

4. Гомеля М., Трохименко Г. Вплив іонів жорсткості на сорбцію важких металів на катіоніті / М. Гомеля, Г. Трохименко, О. Глушко // Технічні науки та технології. – 2018. – № 1. – С. 214-223.

5. Сухарева А.С. Електрохімічне розділення міді й цинку в процесі іонообмінного очищення води / А.С. Сухарева, Г.Г Трохименко, М.Д. Гомеля // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2017. – № (3). – с. 114-120.

УДК 621.039.322

Кузнєцов П.М., аспірант

Бедункова О.О., докт. біол. наук, професор

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне,

[kuznetpavel@gmail.com](mailto:kuznetpavel@gmail.com)

### СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗДІЙСНЕННЯ АНТИНАКИШНОЇ ОБРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВОД ОБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

У оборотних системах охолодження (ОСО) електростанцій основною причиною забруднення конденсаторів є утворення твердих мінеральних осадів (накипу). Під час роботи ОСО накип призводить до зниження ефективності тепловіддачі системи охолодження та закупорювання труб. Органічні фосфонати, в основному оксіетилідендифосфонова кислота (ОЕДФ) широко застосовується в якості корегуючого реагенту для запобігання утворення накипу карбонату кальцію  $\text{CaCO}_3$  [1].

ОЕДФ (рис. 1, а) являє собою білий кристалічний порошок, який добре розчиняється у воді, температура плавлення 198-199 °С. У розчинах, перенасичених карбонатом кальцію, HEDP утворює хелатний комплекс та осад з іонами  $\text{Ca}^{2+}$ . Водневий показник рН та молярне співвідношення іонів  $\text{Ca}^{2+}$  та ОЕДФ визначає склад сполук осаду, що утворюються: співвідношенням Ca-HEDP 2:1 (рис. 1, b), Ca-HEDP 1:1 (рис. 1, c) та хелатну сполуку (рис. 1, d) [2]. При температурі, характерній для циркулюючих систем охолодження конденсаторів турбін, HEDP не піддається гідролітичному розкладанню і зберігає свої стабілізуючі властивості [3].



Рис. 1 – Схематична структура ОЕДФ та осадів комплексу, що утворюються з іонами кальцію: а - структура ОЕДФ; б - Ca-HEDP (2:1); с - Ca-HEDP (1:1); д - Ca-HEDP (1:1)

Дослідження структури утворення  $\text{CaCO}_3$  в присутності ОЕДФ доказують зміну форми осаду внаслідок абсорбції ОЕДФ на вже утворених кристалах  $\text{CaCO}_3$  (рис. 2 а, б). Таким чином можна зробити висновок, що утворення та трансформація твердої фази інгібується ОЕДФ, в результаті чого весь процес утворення  $\text{CaCO}_3$  сильно сповільняється [4].

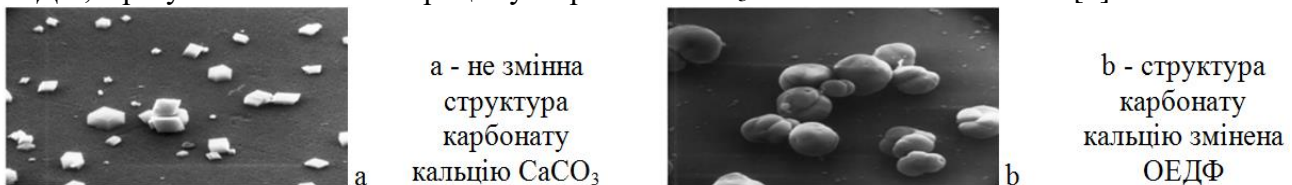


Рис. 2 – Ефект антинакипної обробки фосфонатами: зображення кубічних кристалів без присутнього інгібітору та деформованих кристалів у присутності інгібітору [4]

ОЕДФ в поверхневих водах біодеградує з утворенням фосфат-іонів (рис. 3). Для водойм рибогосподарського призначення, концентрація у скидній воді не повинна перевищувати гранично допустиму концентрацію ОЕДФ - 0,9 мг/дм<sup>3</sup> [5].

