

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ОВЕРЧЕНКО ТЕТЯНА АНАТОЛІЇВНА**

УДК 628.162:66.097.7/8

**СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ  
ОБРОБКИ ВОДИ ДЛЯ ВОДОЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**21.06.01 – екологічна безпека**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ–2017

## Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Гомеля Микола Дмитрович**  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського» МОН України,  
завідувач кафедри екології та технології рослинних  
полімерів

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Волошкіна Олена Семенівна**  
Київський національний університет  
будівництва і архітектури,  
завідувач кафедри охорони праці  
та навколишнього середовища

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Чарний Дмитро Володимирович**  
Інститут водних проблем і меліорації  
Національної академії аграрних наук України,  
провідний науковий співробітник

Захист відбудеться «13» червня 2017 р. о «15<sup>00</sup>» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.05 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37, корп. 19, ауд. 201/1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Автореферат розісланий «11» травня 2017 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.002.05

О.І. Іваненко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Особливе місце в житті людини займає прісна вода. Із всіх видів природних ресурсів вона використовується в найбільшій кількості. Загальна кількість води, що споживає світове господарство, вже досягло приблизно 6 тис. км<sup>3</sup> на рік.

Найбільші об'єми води використовуються сьогодні в водооборотних системах промисловості та енергетики (4,509 млрд. м<sup>3</sup>). Основна маса води на промислових підприємствах використовується в оборотних системах водоохолодження. При сприятливих умовах щодоби скидається на продувку від 5 до 8 % від загального об'єму оборотної системи. Проте часто в таких системах використовують воду без попередньої підготовки. Тому, щоб зменшити утворення накипу на поверхнях теплопередачі, часто під час продувки скидають щодоби до 30 % від загального об'єму води в системі.

Найбільш радикальною мірою для рішення проблеми охорони природних вод від забруднення є різке зниження скиду відпрацьованих вод з оборотних систем у водойми шляхом впровадження технологій комплексної хімічної обробки води для промислових систем водокористування з переходом до замкнутих безстічних водоциркуляційних систем.

Зокрема, головними заходами, за допомогою яких можна підвищити ефективність використання води у водоциркуляційних системах, є впровадження більш досконалих технологій стабілізації води щодо накипоутворення та зниження її корозійної агресивності.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась на кафедрі екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» по напрямках «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології» на замовлення Міністерства освіти і науки України в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка екологічно чистих інгібіторів корозії металів, накипоутворення та біобростання (біопшкодження)» (№ держреєстрації 0100U000940) та «Збереження навколишнього середовища та сталий розвиток» на замовлення Міністерства освіти і науки України в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка комплексної технології стабілізаційної обробки води для ресурсозберігаючих замкнутих систем водокористування» (№ держреєстрації 0104U003432).

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи було створення нових реагентів, матеріалів та технологій стабілізаційної обробки води, зниження її корозійної активності для ресурсозберігаючих безстічних водоциркуляційних систем теплопостачання та охолодження в промисловості, енергетиці та комунальних господарствах.

Для досягнення поставленої мети та успішного вирішення комплексної наукової задачі розробки нових засобів та технологій для ресурсозберігаючих систем промислового водокористування були поставлені наступні задачі:

- вивчення процесів накипоутворення, визначення ефективності реагентів для стабілізації води в залежності від умов її використання, характеристик, типу та дози реагентів;

- дослідження процесів корозії металів (сталь Ст3, мідь М2, латунь Л62), визначення ефективності інгібіторів в залежності від типу та дози реагентів, а також характеристик водних середовищ;
- створення нових ефективних інгібіторів корозії та стабілізаторів накипоутворення з доступних реагентів;
- створення модифікованих матеріалів для ефективного вилучення розчиненого у воді кисню, визначення ефективності роботи створених матеріалів та розробка методів їх регенерації.

*Об'єкт дослідження* – екологічна безпека експлуатації водоциркуляційних теплообмінних систем та систем тепlopостачання в промисловості, енергетиці та комунальних господарствах.

*Предмет дослідження* – процеси накипоутворення та корозії металів у воді, стабілізаційна та протикорозійна обробка води для водооборотних систем в теплоенергетиці, процеси знекиснення води при застосуванні редокситів.

**Методи дослідження.** Оцінку ефективності стабілізаторів накипоутворення визначали з допомогою теплоелектронагрівачів. Жорсткість визначали титриметричними методами. Оцінку корозії здійснювали методами масометрії та поляризаційного опору з допомогою індикатору поляризаційного опору Р5126 та двохелектродного датчика від корозійно-індикаторної установки УК-2.

