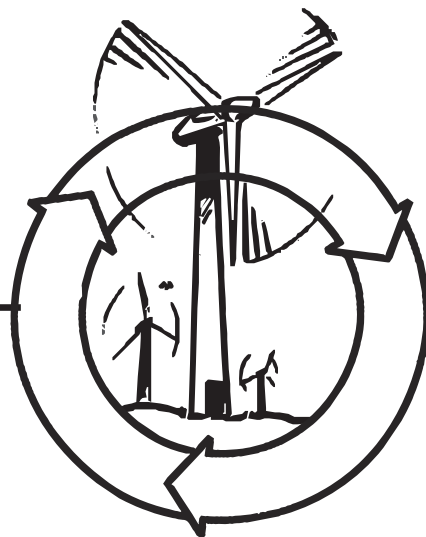




DOI 10.15589/jnn20170312  
УДК 628.164  
III3

## EVALUATION OF REAGENT EFFICIENCY IN STABILIZING WATER TREATMENT OF CIRCULATION SYSTEMS

### ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАГЕНТІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Tetiana O. Shablii**  
dsts1@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-6710-9874

**Iryna M. Makarenko**  
dsts1@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-7895-2664

**Anastasiia Yu. Bereza**  
berizka.n@bigmir.net  
ORCID: 0000-0001-5681-8563

**Mariia M. Shuryberko**  
mashka0905@yandex.ru  
ORCID: 0000-0001-5283-2069

**Т. О. Шаблій,**  
д-р техн. наук, проф.

**І. М. Макаренко,**  
канд. техн. наук, ст. н. сп.

**А. Ю. Береза,**  
магістрант

**М. М. Шуриберко,**  
асп.

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

**Abstract.** The problem of stabilizing treatment of water for cooling systems is very relevant for the energy industry. Increasing water quality will reduce the volume of water discharged during purging of the systems. This, in turn, leads to a reduction in the contamination of natural water bodies. This publication considers both already available and synthesized reagents. Oxyethylidenediphosphonic acid was used to compare the efficiency of antiscalants. The known reagents under study include gipan, carboxymethylcellulose, citric and tartaric acid, and nitritrimethylphosphonic acid. The efficiency of reagents has been evaluated as for stabilization of tap water and model solutions with different mineralization for different temperature conditions. The efficiency of a number of reagents is determined as for the  $\text{CaSO}_4$  precipitation from concentrated solutions. The possibility of using available and synthesized reagents for water stabilization at higher temperatures is evaluated. Tartaric and citric acids are quite effective stabilizers in the concentrates of the reverse osmosis seawater desalination. A new inhibitor of precipitation of sodium methyldisulfonate is synthesized on the basis of sodium sulfite and formaldehyde; its efficiency is subject to evaluation.

**Keywords:** water stabilization; antiscalant; water hardness; stabilizing effect.

**Анотація.** Проведено дослідження оцінки ефективності реагентів щодо стабілізації водних середовищ за різних температурних умов. Як стабілізатори накипоутворення використовували відомі й синтезовані реагенти. Для порівняння застосовували оксиетилідендифосфонову кислоту. Серед відомих реагентів досліджували гіпан, карбоксиметилцелюлозу, лимонну й винну кислоти, нітрилтриметилфосфонову кислоту. Синтезовано антискалант метилдисульфонат натрію, перевірено його ефективність.

**Ключові слова:** стабілізація води; антискалант; жорсткість води; стабілізаційний ефект.

**Аннотация.** Проведена оценка эффективности реагентов по стабилизации водных растворов при различных температурных условиях. Как стабилизаторы накипеобразования использовали известные и синтезированные реагенты. Для сравнения применяли оксиэтилидендифосфовую кислоту. Среди известных реагентов исследовали гипан, карбоксиметилцеллюлозу, лимонную, винную, нитрилтриметилфосфовую кислоты. Синтезирован антискалант метилдисульфонат натрия, проверена его эффективность.

