

Воденнікова Ок.С.¹, Воденнікова Ол.С.², Рагалевиц А.О.³
(¹Запорізький національний університет; ² Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, м. Запоріжжя; ³Відокремлений підрозділ «Запорізька атомна електростанція», м. Енергодар)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОРОЗІЇ МІДНО-НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ
МНЖ-5-1 В ТРУБКАХ КОНДЕНСАТОРІВ ДРУГОГО КОНТУРУ
ВП ЗАЕС**

E-mail: oksana_vodennikova@ukr.net

Основними стратегічними компонентами сучасної світової енергетичної політики є техногенна безпека, енергоефективність, енерго- і ресурсозбереження, які разом з іншими складовими являють собою обов'язкові умови екологічної гармонізації соціально-економічного розвитку людства [1].

На сьогодні серед ключових проблем атомної енергетики слід виділити:

- безпеку експлуатації функціонуючих атомних електростанцій;
- переважання реакторів II покоління на АЕС більшості країн;
- наближення завершення планових строків експлуатації більшості реакторів;
- утилізацію відпрацьованого ядерного палива; пріоритетний розвиток відновлюваної енергетики.

Серед досягнень атомної енергетики варто виділити:

- будівництво інноваційних АЕС з розробкою модифікованих реакторів ВВЕР-1200 та ВВЕР-1300;
- розробку малих модульних реакторів (ММР);
- удосконалення палива та оболонки для палива [2].

При експлуатації АЕС завжди залишається актуальною проблема створення та підтримки таких фізико-хімічних властивостей теплоносіїв, які б запобігали корозійним ушкодженням конструкційних матеріалів обладнання та утворення відкладень на його поверхнях [3, 4].

Найбільш радикальним із наявних на сьогодні методів запобігання корозійному зношуванню трубок парогенераторів є проведення періодичних хімічних промивок з боку другого контуру. Однак хімічні промивки призводять до

утворення значних об'ємів рідких відходів, що важко перероблюються [5]. Корозійні пошкодження металу з боку робочого середовища призводять до потоншення трубок, що передають тепло, та їх розриву [6].

Для запобігання корозійного розтріскування конструкційних матеріалів парогенераторів та корозійно-ерозійного зношування обладнання другого контуру з погляду технології ведення водно-хімічного режиму має бути забезпечено: зниження загального солевмісту котлової води в парогенераторі та особливо вмісту хлоридів та сульфатів; еквівалентність концентрацій катіонів та аніонів для стабільної підтримки величини рН продувної води у слаболужній області у всіх режимах роботи парогенератора; низький вміст кисню в конденсаті та поживній воді; стабільне підтримання величини рН поживної води [7].

Удосконалення хімічної корекції робочих середовищ другого контуру неможливе без заміни обладнання, що містить мідь, та підвищення щільності конденсаторів. Істотне зниження швидкості корозії конструкційних матеріалів конденсатно-живильного тракту може бути досягнуто підвищенням рН до 9,8–10,1 од., що можна досягти тільки в разі повної заміни обладнання, що містить мідь, другого контуру [8].

Мета роботи – оцінка впливу застосування корегувальних добавок, що використовуються для корекції рН другого контуру на енергоблоках з ВВЕР-1000, на процес корозії мідно-нікелевого сплаву МНЖ-5-1.

