість сталей різних термінів експлуатації. Умови випробувань за цим стандартом такі: тривалість – 720 год. у розчині підтоварної

води (рН 6,4) з додаванням: $C_{Cl^-} = 5...80$ мг/л; $C_{O_2} = 5...50$ мг/л. Обрані розчини, які містять хлор, дозволили отримати дані про залежність корозійної тріщиностійкості резервуарних сталей від спільного утримання в підтоварній воді зазначених компонентів, які входять до її складу; температура випробувань – t = 20 ± 2°C.

Параметр σ_{SSC} визначали з залежностей - $\sigma_i - \lg t$ (σ_i –

початкове навантаження; t – час до руйнування, години), за яких зразки не руйнуються на прийнятій тимчасовій базі випробувань.

Залежності $\sigma_i - \lg t$ будували за мінімальними значеннями часу до руйнування під кожним навантаженням, оскільки використання середніх значень неприпустиме з огляду необхідності гарантованої працездатності резервуарного обладнання в технологічних середовищах з хлор-аніонами і киснем.

Враховуючи велику різноманітність, значний обсяг і, найчастіше, суперечливість інформації щодо корозійного руйнування, назріла гостра необхідність у пошуку нових методів його ефективного аналізу. Вирішення цього завдання пов'язане з новими інформаційними технологіями, важливе місце серед яких займають штучні нейронні мережі (ШНС) [1].

У цій роботі авторами вперше зроблено спробу створення і навчання ШНС на основі обмеженого набору експериментальних даних з метою отримання відсутніх відомостей для коректного прогнозування корозійно-механічної поведінки резервуарних сталей ВСт.Зсп, як найбільш поширеної в будівництві РВС, в близьких до нейтральних хлоридних середовищ, що містять корозійно-активний компонент – розчинений кисень. Використовували ШНС з одним виходом, тобто його структура включає шар нейронів-рецепторів (вхідний шар), який здійснює прийом інформації ззовні; шар асоціативних нейронів (прихований); шар вихідних нейронів, які формують реакцію мережі на зовнішній стимул. З літератури [2, 3] відомо, що, як правило, одного прихованого шару достатньо для вирішення подібних завдань.

Для вибору оптимального числа нейронів у прихо-

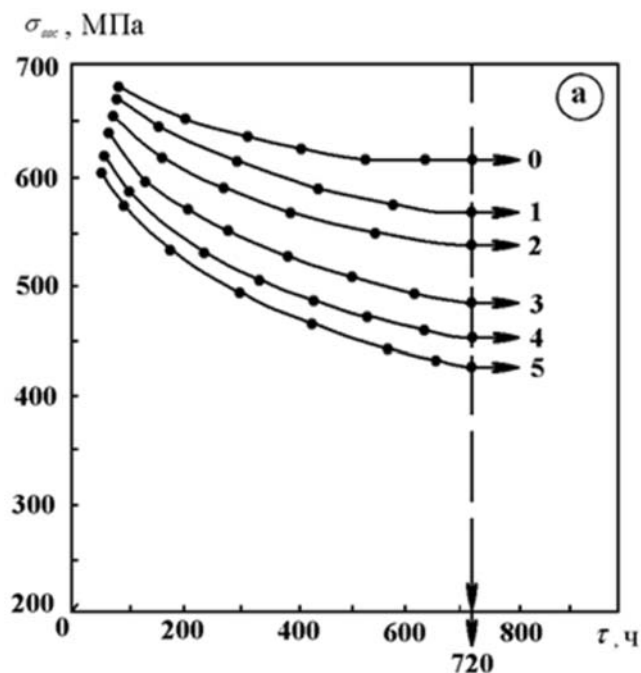


Рис. 1 – Графіки залежності показника корозійної тріщиностійкості σ_{SSC} від концентрації кисню в модельному середовищі. Сталь резервуарна експлуатувалася 25 років. Цифрові позначення: 0 – 5 мг/л O_2 ; 1 – 10 мг/л O_2 ; 2 – 20 мг/л O_2 ; 3 – 30 мг/л O_2 ; 4 – 40 мг/л O_2 ; 5 – 50 мг/л O_2 . Діапазон значень σ_{SSC} не перевищує ± 10 – 12%

ваному шарі ШНС використовували відповідно до рекомендацій роботи [4] нейрогенетичний алгоритм, який забезпечує швидкий пошук оптимальної структури [10]. Для досліджуваного критерію тріщиностійкості аналізували 25 варіантів мережі.