При проведенні досліджень були також використані спектрофотометричний, потенціометричний, хімічний і масометричний методи аналізу для ідентифікації реагентів, контролю фізико-хімічних процесів кондиціювання води. Для оцінки експериментальних результатів були використанні математичні методи обробки даних.

**Наукова новизна одержаних результатів.** При проведенні комплексних досліджень для вирішення наукової задачі по створенню нових матеріалів та процесів стабілізаційної обробки води для ресурсозберігаючих систем тепlopостачання та охолодження було вперше:

- розроблено нові сульфонатні інгібітори накипоутворення та корозії металів у воді шляхом конденсації сульфїту, бісульфїту та метилсульфонату натрію з формальдегідом, амінами та амїдами;
- визначено взаємний вплив характеристик водних середовищ, температури, концентрацій поліакрилатних, поліфосфатних, фосфонатних та сульфонатних інгібіторів, коефіцієнту випаровування на стабільність води по відношенню до накипоутворення;
- визначено умови стабілізаційної обробки термічно нестабільних вод з карбонатним індексом більше 70 (мг-екв/дм<sup>3</sup>)<sup>2</sup> в залежності від характеристик води та параметрів процесу її використання;
- оцінено корозійну активність води для чорних та кольорових металів в залежності від рівня її мінералізації, температурного режиму та умов аерації, визначено ефективність застосування інгібіторів-пасиваторів, інгібіторів адсорбційного типу, встановлено умови зниження корозійної активності води;
- визначено залежність умов модифікування іонїтів, їх регенерації при створенні високоефективних сорбентів для вилучення кисню з води від характеристик води, параметрів процесів знекиснення води.

**Практичне значення одержаних результатів.** В роботі отримано інгібітори накипоутворення і корозії металів для водооборотних систем охолодження та теплопостачання на основі доступної, дешевої сировини. Використання даних реагентів забезпечить підвищення ефективності роботи теплообмінного обладнання, захист металічних елементів системи від корозії, зменшить скид води для продувки систем, дозволить широко впроваджувати замкнуті водоциркуляційні системи, що забезпечить підвищення рівня екологічної безпеки теплопостачання.

Використання доступних високоефективних антискалантів та інгібіторів корозії металів дозволить суттєво скоротити водоспоживання в промисловості та енергетиці без суттєвої реконструкції станцій водопідготовки та водоочищення.

Впровадження установок по знекисненню води дозволить не тільки підвищити ефективність використання води в теплоенергетиці, але і дасть можливість значно подовжити термін надійної експлуатації теплових та парових котлів, теплообмінного обладнання та трубопроводів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримані та опубліковані автором самостійно [1-23]. В спільних працях автору належить наступне: [1-3] - вивчено процеси корозії металів у водних середовищах, визначено ефективність інгібіторів корозії; [4,5,9] - досліджено процеси накипоутворення у водних середовищах, визначено ефективність стабілізаторів накипоутворення; [6,7] - розроблено нові стабілізатори накипоутворення, визначено їх ефективність; [8] - досліджено ефективності отриманих редокситів на основі модифікованих іонітів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися на Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення» (Алушта, АР Крим, 2005); IX Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Київ, Україна, 2006); X Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Київ, Україна, 2007); III Міжвузівській науково-практичній конференції (Ірпінь, Україна, 2008); XVI Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов» (Харків, Україна, 2008); XII, XIII, XVII, XVIII, XIX Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, Україна, 2009, 2010, 2014, 2015, 2016); I Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, Україна, 2009); XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів, молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» (Київ, Україна, 2014); XI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми та енергозбереження в суднобудуванні» (Миколаїв, Україна, 2016).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 23 наукові роботи, з них 9 статей у фахових виданнях, з яких 1 стаття в науковому спеціалізованому виданні України, що включено до наукометричної бази даних Scopus, 1 стаття в іноземному науковому виданні, та 14 робіт опубліковано в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура дисертації.** Загальний обсяг складає 170 сторінок. Обсяг основного

тексту становить 142 сторінки, в тому числі 6 сторінок, площу яких повністю займають таблиці і рисунки. Всього в дисертації 36 таблиць, 27 рисунків, об'єм бібліографії 135 джерел, 3 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

