

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ У ДРУГОМУ КОНТУРІ АЕС З РЕАКТОРОМ ТИПУ ВВЕР-1000

Мердух С.Л., Сангинова О.В.

НТУУ «КПІ, olga.sanginova@gmail.com

Важливим показником якості води, від якого залежить корозійне середовище другого контуру АЕС із ВВЕР-1000, є електропровідність. З метою попередження корозії обладнання та утворення відкладень на теплообмінних поверхнях другого контуру, значення питомої електропровідності нормують та підтримують у певному діапазоні. Визначення значення цієї величини у будь-який момент часу та в будь-якій точці другого контуру є важливим завданням не тільки для підтримання водно-хімічного режиму, а й для вирішення задач короткочасного прогнозування.

Питома електропровідність  $\chi$  водного розчину залежить від температури, концентрації та типу електроліту, ступеня його дисоціації та швидкості руху іонів; вимірюється методами кондуктометрії. Розрахунок питомої електропровідності здійснюють за формулою:

$$\chi = 10^{-3} \sum (\lambda_{\infty i} \cdot f_i \cdot C_i), \quad (1)$$

де  $\lambda_{\infty i}$  – гранична еквівалентна електропровідність для  $i$ -го іону, См см<sup>2</sup>/г-екв;  $f_i$  – коефіцієнт активності  $i$ -го іону;  $C_i$  – концентрація  $i$ -го іону, г-екв/дм<sup>3</sup>.

Необхідно також розрахувати деякі фізико-хімічні показники якості води, зокрема іонну силу концентрації домішок  $\mu$ , моль/дм<sup>3</sup>:

$$\mu = 0,5 \sum C_i Z_i^2, \quad (2)$$

де  $Z_i$  – заряд  $i$ -го іону, та загальний солеміст:

$$CC = \sum Kt + \sum An, \quad (3)$$

де  $\sum Kt$  та  $\sum An$  – сума катіонів та аніонів у воді, мг/дм<sup>3</sup>.

Значення  $\sum Kt$  та  $\sum An$  визначають за результатами хімічного контролю водного середовища та перевіряють, щоб значення відрізнялись не більше, ніж на 1%. В іншому випадку дані мають бути виправлені так, щоб сума  $\sum Kt$  та  $\sum An$  виконувалась точно.

Оцінювання адекватності розрахунків виконувалось шляхом порівняння розрахункових даних з даними нормальної експлуатації АЕС.

Іонний склад води			
	Концентрація С, мг/дм <sup>3</sup>	Молярна маса М, г/моль	Еквівалентна маса Е, г/моль
<b>Катіони</b>			
Ca <sup>2+</sup>	28,0	40,08	20,04
Mg <sup>2+</sup>	7,0	24,31	12,015
K <sup>+</sup> та Na <sup>+</sup>	11,0	23	23
<b>Аніони</b>			
OH <sup>-</sup>	0	17	17
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	126,0	61	61
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	60,01	30,005
(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	23,0	96,07	48,035
Cl <sup>-</sup>	16,0	35,45	35,45

Рис. 1 Головне вікно програми

Результати розрахунків несуттєво відрізняються від даних експлуатації: середнє квадратичне відхилення – 0,17%; коефіцієнт кореляційного відношення  $r=0,997$ .

Неперервний розрахунок електропровідності можливий за умови використання програмного модулю, головне вікно якого подано на рис. 1.

Катіони	Нормальність N, мг-екв/дм <sup>3</sup>	N", мг-екв/дм <sup>3</sup>	C", мг/дм <sup>3</sup>	Молярність M1, моль/дм <sup>3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	1,40	1,40	28,0	6,99*10 <sup>-3</sup>
Mg <sup>2+</sup>	0,58	0,58	7,0	2,9*10 <sup>-4</sup>
K+ та Na+	0,478	1,02	23,4	1,02*10 <sup>-3</sup>

  

Аніони	Нормальність N, мг-екв/дм <sup>3</sup>	N", мг-екв/дм <sup>3</sup>	C", мг/дм <sup>3</sup>	Молярність M1, моль/дм <sup>3</sup>
OH-	-	-	0	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,066	2,066	126,0	2,066*10 <sup>-3</sup>
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	0	-
(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,479	0,48	23	2,4*10 <sup>-4</sup>
Cl-	2,996	0,45	16	4,5*10 <sup>-4</sup>

Рис. 2. Вікно корекції вихідних даних

Зробимо наступні розрахунки

Закон електронейсральності:  $\sum Kt = \sum An$

Сума катіонів: 2,46    Сума аніонів: 2,996    Скоректоване значення: 3,00

Допоміжні дані

Коефіцієнт активності і-го іона (табл. дані):  
 $f_I = 0,93$   
 $f_{II} = 0,74$

Константа дисоціації вугільної кислоти (тал. дані):  
 $K' = 4,15 \cdot 10^{-7}$   
 $K'' = 4,2 \cdot 10^{-11}$

Результати розрахунків

Показник концентрації водневих іонів:  
 $pH = 8,09$

Питома електропровідність  $\kappa$ , мкСм/см:  
 $\kappa = 282$

Розрахувати

Рис. 3. Результати розрахунку питомої електропровідності

Після введення початкових даних виконується перевірка й корекція складу води (рис. 2) за формулами (2) і (3) та розраховується значення питомої електропровідності за формулою (1).

Запропонований програмний модуль дозволяє розраховувати не тільки значення питомої електропровідності, а й рН (рис. 3).

Програмний модуль може працювати як автономно, так і у складі програмно-технічного комплексу моніторингу та керування водно-хімічним режимом другого контуру (ПТК ВХР 2) [1].

Вихідні дані вводяться безпосередньо оператором, проте за умови інтеграції з ПТК ВХР2, можуть бути уведені з бази даних програмно-технічного комплексу. Застосування розглянутого програмного модулю у складі ПТК ВХР2 дозволить виконувати неперервний розрахунок питомої електропровідності у

визначених точках другого контуру (трубопровід, конденсатор, деаератор, парогенератор, підігрівачі високого та низького тиску, тощо), а також надавати оперативну інформацію персоналу щодо стану водно-хімічного режиму другого контуру.

1. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В., Завьялов А.Д. Программно-технический комплекс мониторинга и управления водно-химическим режимом второго контура АЭС с ВВЭР-1000 // Энергетика и электрификация. – № 1. 2007. – с. 31-41.