На попередньому етапі під час навчання обраної ШНС, вибір експериментальних даних випадковим чином розділявся на підмножину – навчальну (70% даних використовується безпосередньо для навчання) і тестову (30% даних використовується для контролю здатності ШНС до узагальнення інформації). Вибір алгоритму навчання визначали, в основному, швидкістю досягнення та якістю оптимальних параметрів навчання ШНС.

Створені ШНС були реалізовані за допомогою пакета Statistica Neural Network. З використанням підготовлених ШНС були отримані узагальнені залежності критеріїв тріщиностійкості сталі ВСт.3сп від параметрів розчину і на їх основі виконаний інженерний прогноз деформаційної поведінки резервуарних сталей.

Результати експериментальних досліджень сталі ВСт.3сп в середовищах з різними концентраціями хлорид-іонів і кисню отримані в обмеженому діапазоні умов і термінів експлуатації резервуарів, що не дозволяє провести масштабний аналіз залежностей критерію тріщиностійкості від параметрів розчину (рис. 2, 3). Очевидним є лише наявність безумовно нелінійних зв'язків між змінними.

Результати комп'ютерних експериментів з вибору структури ШНС і її подальшого навчання дозволили вибрати оптимальне число нейронів у прихованому шарі, причому помилка навчання і тестування обраної структури ШНС, незважаючи на різний алгоритм навчання, несуттєво відрізняється під час аналізу критерію тріщиностійкості (табл. 1).

Середньоквадратичні помилки навчання і тестування складають відповідно 0,5 - 2,5 і 1,8 - 4,9% і свідчать про добру навченість ШНС і їх здатність з досить малою помилкою передбачати значення кожного з потенціалів.

В оцінюванні впливу кожного з вхідних параметрів (концентрація аніона і вміст кисню) на якість критерію значимості фактора служив ступінь погіршення роботи ШНС в разі його відсутності [3].

Чутливість кожної змінної окремо, навчальної і тестової підмножини, оцінювали за трьома параметрами – «Ранг», «Помилка» і «Відношення». Значення цих параметрів і їх роль у проведенні навчальних та тестових операцій детально описані в роботах [2, 4].

Таблиця 1
Оптимальні параметри ШНС для прогнозування критерію корозійної тріщиностійкості і помилка ШНС під час навчання і тестування

Критерій тріщиностійкості на виході мережі	Кількість нейронів у прихованому шарі мережі	Помилка навчання мережі	Помилка тестування мережі	Алгоритм навчання	Число циклів навчання
σ_{ssc}	6	0,007	0,0422	ЛМ	350
	6	0,005	0,0374	ССГ	285

Примітка: ЛМ – метод Левенберга – Маркара; ССГ – метод спуску сполученими градієнтами

З даних табл. 2 видно, що найсильніше на показник σ_{ssc} впливає концентрація в розчині O_2 і значно слабкіше концентрація хлориду. Таким чином, найбільш значущим вхідним параметром для розглянутого показника виявляється концентрація в розчині кисню.