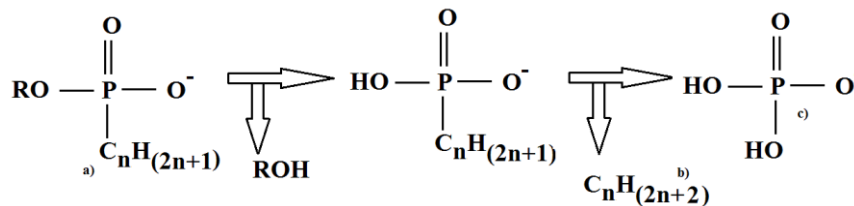


Рис. 3 – Біодеградація фосфонатів (а) у поверхневих водах з утворенням (б) – вуглеводнів, (с) – фосфатів [6]

За проектними рішеннями водопідготовки електростанцій, зазвичай реалізується стале дозування реагентів. Для раціонального споживання реагентів, з метою виключення їх надмірного та необґрунтованого дозування, а також для зниження антропогенного впливу на водні об'єкти при скиді зворотних вод ОСО для Рівненської АЕС (РАЕС) впроваджена модель дозування ОЕДФ за критерієм варіабельності. В якості фактору, що визначає дозу ОЕДФ в охолоджуючій воді прийнятий вміст в охолоджуючій воді загальної жорсткості (рис. 4, 5).

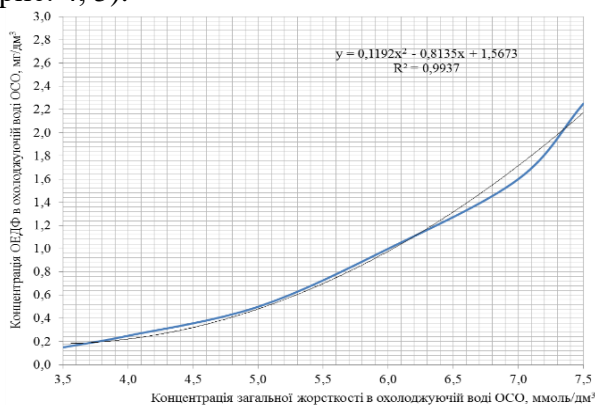


Рис. 4 – Залежність необхідної концентрації ОЕДФ в охолоджуючій воді ОСО для інгібування утворення карбонату кальцію

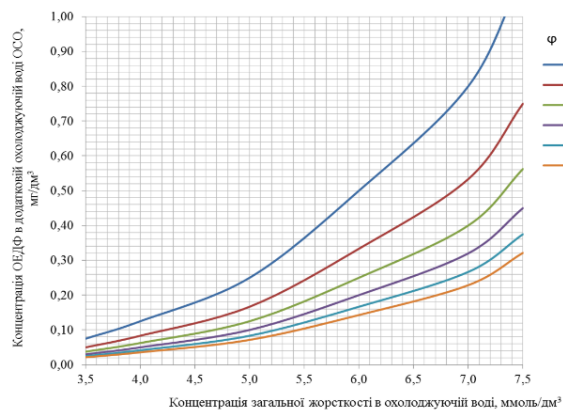


Рис. 5 – Залежність необхідної концентрації ОЕДФ в додатковій охолоджуючій воді відповідно до коефіцієнтів випаровування

Запроваджена модель варіабельного дозування реагенту НЕДР для обробки охолоджуючої води ОСО РАЕС визначається фактичним значеннями загальної жорсткості охолоджуючої води та коефіцієнтом випаровування φ ОСО, встановлений критерій варіабельності дозування ОЕДФ, при якому дозування не проводиться. Модель варіабельного дозування, на відміну від сталого проектного дозування, враховує зміни технологічних умов експлуатації та показники якості водно хімічного режиму ОСО. Застосування варіабельного дозування ОЕДФ не вплинуло на інтенсифікацію процесів утворення накипу в ОСО РАЕС, отже використання варіабельного дозування ОЕДФ для антинакипної корекційної обробки охолоджуючої води є доцільним з технологічної, економічної та екологічної точок зору. Враховуючи застосування антинакипної обробки фосфонатами, запроваджена модель варіабельного дозування може бути застосована для інших промислових об'єктів, що використовують ОСО.