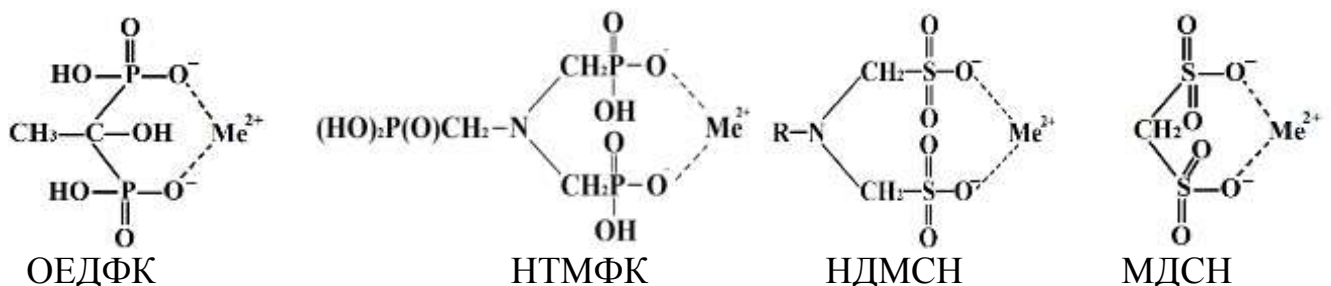
У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, показана наукова новизна та практична цінність одержаних результатів.

У **першому розділі** представлено аналіз наукової літератури за темою дисертаційної роботи. В розділі показано, що для ефективної експлуатації ресурсозберігаючих водоциркуляційних систем актуальною є інтенсифікація процесів стабілізаційної обробки води, наведено огляд сучасних методів контролю корозійної агресивності води. Показано залежність умов модифікування іонітів, їх регенерації від характеристик води, параметрів процесів знекиснення води при створенні вискоефективних сорбентів для вилучення кисню з води. В цьому розділі обґрунтовано основні завдання роботи та вибрані напрямки їх вирішення.

У **другому розділі** дисертаційної роботи представлено об'єкти та методи дослідження. Об'єктами дослідження були артезіанська, водопровідна та шахтна води, модельні розчини. В розділі приведено методики синтезу інгібіторів і модифікування іонітів, основні методи оцінки корозійної активності води, її стабільності щодо накипоутворення, методи знекиснення води, методи математичної обробки результатів.

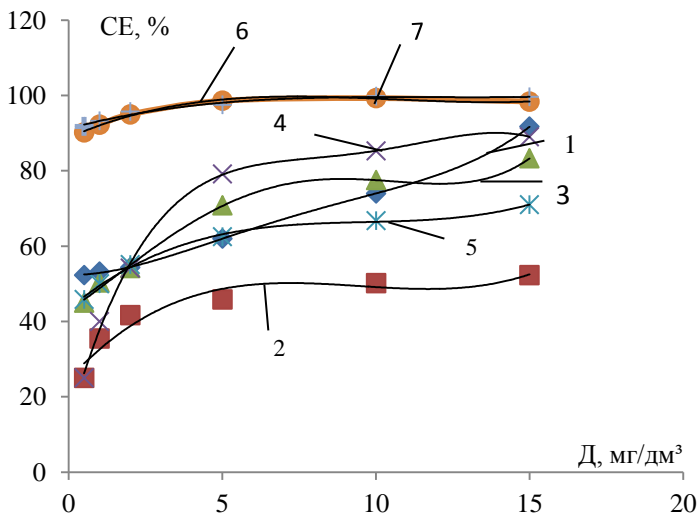
**Третій розділ** присвячено розробці нових стабілізаторів накипоутворення для водоциркуляційних систем охолодження.

В роботі були синтезовані нові сульфонатні інгібітори при взаємодії амінів і амідів з метилолсульфонатом з отриманням нітрилдиметилendisульфонатів (НДМСН) та формальдегіду з бісульфітом натрію з отриманням метилendisульфонату натрію (МДСН). Дані речовини є структурними аналогами відомих, найбільш ефективних фосфонатних антискалантів – оксиетилендендифосфонової кислоти (ОЕДФК) та нітрилтриметилendisульфонової кислоти (НТМФК). Отримані сульфонати (МС, МДСН), як і відомі фосфонати, здатні утворювати 6- та 8-членні хелатні цикли в сполуках з металами.



де: Me<sup>2+</sup> – Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>; R – залишок карбаміду, тіокарбаміду, гуанідінгідрохлориду, натрієвої солі сульфамінової кислоти.

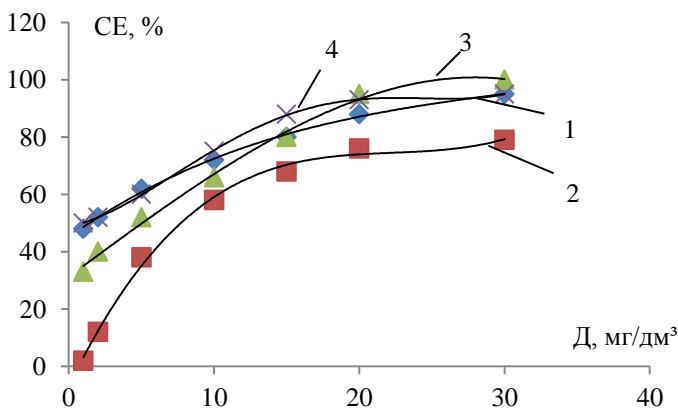
Результати по оцінці отриманих інгібіторів накипоутворення у водопровідній воді при 95-100 °С приведені на рисунку 1. Як видно з рисунку, найвищі значення СЕ забезпечує відомий інгібітор ОЕДФК та синтезований МДСН, які, як було сказано, здатні до утворення 6-членних хелатних комплексів з іонами жорсткості.