Таблиця 2
Вплив концентрації аніону хлору і кисню на показник тріщиностійкості резервуарної сталі ВСт.3сп

Параметр	Вхідні змінні			
	Навчання		Тестування	
	концентрація		концентрація	
	Cl ⁻	O ₂	Cl ⁻	O ₂
Ранг	2	1	2	1
Помилка	0,074	0,195	0,052	0,131
Відношення	11,237	22,315	2,286	4,712

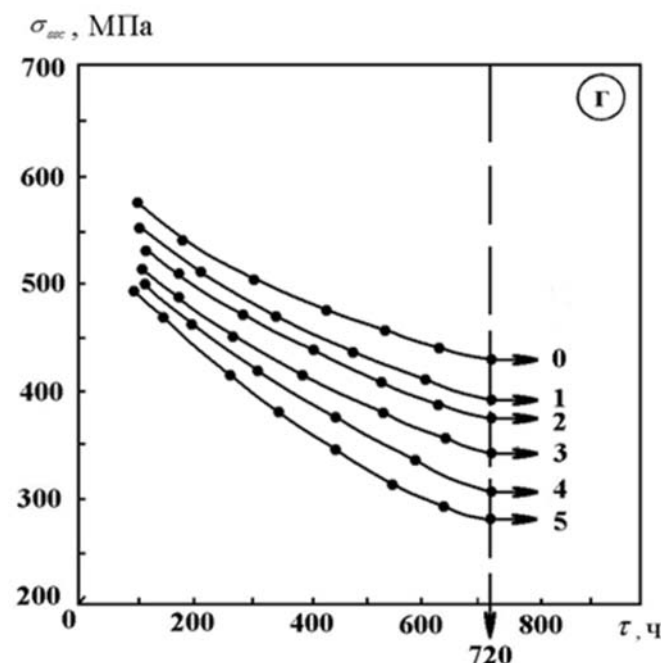


Рис. 2 – Графіки залежності показника корозійної тріщиностійкості від концентрації хлор-аніону в модельному середовищі. Сталь резервуарна експлуатувалася 25 років. Цифрові позначення: 0 – 5 мг/л Cl⁻; 1 – 15 мг/л Cl⁻; 2 – 30 мг/л Cl⁻; 3 – 45 мг/л Cl⁻; 4 – 60 мг/л Cl⁻; 5 – 80 мг/л Cl⁻

Навчені ШНС використовували для прогнозування σ_{ssc} як в межах експериментально апробованих параметрів, так і за їх межами. Як видно з рис. 1 і 2, показник σ_{ssc} складним чином залежить від концентрації хлор-аніону і кисню у випробуваному середовищі, але все ж можна простежити деякі загальні закономірності.

Так, зі спільним збільшенням концентрації хлор-аніону і кисню в розчині різко знижується корозійна тріщиностійкість резервуарної сталі. Особливо це чітко спостерігається для сталей, вирізаних із демонтованих резервуарів, експлуатованих досить тривалий час – 15 і 25 років. Ці дані добре узгоджуються з результатами досліджень вітчизняних [9, 10] та зарубіжних [6-8] авторів.

Аналіз отриманих результатів за допомогою нейромереж дозволив отримати узагальнену діаграму прогнозованих областей корозійної тріщиностійкості резервуарних низьковуглецевих сталей в близьких до нейтральних хлоридних середовищах, які містять кисень (рис. 3).