**Ключевые слова:** стабилизация воды; антискалант; жесткость воды; стабилизационный эффект.

## REFERENCES

- [1] Zin E. A. *Rehionalna ekonomika. Pidruchnyk* [Regional economy. Textbook]. Kyiv, VD «Profesional» Publ., 2007. 528 p.
- [2] Ivanov S. V., Manchuk N. M., Borsuk P. S. *Zahalna khimichna tekhnolohiia: promyslovi khimiko-tekhnolohichni protsesy. Navch. posib.* [General chemical technology, industrial chemical processes: a study guide]. Kyiv, Vydvo Nats. aviats. universytetu «NAU-druk» Publ., 2010. 280 p.
- [3] Pylypenko S. A., Vahnyn I. G., Maksyn V. I. et al. *Metody predotvrashcheniya nakipeobrazovaniya pri opresnenii solenykh vod* [Methods of prevention of scale formation during saline water conversion]. *Khimiya i tekhnologiya vody — Water Chemistry and Technology*, 1991, no. 11, pp. 996–1013.
- [4] Rudkovskaya Ye. V., Omelchuk Yu. A., Gomelya N. D. *Razrabotka stabilizatorov nakipeobrazovaniya dlya resursoberegayushchikh vodooborotnykh sistem okhlazhdeniya* [Development of scale stabilizers for resource-saving water-circulation cooling systems]. *Zbirnyk naukovykh prats Sevastopolskoho natsionalnoho universytetu yadernoi enerhii ta promyslovosti — Collection of scientific papers of the Sevastopol National University of Nuclear Energy and Industry*, 2011, no. 4 (40), pp. 55–61.
- [5] Tyr S. G., Boboshko Z. A., Glushko I. D. *Otsenka effektivnosti ingibitorov v sredakh oborotnogo vodosnabzheniya* [Evaluation of the efficiency of inhibitors in circulating water supply environments]. *Zashchita metallov — Protection of Metals*, 1993, no. 1, pp. 158–160.
- [6] *Primenenie ingibitorov v sistemakh vodopodgotovki na osnove obratnoosmoticheskikh ustanovok* [Application of inhibitors in water treatment systems based on reverse osmosis plants]. Available at: [http://www.mediana-filter.com.ua/water\\_ingibitor\\_use.html](http://www.mediana-filter.com.ua/water_ingibitor_use.html).
- [7] Goeldner R.W. Scale control inhibitor performance at 100 °C under boiling conditions. *WSIA J Publ.*, 1983, no. 2, pp. 33–39.
- [8] Yemkov A. A. *Metody borby s otlozheniyami neorganicheskikh soley v oborudovanii podgotovki nefi* [Methods of eliminating deposits of inorganic salts in the oil treatment equipment]. Moscow, VNIIOENG Publ., 1988. 50 p.
- [9] Dyatlova N. M., Temkina V. Ya., Popov K. I. *Kompleksy i kompleksony metallov* [Complexes and complexes of metals]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 554 p.
- [10] Rudkovskaya Ye. V., Omelchuk Yu. A., Gomelya N. D. *Otsenka effektivnosti stabilizatorov nakipeobrazovaniya dlya resursoberegayushchikh vodooborotnykh sistem okhlazhdeniya* [Evaluation of the efficiency of scale stabilizers for resource-conserving water-circulation cooling systems]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy — Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2011, no. 6, pp. 47–51.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В Україні планомірно реалізуються заходи щодо охорони водних ресурсів від забруднення та їх раціонального використання. Останнім часом у промисловості широко стали застосовуватися системи оборотного та повторно-последовного водопостачання, які показують, наскільки раціонально й ефективно можна використовувати водні ресурси [1].

Оборотне водопостачання — найбільш прогресивний спосіб збереження водних ресурсів. Виходячи з наявного рівня технологій водопідготовки, можна оцінити максимально дозволений коефіцієнт споживання оборотної води. У хімічній промисловості, де

близько 25% води витрачається як розчинник й екстрагент, він відповідає значенню 0,9–0,92, за якого навіть повторне використання води призводить до великих витрат свіжої води: й у середньому на 1 т продукції 50–130 м<sup>3</sup>. У целюлозно-паперовій промисловості вони сягають 30–200 м<sup>3</sup>. Звідси впливає одне з головних завдань у промисловому водоспоживанні — зниження норм споживання й відведення води через впровадження систем оборотного водопостачання й последовного використання води, перехід виробництва на водозберігаючі (безстічні) технології [2].

Підвищувати ефективність споживання води в оборотних системах можна як за рахунок пом'як-

шення води, що подається в системи, так і шляхом використання інгібіторів накипоутворення. Через економічну ситуацію в Україні на діючих підприємствах введення в експлуатацію додаткових ліній водопідготовки практично неможливе. Тому перспективним є напрям вживання антискалантів та інгібіторів корозії у воді. Головними вимогами до інгібіторів накипоутворення, якщо враховувати великі об'єми води, що використовується в оборотних системах, є забезпечення високої стабільності води за невеликих доз інгібіторів і невисоких цін. У зв'язку з цим пошук недорогих, ефективних стабілізаторів накипоутворення у воді є досить актуальним [3].