#### Список посилань

1. Preparation and application of novel rice husk biochar–calcite composites for phosphate removal from aqueous medium / S. Ramola et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 299. P. 126802. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126802.

2. Shaopeng Zhang, Jie Ding, Dayong Tian, Mingshuo Chang, Xuyang Zhao, Minghua Lu, Experimental and theoretical studies of fluorescent-tagged scale inhibitors for calcium scale inhibition, *Journal of Molecular Structure*, Volume 1272, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.134157>.

3. Energetic, exergetic and environmental (3E) analyses of different cooling technologies (wet, dry and hybrid) in a CSP thermal power plant / Cutillas C. G. et al. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021. Vol. 28. P. 101545. DOI: 10.1016/j.csite.2021.101545.

4. Ge Ji-jiang, Wang Yang, Zhang Gui-cai, Jiang Ping, Sun Mingqin Investigation of Scale Inhibition Mechanisms Based on the Effect of HEDP on Surface Charge of Calcium Carbonate. *Tenside Surfactants Detergents*. 2016. <https://doi.org/10.3139/113.110407>

5. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М. : Главрибвод Минрибхоза СССР, 1990. 96 с.

6. Nowack B., Environmental chemistry of phosphonates, *Water Research*, Volume 37, Issue 11, 2003, Pages 2533-2546, ISSN 0043-1354, [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00079-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00079-4).

УДК 628.162

Оверченко Т.А., канд. техн. наук, ст. викладач

Іваненко О.І., докт. техн. наук, професор

Блінов Д., студент

Бурячок А., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[overchenko.tanya@gmail.com](mailto:overchenko.tanya@gmail.com)

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ МЕТАЛІВ ДЛЯ ВОДОБОРОТНИХ СИСТЕМ В КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

На сьогоднішній день гостро стоїть проблема корозії у водних середовищах. При корозії трубопроводів та іншого обладнання відбувається не тільки руйнування конструкції, але і підвищується рівень забруднення води завислими речовинами за рахунок продуктів корозії [1]. Це, в свою чергу, призводить до інтенсифікації шламовідкладень на поверхні труб і на теплообмінних поверхнях, що сприяє підвищенню гідравлічного опору і погіршення теплопередачі. На сьогоднішній день відомо багато досліджень та публікацій по розробці ефективних інгібіторів корозії, але на даний момент ця проблема досить актуальна. Дуже важливо, щоб розроблені реагенти були ефективними інгібіторами корозії [2]. Метою досліджень було створення нових реагентів для попередження корозії водоциркуляційних систем в комунальному господарстві.

Були проведені дослідження на водопровідній воді (м. Київ), при застосуванні ОЕДФК, ТПФН, НТМФК, ГМФН, гіпану та  $Zn^{2+}$  методом масометрії.

Як видно з результатів (таблиця 1), ОЕДФК, яка є високоефективним стабілізатором накипоутворення в водопровідній воді, ефективна як інгібітор корозії сталі Ст3. Також ефективними інгібіторами є поліфосфати і гіпан. ТПФН забезпечує ступінь захисту при тих же дозах на рівні  $Z=69-82\%$ .

ГМФН ефективний як інгібітор корозії і забезпечує ступінь захисту на рівні  $Z=70-86\%$ . Гіпан за таких же умов забезпечує ступінь захисту на рівні  $Z=64-92\%$ . Цікаво відзначити, що ефективність деяких інгібіторів знижується з підвищенням дози. Ймовірно, це обумовлено тим, що при підвищенні концентрації інгібітору знижується сорбція кисню на поверхні металу.

Відомо, що фосфонові кислоти і поліфосфати є більш ефективними інгібіторами при використанні в композиції з іонами  $Zn^{2+}$ . І в даному випадку включення іонів  $Zn^{2+}$  в композицію призвело, в цілому, до підвищення ефективності інгібіторів корозії. Мало змінюється ефективність захисту від корозії при включенні  $Zn^{2+}$  в композицію з ТПФН, однак при використанні  $Zn^{2+}$  з гіпаном і ГМФН досягнуто високого рівня захисту металів