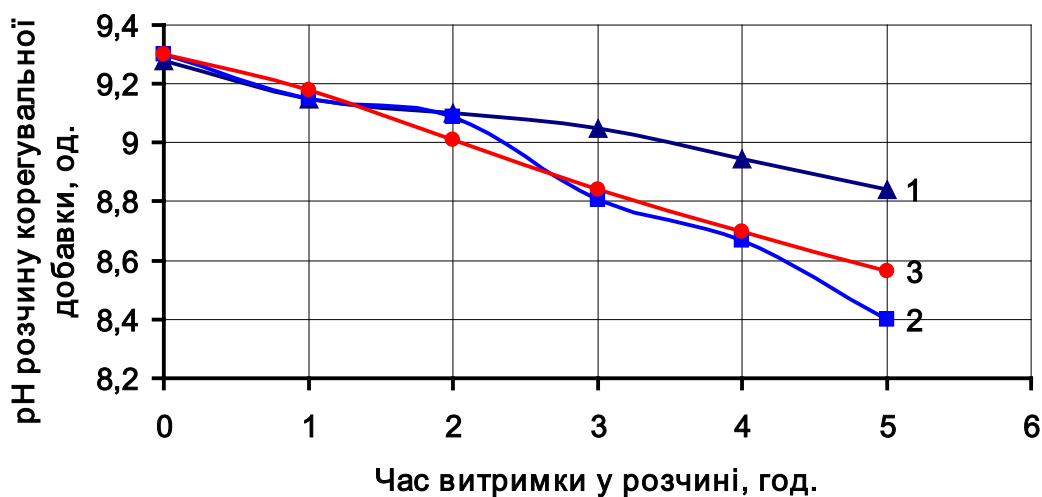
Експериментальні дослідження процесу корозії мідно-нікелевого сплаву типу МНЖ-5-1 проводилися в лабораторних умовах. Для випробувань були взяті зразки труб (масою 3–4 г) з конденсаторів, що працюють в умовах другого контуру ВП ЗАЕС. Попередньо проводили механічне (зачищали за допомогою наждакового паперу) та хімічну (поміщали в концентровану сірчану кислоту (H_2SO_4) і витримували протягом 10–30 хв.) очищення зразків для зняття відкладень і зважували на аналітичних вагах.

Як корегувальну добавку використовували 1 % розчин морфоліну ($\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}$), 0,1 % розчин етаноламіну (моноетиламіну) ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$) та 0,24 % розчин аміаку (NH_3). Значення рН доводили до 9,2–9,3 од. шляхом додавання по краплях лужної

добавки у дистильовану воду, величину рН вимірювали за допомогою лабораторного іоніміру И-160М.

Лабораторні дослідження процесу корозії сплаву МНЖ-5-1 проводили за наступних умов: режим №1 – кімнатна температура (22 °С), наявність кисню, без підтримки величини рН; режим №2 – відсутність кисню, що досягається введенням триразового надлишку гідразину (N_2H_4), підтримка температури розчину в межах 80–90 °С та підтримка величини рН.

Аналіз зміни рН розчину корегувальних добавок в залежності від часу витримки у розчині за умов режиму №1 показав, що при протіканні корозії сплаву МНЖ-5-1 спостерігається зниження величини рН в усіх досліджуваних розчинах (рис. 1). Причому в розчині морфоліну цей процес протікає меншою мірою: за п'ять годин рН розчину морфоліну зменшилося з 9,28 до 8,84 од. (рис. 1, крива 1).



1 – витримка у морфоліні; 2 – витримка в етаноламіні; 3 – витримка в аміаку

Рис. 1. Зміна рН розчину корегувальних добавок в залежності від часу витримки у розчині

Найбільш інтенсивне зниження рН розчинів спостерігається у розчині етаноламіну, де значення рН зменшилося з 9,3 до 8,4 од. (рис. 1, крива 2).

Аналіз розрахункових даних швидкості корозії сплаву МНЖ-5-1 при витримці в корегувальних добавках показав, що найбільш агресивною коригувальною добавкою по відношенню до сплаву є аміак. При чому швидкість корозії за умов режиму №2 в 1,34–2,72 рази більше, ніж за умов режиму №1 (табл. 1).

Таблиця 1 – Загальна швидкість корозії сплаву МНЖ-5-1 в розчинах коригувальних добавок

Корегувальна добавка	Швидкість корозії, $10^3 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$	
	режим №1	режим №2
Морфолін	$0,879 \pm 0,032$	$2,391 \pm 0,098$
Етаноламін	$1,668 \pm 0,045$	$2,228 \pm 0,076$
Аміак	$2,066 \pm 0,085$	$3,909 \pm 0,078$



а



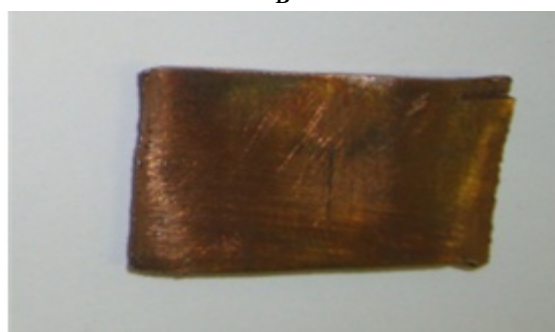
б



в



г



д



е

а–в – зразки сплаву МНЖ-5-1 до початку проведення експерименту; г – зразок сплаву МНЖ-5-1 після витримки у морфоліні; д – зразок сплаву МНЖ-5-1 після витримки в етаноламіні; е – зразок сплаву МНЖ-5-1 після витримки в аміаку