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема стабілізаційної обробки води для систем охолодження в енергетиці й промисловості є важливою. За успішного розв'язання порушеного питання вирішується завдання переходу до замкнених систем охолодження, захисту трубопроводів від корозії, ресурсозбереження й раціонального використання води, охорони природних вододжерел від техногенного впливу [4].

Інгібітори, які застосовуються в водооборотних системах охолодження, повинні істотно знижувати швидкість відкладення накипу на поверхні теплообмінного обладнання й забезпечувати захист металів від корозії [5]. Найбільш широко оборотне водопостачання використовується в найбільш водомістких системах, а саме системах охолодження в промисловості й енергетиці [6].

У замкненому циклі вода від первинного джерела подається тільки в кількості, необхідній для поповнення безповоротних втрат у системі (на виробничі потреби, випаровування, крапельне винесення тощо).

Оборотна система якнайповніше відповідає вимогам водного законодавства про раціональне використання водних ресурсів: зменшення витрати води з джерел, граничне зменшення або повне припинення скидів відпрацьованих і стічних вод у водоймища. Суттєво можна зменшити об'єми водоспоживання в промисловості, застосовуючи антискаланти. Інгібітори мінімізують кількість відкладень за рахунок того, що в об'ємі розчину утворюють дрібні кристали, які залишаються в потоці води й транспортуються ним [7], а не осідають на поверхні теплообміну. На сьогодні відомі хімічні сполуки, які виявляють ефективні властивості інгібіторів щодо солей жорсткості [8, 9]: неорганічні полі- і метафосфати, ефіри фосфорної кислоти та їхні солі, фосфонові й амінофосфонові кислоти, їхні солі, полімерні інгібітори й композиції змішаного типу [10].

Найбільш поширеними інгібіторами відкладень осадів є поліфосфати й різноманітні фосфонові кислоти [3]. Недоліком поліфосфатів є їхня здатність до гідролізу за підвищених температур, стимулювання

процесів біообростання. Фосфонові кислоти є дорогими реагентами. Їхня висока ціна зумовлена високою вартістю головного компонента їх синтезу — фосфористої кислоти. Для синтезу інших комплексонів, типу етилендіамінтетраоцтової кислоти, використовують дорогі поліалкіленполіаміни й моноклороцтову кислоту.

Необхідність у розробці нових інгібіторів полягає в тому, що відомі реагенти далеко не зовсім відповідають чинним вимогам: одні з них малоефективні, інші нестійкі, а треті надто дорогі.

**МЕТОЮ РОБОТИ** є оцінка ефективності нових і відомих реагентів у процесах стабілізації води з різною мінералізацією щодо осадковідкладень за різних температурних умов.

Для досягнення пропонованої мети необхідно виконати такі завдання:

- оцінити ефективність ряду реагентів щодо відкладання осаду сульфату кальцію з розчинів;
- дослідити процеси стабілізації модельних розчинів, близьких за складом до концентратів зворотньоосмотичного опріснення морської води, щодо осадковідкладень, використовуючи різноманітні антискаланти;
- визначити можливість застосування відомих і синтезованих реагентів для стабілізації водних розчинів при підвищених температурах.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

#### Досліджувані реагенти та середовища, що використовувалися в роботі

У процесі аналізу застосовано відомі й синтезовані реагенти. Для порівняння за ефективністю брали відомий антискалант — оксиетилідендифосфонову кислоту (ОЕДФК). Серед відомих реагентів досліджено гіпан, карбоксиметилцелюлозу (КМЦ), лимонну й винну кислоти, нітрилтриметилфосфонову кислоту (НТМФК) й синтезований нами антискалант — метилдисульфат натрію (МДСН-Ф).

Антискалант МДСН-Ф синтезували із сульфату натрію й формальдегіду. Для підкислення розчину до нейтрального використовували ОЕДФК.

Як середовищами послуговувалися водопровідною водою ( $J_{\text{поч}} = 4,2$  мг-екв/дм<sup>3</sup>), модельним розчином сульфату кальцію, який отримували змішуванням рівних частин розчинів хлориду кальцію з концентрацією 300 мг-екв/дм<sup>3</sup>, і сульфату натрію з такою ж концентрацією (в результаті одержали розчин з концентрацією сульфату кальцію 150 мг-екв/дм<sup>3</sup>, при цьому концентрація хлориду натрію також сягала 150 мг-екв/дм<sup>3</sup>). Крім того, для оцінки ефективності антискалантів при зворотньоосмотичному знесоленні води застосовували модельний розчин, близький за складом до концентрату, що утворився б при зворотньоосмотичному знесоленні води з Азовського моря.