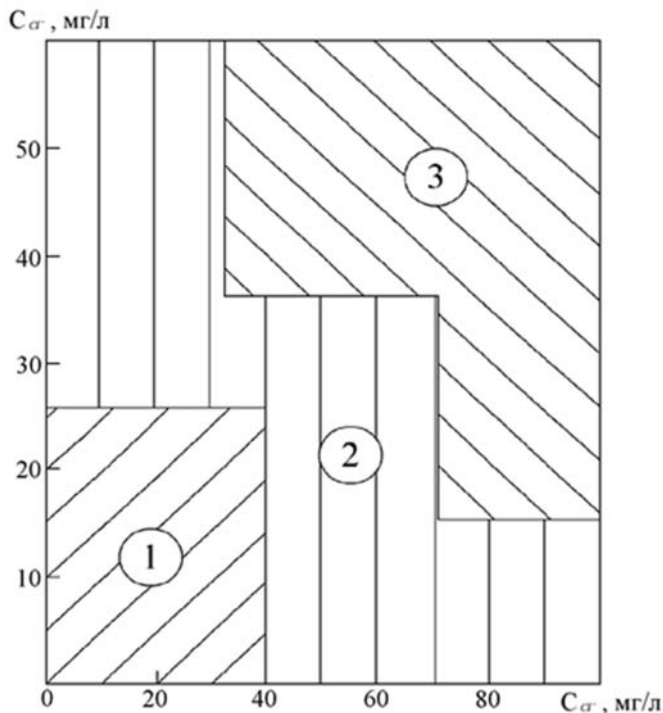


Рис. 3 – Передбачені ШНС області корозійної тріщиностійкості резервуарної сталі ВСт.3сп в хлоридних середовищах, які містять розчинений кисень: 1 – стійкий опір тріщиноутворенню; 2 – область можливого зародження мікротріщин і окрихчування металу; 3 – область активного зниження корозійної тріщиностійкості

Слід зазначити, що дані, наведені на рис. 3, узгоджуються з численними відомими випадками корозійного пошкодження і подальшого руйнування резервуарних конструкцій з низьковуглецевих сталей у природних і промислових хлоридокисневмісних середовищах.

Слід зазначити, що навчена ШНС дозволяє розширити діапазон прогнозованих значень факторів за межі експериментальних даних, зокрема, передбачити значення показника корозійної тріщиностійкості σ_{SSC} в дуже розбавлених або концентрованих розчинах солей (кислих і лужних областях). Звісно, помилка прогнозу, яка видається ШНС, збільшуватиметься в міру віддалення від меж, які визначають експериментальні дані.

Висновки:

1. На прикладі системи «сталь ВСт.3сп – хлоридокисневмісне середовище» вперше показана можливість застосування нейромережевого моделювання для прогнозування характеру корозійної тріщиностійкості металу.

2. Моделювання процесів корозійної тріщиностійкості нейронною мережею є ефективним інструментом аналізу і узагальнення експериментальних даних під час корозії в умовах впливу багатьох чинників і нестачі інформації.

3. Застосування методів нейромережевого аналізу дозволяє адекватно прогнозувати характер опору зародженню і росту корозійних тріщин залежно від концентрації розчину стосовно до резервуарних низьковуглецевих сталей.

4. З використанням методу нейромережевого моделювання встановлено, що в близьких до нейтральних хлоридних середовищах характер розчинення низьковуглецевих сталей більшою мірою обумовлений кислотністю розчину, ніж концентрацією хлорид-аніонів – активаторів корозійного процесу.

Список літератури

1. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. – М.: Мир, 2012. – 183 с.
2. Горбань А. Н. Обучение нейронных сетей. – М.: СП ПараГраф. – 2011. – 156 с.
3. Горбань А. Н., Дунин – Барковский В. Л., Кипдин А. Н. и др. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение РАН. – 2008. – 296 с.
4. Нейронные сети в Statistica Neural Network/ Пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2013. – 182 с.
5. Моисеева Л. С. Углекислотная коррозия нефтегазопромыслового оборудования. – Защита металлов, 2011. – т. 41. – №1. – С. 82 – 90.
6. Венгерцев Ю. О., Глоба В. М., Мартинюк Т. А. Засоби підвищення експлуатаційної надійності сталевих резервуарів // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №4. – С. 47 – 48.
7. Веревкин С. Н., Ржавский Е. Л. Повышение надежности резервуаров, газгольдеров и их оборудования. – М.: Недра. – 2013. – 248 с.
8. Прохоров В. А. Разрушение резервуаров и их ущерб в условиях Севера // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – Якутск: ЯГУ. – 2010. – С. 7 – 16.
9. Макаренко В.Д. Надежность нефтегазопромыслового оборудования. Челябинск: Изд – во ЦНТИ, 2014. – 826 с.
10. Макаренко В. Д., Синкевичюс А. А., Беляев В. А. и др. Нейросетевой анализ технологических свойств материалов. – Нижневартовск: Изд – во Нижневартовского гос. гуманитар. ун – та. – 2013. – 168с.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования безопасного ресурса резервуаров с применением нейросетевого анализа.

Summary. The results of a research in the field of safety resources of tanks using the neuronet analysis are given in the article.

Стаття надійшла до редакції 5 листопада 2015 р.