Рис. 2. Зовнішній вигляд зразків, отриманих за умов відсутності кисню, підтримці температури розчину в межах 80–90 °С та підтримці величини рН

Дослідження макроструктури зразків сплаву МНЖ-5-1, отриманих з використанням режиму №1, показало, що найбільш помітні відкладення у вигляді оксидів міді спостерігаються при витримці в розчині аміаку, а зразків, отриманих з використанням режиму №2, що відкладення представлені металевою міддю, що зумовлено наявністю гідразину (рис. 2).

Однією з причин зростання концентрації міді в поживній воді та у відкладеннях з парогенераторів (ПГ) є вимивання міді розчином морфоліну з відкладень з деаераторів. Крім того можна говорити про те, що розчин морфоліну більшою мірою впливає на раніше утворені відкладення на поверхнях обладнання конденсатно-поживного тракту другого контуру ВП ЗАЕС, вимиваючи з них оксиди міді та переносячи їх у парогенератор. Дане припущення підтверджується тим, що при зниженні концентрації міді у поживній воді спостерігається одночасне зниження концентрації міді у відкладеннях з деаераторних баків.

Таким чином, проаналізовано вплив застосування корегувальних добавок (морфоліну, етаноламіну, аміаку), що використовуються для корекції рН другого контуру на енергоблоках з ВВЕР-1000, на процес корозії мідно-нікелевого сплаву МНЖ-5-1. Встановлено, що найбільш агресивною корегувальною добавкою по відношенню до мідьвмісних сплавів є аміак, а найменшою – морфолін, що зумовлює доцільність застосовувати морфоліновий режим в умовах ВП ЗАЕС з великою кількістю обладнання з мідьвмісними сплавами у другому контурі.

Література:

1. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, матеріали, конструкції, моделі / О. В. Єфімов, М. М. Пилипенко, Т. В. Потаніна та ін.; за ред. О.В. Єфімова. Харків: ТОВ «В справі», 2017. – 420 с.
2. Копішинська К. О., Широкова І. С. Сучасний стан та перспективи інноваційного розвитку атомної енергетики України. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2019. № 16.
3. ГНД 95.1.06.02.001-2002. Теплоносій першого контуру ядерних енергетичних реакторів типу ВВЕР-1000. Технічні вимоги до якості. Засоби

забезпечення. Київ: Мінтопенерго України, 2002. – 26 с.

4. ГНД 95.1.06.02.002-2004. Водно-химический режим второго контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР. Технические требования к качеству рабочей среды. Коррекционная обработка гидразин-гидратом, морфолином, гидроокисью лития. ГОСАТОМ Украины. 2004. – 22 с.

5. Медведєв Р. Б., Мердух Р. Б. Водно-хімічний режим і математичне моделювання другого контуру АЕС із реактором типу ВВЕР-1000. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*: науково-технічний журнал. 2013. №3(89). – С. 132–139.

6. Хоршева М. И. Водоподготовка, спецхимочистка и химический контроль на АЭС. Севастополь: СИЯЭиП, 2000. – 336 с.

7. Тяпков В. Ф. Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС. *Журнал «Водоочистка»*. 2006. №11. – С. 33–41.

8. Мальцева Т. В., Зинченко Ю. А., Добровольская И. Ю., Архипенко А. В. Влияние коррекционной химической обработки теплоносителя первого контура и рабочих сред второго контура АЭС с ВВЭР, PWR на радиационную безопасность. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. №4(56). – С. 37–43.

Гнатюш В.А.

(незалежний аналітик, Київ)

ТЕНДЕНЦІЇ РИНКУ МЕТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ УКРАЇНИ: 2017-2023

E-mail: vgnatush@gmail.com

Ливарна промисловість України є важливим компонентом вітчизняної промисловості. Тим більш під час російсько-української війни головним завданням українських ливарників є вироблення та постачання виробів для військово-промислового комплексу та будівництва країни.

Виробництво металевих виливків в Україні в 2022 р. оцінюється в 300 тис. т проти 650 тис. т в 2021 р. (-53,8 %) [1]. Очікується, що за підсумком 2023 р. виробництво виливків сягне 350 тис. т (рис. 1).