### Методика визначення ефективності стабілізаторів накипоутворення

**Високомінералізоване середовище.** Для проведення досліджень з оцінки ефективності стабілізаторів накипоутворення використовувався модельний розчин, який містив  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  в концентрації 150 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Інгібітори вносили в розчин  $\text{CaCl}_2$  перед його змішуванням з розчином  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Реагенти застосовували в концентраціях: 0, 5, 10, 20, 30, 50 мг/дм<sup>3</sup>. Дослід проводився протягом 48 годин за температури 25 °С. Послідовність приготування модельної суміші була така: до 50 см<sup>3</sup> розчину додавали певну дозу антискаланта, а після перемішування — 50 см<sup>3</sup> розчину. Після закінчення експозиції пробу води відфільтровували й визначали в ній залишкову жорсткість. Стабілізаційний ефект (СЕ) розраховували за формулою:

$$\text{СЕ} = \left( 1 - \frac{\Delta J_i^T}{\Delta J_T} \right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

де  $\Delta J_i^T$  — різниця між вихідним значенням жорсткості води  $J^T$  і вимірним значенням жорсткості води в присутності стабілізатора накипоутворення  $J_i$ ;  $\Delta J_T$  — різниця між вихідним значенням жорсткості води  $J^T$  і вимірним значенням жорсткості води в пробі без стабілізатора накипоутворення.

**Водопровідна вода.** Для проведення досліджень з оцінки ефективності накипоутворення у водопровідній воді використовували термостат. Проби води об'ємом 100 см<sup>3</sup>, оброблені й необроблені стабілізаторами, витримувалися в термостаті за  $t = 90\text{--}95$  °С протягом 6 годин. Інгібітори накипоутворення застосовувалися в дозах: 0, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20 мг/дм<sup>3</sup>. Після охолодження проби фільтрували, визначали залишкову жорсткість води й обчислювали стабілізаційний ефект.

**Модельний розчин концентрату,** що утворився б при зворотньоосмотичному знесоленні води, мав такий склад:  $[\text{Na}^+] = 684$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $[\text{Cl}^-] = 719$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $[\text{Ca}^{2+}] = 38$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $[\text{Mg}^{2+}] = 76$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $[\text{SO}_4^{2-}] = 80$  мг-екв/дм<sup>3</sup>. Концентрація антискаланта становила: 0, 5, 10, 20, 30, 50 мг/дм<sup>3</sup>. Досліди проводилися за температури 25 °С. Послідовність приготування модельного розчину, ідентичного концентрату, була така: до 1 дм<sup>3</sup> водопровідної води додали  $\text{NaCl}$  з розрахунку 40 г/дм<sup>3</sup> та  $\text{CaCl}_2$  відповідно 35 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Розливши по колбах розчин, додавали певну дозу антискаланта, після перемішування —  $\text{MgSO}_4$  з розрахунку 75 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Час дослід становив 48 годин, після чого проби води відфільтровували й визначали в ній залишкову жорсткість. Стабілізаційний ефект розраховували за формулою (1).

### Результати досліджень

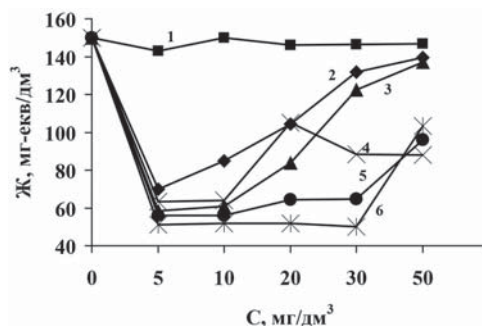
У разі стабілізаційної обробки високомінералізованих розчинів, що містили іони кальцію й сульфат-іони, найефективнішим стабілізатором накипоутворення виявився НТМФК (рис. 1).

Як видно з рис. 1, за концентрації НТМФК 5 мг/дм<sup>3</sup> залишкова жорсткість зменшувалася лише зі 150 мг-екв/дм<sup>3</sup> до 143 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Така концентрація НТМФК є оптимальною, оскільки за подальшого її збільшення залишкова жорсткість тримається практично на постійному рівні.

Слід відзначити, що інші інгібітори значно поступались НТМФК. Карбоксиметицелюлоза (КМЦ) й гіпан вели себе однаково, тобто з ростом їхньої концентрації збільшувалася залишкова жорсткість розчину. У діапазоні концентрацій 5–30 мг/дм<sup>3</sup> значення залишкової жорсткості в разі використання КМЦ були вищі за гіпан, хоча за концентрації 50 мг/дм<sup>3</sup> вони стали майже однаковими – 139,5 та 137 мг-екв/дм<sup>3</sup> відповідно.

Як стабілізатор лимонна кислота за малих концентрацій (5–10 мг/дм<sup>3</sup>) працює неефективно. Максимальне значення залишкової жорсткості розчину (105 мг-екв/дм<sup>3</sup>) досягнуто за концентрації реагенту 20 мг/дм<sup>3</sup>. За подальшого збільшення концентрації лимонної кислоти цей реагент втрачає свої стабілізаційні властивості, залишкова жорсткість розчину зменшується до 88 мг-екв/дм<sup>3</sup> при дозі інгібітора 50 мг/дм<sup>3</sup>. Майже однаково себе проявили відомий стабілізатор накипоутворення ОЕДФК і синтезований нами інгібітор МДСН-Ф. Ці реагенти працюють лише за високих концентрацій на рівні 50 мг/дм<sup>3</sup>. Крім того, виявлено, що залишкова жорсткість розчину в разі використання ОЕДФК при малих концентраціях була навіть нижчою за холості проби. Залишкова жорсткість розчину в холостій пробі становила 55 мг-екв/дм<sup>3</sup>, а при застосуванні ОЕДФК в концентраціях 5–30 мг/дм<sup>3</sup> вона коливалася в межах 50–51,8 мг/дм<sup>3</sup>.

Дані зі стабілізаційних ефектів (СЕ) вживаних реагентів наведено на рис. 2. Загалом, величини стабілізаційних ефектів різних реагентів пропорційні значенням залишкової жорсткості оброблених розчинів. Тому в даному випадку кращі результати отримано при використанні НТМФК, стабілізаційний ефект якої сягав 92% при дозі 5 мг/дм<sup>3</sup> і 100% при дозі 10 мг/дм<sup>3</sup>.



**Рис. 1.** Залежність залишкової жорсткості розчину ( $[\text{Ca}^{2+}] = [\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] = [\text{SO}_4^{2-}] = 150$  мг-екв/дм<sup>3</sup>) від типу й дози стабілізатора накипоутворення ( $\tau = 48$  год.,  $t = 25$  °С): 1 — НТМФК, 2 — КМЦ, 3 — гіпан, 4 — лимонна кислота, 5 — МДСН-Ф, 6 — ОЕДФК

Синтезований інгібітор МДСН-Ф проявив себе в сульфатних розчинах неефективним за концентрацій до  $10 \text{ мг/дм}^3$ . За умови збільшення концентрації стабілізаційний ефект підвищився до 43,2%.

Для стабілізації водопровідної води застосовані реагенти, окрім гіпану, досить ефективні (рис. 3). Залишкова жорсткість в усіх пробах води вже за концентрації інгібіторів  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  почала зростати.

За концентрації  $1 \text{ мг/дм}^3$  стабілізатори ОЕДФК, МДСН-Ф мали найбільші значення залишкової жорсткості ( $4,1 \text{ мг-екв/дм}^3$  і  $3,5 \text{ мг-екв/дм}^3$  відповідно). Крім того, зі збільшенням їх концентрацій вони вели себе однаково, тобто залишкова жорсткість знизилася до певного рівня й такою залишалася.

Стабілізатор гіпан проявив себе дещо по-іншому: найбільшого значення залишкової жорсткості досягнуто за концентрації інгібітора  $2 \text{ мг/дм}^3$ , після чого почався різкий спад.

Порівняно неефективним за малих концентрацій виявився стабілізатор КМЦ, але вже за концентрації  $10 \text{ мг/дм}^3$  залишкова жорсткість води різко зросла до рівня НТМФК ( $4 \text{ мг-екв/дм}^3$ ). Щодо самого НТМФК, то зі зростанням його концентрації збільшувалася залишкова жорсткість води, а за концентрації інгібітора  $5 \text{ мг/дм}^3$  досягла максимуму ( $4,2 \text{ мг-екв/дм}^3$ ) й почала повільно спадати.

Високу ефективність стабілізації водопровідної води до осадовідкладень, як показали дослідження, забезпечили більшість інгібіторів (рис. 3). Яскраво виражено зростання стабілізаційного ефекту антискаланта НТМФК, який за концентрації  $5 \text{ мг/дм}^3$  становив 100%, однак за більшої концентрації інгібітора стабілізаційний ефект знизився до 83–89%.

Стабілізаційний ефект відомого інгібітора ОЕДФК і синтезованого МДСН-Ф порівняно однакового характеру. За концентрації  $1 \text{ мг/дм}^3$  він мав максимальне значення: ОЕДФК — 94,4% і МДСН-Ф — 61%. Далі, як видно на рис. 3, стабілізаційний ефект антискалантів суттєво знизився.

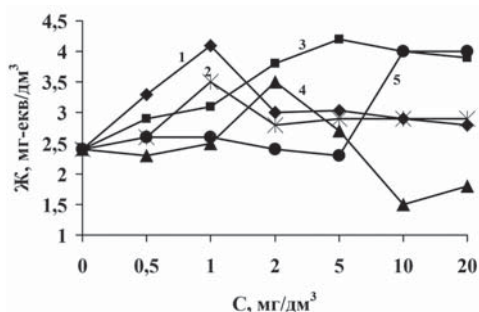


Рис. 2. Вплив типу й концентрації антискалантів на стабільність розчинів ( $[\text{Ca}^{2+}] = [\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] = [\text{SO}_4^{2-}] = 150 \text{ мг-екв/дм}^3$ ):

1 — НТМФК, 2 — КМЦ, 3 — гіпан, 4 — лимонна кислота, 5 — МДСН-Ф, 6 — ОЕДФК

Якщо розглядати інгібітори гіпан і КМЦ, то вони ведуть себе не так, як інші. Гіпан порівняно добре працює лише за концентрації  $2 \text{ мг/дм}^3$ , при цьому стабілізаційний ефект становить 61%. З подальшим збільшенням концентрації гіпану стабілізаційний ефект не спостерігається. Інгібітор КМЦ виявився ефективним лише за великих його концентрацій, тобто за концентрації  $10 \text{ мг/дм}^3$  стабілізаційний ефект склав 89%.

Крім цього, проведено дослідження щодо визначення ефективності лимонної та винної кислот як стабілізаторів накипоутворення за підвищених температур. Однак вони не показали позитивних результатів у цих умовах.

Щодо оцінки ефективності антискалантів у модельному розчині, близькому за складом до концентратів, що утворюються за зворотноосмотичного опріснення морської води, результати були неоднозначними. Проблемою стало те, що жорсткість у модельному розчині без інгібіторів протягом двох діб практично не змінювалася. Сумарне зниження жорсткості порівняно з теоретично розрахованим значенням досягло  $14 \text{ мг-екв/дм}^3$ , що не більше 15% від обраного рівня жорсткості. Тому на отримані результати значною мірою впливала похибка в проведенні аналізів. Очевидно, для більш точного визначення ефективності інгібіторів у подальшому будуть обрані більш жорсткі умови щодо стабільності розчину.

Основні результати експерименту наведено в таблиці 1, з якої видно, що відомий антискалант ОЕДФК загалом характеризувався невисоким значенням стабілізаційного ефекту — до 50% при дозах від 5 до  $50 \text{ мг/дм}^3$ . Трохи вища ефективність була іншого фосфонатного інгібітора НТМФК. За його використання досягнуто стабілізаційного ефекту на рівні 28–53%, при цьому кращі результати отримано при менших дозах інгібітора. Значно вищою була ефективність цих інгібіторів для стабілізаційного ефекту іонів кальцію. Саме вони здатні утворювати нерозчинні карбонати й сульфати. Для кальцію стабілізаційний ефект ОЕДФК

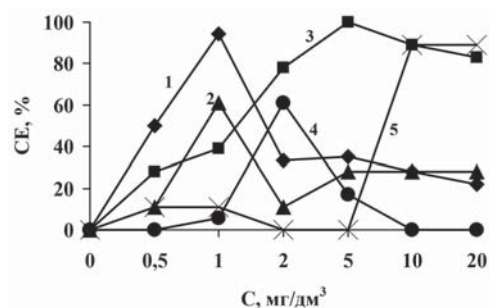


Рис. 3. Вплив типу й концентрації антискалантів на стабільність водопровідної води ( $J_{\text{поч}} = 4,2 \text{ мг-екв/дм}^3$ ) за нагрівання ( $t = 90\text{--}95^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 6$  годин):

1 — ОЕДФК, 2 — МДСН-Ф, 3 — НТМФК, 4 — гіпан, 5 — КМЦ

**Таблиця 1.** Вплив реагентів на стабільність модельного розчину концентрату зворотноосмотичного опріснення морської води

| Концентрація інгібітора, мг/дм <sup>3</sup> | Залишкові концентрації іонів жорсткості, мг-екв/дм <sup>3</sup> |      |      | СЕ, %            |      |      |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------|------|------------------|------|------|
|                                             | Ж <sub>заг</sub>                                                | Ca   | Mg   | Ж <sub>заг</sub> | Ca   | Mg   |
| 0                                           | 100,0                                                           | 32,5 | 67,5 | —                | —    | —    |
| ОЕДФК                                       |                                                                 |      |      |                  |      |      |
| 5                                           | 103,0                                                           | 34,5 | 68,5 | 21,4             | 36,4 | 12,3 |
| 10                                          | 105,0                                                           | 36,0 | 69,0 | 35,7             | 63,6 | 20,0 |
| 20                                          | 107,0                                                           | 36,5 | 70,5 | 50,0             | 72,7 | 40,0 |
| 30                                          | 103,0                                                           | 35,0 | 68,0 | 21,4             | 45,5 | 6,7  |
| 50                                          | 103,0                                                           | 37,5 | 65,5 | 21,4             | 90,9 | —    |
| НТМФК                                       |                                                                 |      |      |                  |      |      |
| 5                                           | 107,5                                                           | 36,0 | 71,5 | 53,6             | 63,6 | 53,3 |
| 10                                          | 107,0                                                           | 34,0 | 72,5 | 50,0             | 36,4 | 66,7 |
| 20                                          | 105,0                                                           | 36,9 | 68,1 | 35,7             | 80,0 | 8,0  |
| 30                                          | 105,0                                                           | 36,7 | 68,5 | 35,7             | 76,4 | 13,3 |
| 50                                          | 104,0                                                           | 36,5 | 67,5 | 28,6             | 72,7 | 0,0  |
| Гіпан                                       |                                                                 |      |      |                  |      |      |
| 5                                           | 104,0                                                           | 36,5 | 67,5 | 28,6             | 72,7 | 0,0  |
| 10                                          | 105,5                                                           | 36,0 | 69,5 | 39,3             | 63,6 | 26,7 |
| 20                                          | 102,5                                                           | 36,0 | 66,5 | 17,9             | 63,6 | —    |
| 30                                          | 103,0                                                           | 35,5 | 67,5 | 21,4             | 54,5 | 0,0  |
| 50                                          | 101,0                                                           | 35,5 | 65,5 | 7,1              | 54,5 | —    |
| Винна кислота                               |                                                                 |      |      |                  |      |      |
| 5                                           | 109,0                                                           | 37,5 | 71,5 | 64,3             | 90,9 | 53,3 |
| 10                                          | 108,0                                                           | 37,5 | 70,5 | 57,1             | 90,9 | 40,0 |
| 20                                          | 108,5                                                           | 37,2 | 71,3 | 60,7             | 85,5 | 50,7 |
| 30                                          | 107,5                                                           | 37,5 | 70,0 | 53,6             | 90,9 | 33,3 |
| 50                                          | 108,0                                                           | 37,5 | 70,5 | 57,1             | 90,9 | 40,0 |
| Лимонна кислота                             |                                                                 |      |      |                  |      |      |
| 5                                           | 109,0                                                           | 37,5 | 71,5 | 64,3             | 90,9 | 53,3 |
| 10                                          | 110,0                                                           | 37,5 | 72,5 | 71,1             | 90,9 | 66,7 |
| 20                                          | 104,0                                                           | 36,5 | 67,5 | 28,6             | 72,7 | 0,0  |
| 30                                          | 104,0                                                           | 36,5 | 67,5 | 28,6             | 72,7 | 0,0  |
| 50                                          | 105,0                                                           | 36,5 | 68,5 | 35,7             | 72,7 | 13,1 |
| ПАА                                         |                                                                 |      |      |                  |      |      |
| 5                                           | 106,0                                                           | 34,5 | 68,5 | 42,9             | 36,4 | 13,1 |
| 10                                          | 105,0                                                           | 34,5 | 68,5 | 35,7             | 36,4 | 13,1 |
| 20                                          | 105,0                                                           | 34,0 | 68,5 | 35,7             | 27,2 | 13,1 |
| 30                                          | 103,0                                                           | 34,5 | 67,5 | 21,4             | 36,4 | 0,0  |
| 50                                          | 103,0                                                           | 34,2 | 68,0 | 21,4             | 30,9 | 6,7  |

становив 36,4–90,9%, НТМФК — 36–80%, а при дозі 5 мг/дм<sup>3</sup> — 63,6%.

Зазвичай в зворотноосмотичному опрісненні води використовують антискаланти, що містять як функціональні карбоксильні групи. Частіше за все це олігомери акрилової, метакрилової кислот та інші подібні сполуки. Тому нами використано як інгібітори винна й лимонна кислоти, а також гіпан (гідролізований поліакрилонітрil) і гідролізований поліакри-

ламід (ПАА), карбоксиметилцеллюлоза, які також є полікарбоксильними сполуками.

Як видно з таблиці 1, із розглянутих речовин лише винна й лимонна кислота забезпечували задовільну ефективність. Для загальної жорсткості стабілізаційний ефект для них складав 60–70%, для кальцію — 91%. Застосування гіпану, гідролізованого ПАА й карбоксиметилцеллюлози було неефективним в пропонованій серії дослідів.

**ВИСНОВКИ.** Досліджено ефективність реагентів щодо стабілізації водопровідної води й модельних розчинів за різних температурних умов. Визначено ефективність ряду реагентів щодо відкладання осаду  $\text{CaSO}_4$  з концентрованих розчинів. Високу стабільність розчинів забезпечує стабілізатор накипоутворення НТМФК, який ефективно працював вже за низьких концентрацій. Стабілізаційний ефект за концентрації 10 мг/дм<sup>3</sup> становив 100%. Прямопропорційну залежність залишкової жорсткості від дози реагенту виявлено в інгібіторів КМЦ і гіпан. Проведено оцінку можливості застосування відомих і синтезованих реагентів для стабілізації води за підвищених

температур. Стабілізатори накипоутворення виявилися досить ефективними. Вже за малих концентрацій (0,5 мг/дм<sup>3</sup>) залишкова жорсткість при використанні усіх інгібіторів, за винятком гіпану, була досить високою. Кращими були інгібітори КМЦ і НТМФК. 100% стабілізаційний ефект досягнуто для стабілізатора НТМФК за концентрації 5 мг/дм<sup>3</sup>. КМЦ за концентрації 10 мг/дм<sup>3</sup> забезпечує стабілізаційний ефект на рівні 89%. Показано, що винна та лимонна кислоти є відносно ефективними стабілізаторами осадковідкладень у концентратах зворотноосмотичного опріснення морської води. Особливо ефективні інгібітори щодо відкладення осадів сполук кальцію.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Зінь Е. А.** Регіональна економіка [Текст]: підручник / Е. А. Зінь. — К. : «ВД «Професіонал», 2007. — 528 с.
- [2] **Іванов С. В.** Загальна хімічна технологія: промислові хіміко-технологічні процеси [Текст]: навч. посіб. / С. В. Іванов, Н. М. Манчук, П. С. Борсук. — К. : Вид-во Нац. авіац. університету «НАУ-друку», 2010. — 280 с.
- [3] Методы предотвращения накипеобразования при опреснении соленых вод [Текст] / А. Т. Пилипенко, И. Г. Вахнин, В. И. Максін и др. // Химия и технология воды. — 1991. — № 11. — С. 996–1013.
- [4] **Рудковская Е. В.** Разработка стабилизаторов накипеобразования для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения [Текст] / Е. В. Рудковская, Ю. А. Омельчук, Н. Д. Гомеля // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. — 2011. — № 4 (40). — С. 55–61.
- [5] **Тыр С. Г.** Оценка эффективности ингибиторов в средах оборотного водоснабжения [Текст] / С. Г. Тыр, З. А. Бобошко, И. Д. Глушко // Защита металлов. — 1993. — № 1. — С. 158–160.
- [6] Применение ингибиторов в системах водоподготовки на основе обратноосмотических установок [Електронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.mediana-filter.com.ua/water\\_ingibitor\\_use.html](http://www.mediana-filter.com.ua/water_ingibitor_use.html).
- [7] **Goeldner R. W.** Scale control inhibitor performance at 100° C under boiling conditions [Text] / R. W. Goeldner // WSIA J. — 1983. — № 2. — Pp. 33–39.
- [8] **Емков А. А.** Методы борьбы с отложениями неорганических солей в оборудовании подготовки нефти [Текст] / А. А. Емков. — М. :ВНИИОЭНГ, 1988. — 50 с.
- [9] **Дятлова Н. М.** Комплексоны и комплексонаты металлов [Текст]: учеб. / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина, К. И. Попов. — М. : Химия, 1988. — 554 с.
- [10] **Рудковская Е. В.** Оценка эффективности стабилизаторов накипеобразования для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения [Текст] / Е. В. Рудковская, Ю. А. Омельчук, Н. Д. Гомеля // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 6 — С. 47–51.

© Т. О. Шаблій, І. М. Макаренко, А. Ю. Береза, М. М. Шуриберко

Надійшла до редколегії 23.05.17

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. О. Є. Колосов