1 – МС -1:  $y=0,0026x^4 - 0,0735x^3 + 0,6983x^2 - 0,0641x + 52,385$ ;  
 2 – МС-2:  $y=0,031x^3 - 0,879x^2 + 7,913x + 26,931$ ;  
 3 – МС-3:  $y=0,0063x^4 - 0,1663x^3 + 1,018x^2 + 3,3594x + 45,23$ ;  
 4 – МС-4:  $y=0,0026x^4 - 0,0153x^3 - 1,1858x^2 + 16,878x + 24,829$ ;  
 5 – ДМФК:  $y=0,172x^3 - 0,5132x^2 + 5,5295x + 45,563$ ;  
 6 – МДСН:  $y=0,0035x^3 - 0,1388x^2 + 1,8124x + 91,7$ ;  
 7 – ОЕДФК:  $y=0,0035x^3 - 0,1388x^2 + 1,8144x + 91,901$

Рисунок 1 – Залежність стабілізаційного ефекту інгібіторів накипоутворення у водопровідній воді (рН=7,6; Ж=4,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л=4,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=1,10 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=3,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>, [Cl]=37 мг/дм<sup>3</sup>) від типу та дози реагенту при нагріванні до t=95–100 °С, τ=6 годин

Подібні залежності отримали при використанні артезіанської води. МДСН та ОЕДФК забезпечили СЕ на рівні 97–99 % при використанні в концентраціях від 2 мг/дм<sup>3</sup>. Інші інгібітори були менш ефективними.



1:  $y=0,001x^3 - 0,0954x^2 + 3,5924x + 45,065$ ;  
 2:  $y=0,0053x^3 - 0,3788x^2 + 0,3803x - 3,2912$ ;  
 3:  $y=0,0002x^3 - 0,0893x^2 + 4,9641x + 27,4$ ;  
 4:  $y=0,003x^4 - 0,0182x^3 + 0,2992x^2 + 1,263x + 48,257$ ;

Рисунок 2 – Залежність стабілізаційного ефекту від типу та дози реагенту для інгібіторів ОЕДФК (1), НТМФК (2), МДСН (3), МС-1 (4) при терміні відстоювання 2 доби у модельному розчині ([CaCl<sub>2</sub>]=200 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]=200 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

Більш складною є проблема стабілізації вод з високою жорсткістю та карбонатною лужністю при високій мінералізації. Не дивлячись на недоцільність

використання таких вод в системах охолодження через дефіцит прісної води, води з підвищеною мінералізацією і жорсткістю часто використовують на підприємствах Приазов'я, Причорномор'я, в розвинених промислових регіонах сходу та центру України. В разі застосування в системах охолодження мінералізованих природних або шахтних вод наряду з проблемою карбонатних відкладень виникає проблема боротьби з відкладенням гіпсу на теплообмінній поверхні. Тому було проведено оцінку розроблених інгібіторів накипоутворення в концентрованих розчинах сульфату кальцію. Як видно з рисунку 2, отримані нами інгібітори не поступаються по ефективності відомим реагентам на основі фосфонових кислот. Високий рівень концентрацій інгібіторів обумовлений високою концентрацією сульфату кальцію в даному випадку.

Особливо складною є проблема стабілізації води з високим рівнем жорсткості та лужності. Із досвіду експлуатації циркуляційних систем відомо, що при значенні карбонатного індексу ( $K_i > 70$  (мг-екв/дм<sup>3</sup>)<sup>2</sup>) застосовувати антискаланти недоцільно. Як видно з результатів, представлених в таблиці 1, застосування антискалантів в шахтній воді з  $K_i = 88$  (мг-екв/дм<sup>3</sup>)<sup>2</sup> забезпечує СЕ на рівні 80 % лише при концентраціях, більших 5 мг/дм<sup>3</sup>, що у випадку фосфонатних інгібіторів призведе до значних фінансових затрат на реагенти.

Таблиця 1 – Вплив типу і дози реагенту на стабільність води шахти ім.М.Горького (рН=7,89; Ж=14,3 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л=16,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=8,80 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=5,50 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl<sup>-</sup>]=336,6 мг/дм<sup>3</sup>) по відношенню до накипоутворення (t=95–100 °С, τ=6 год)

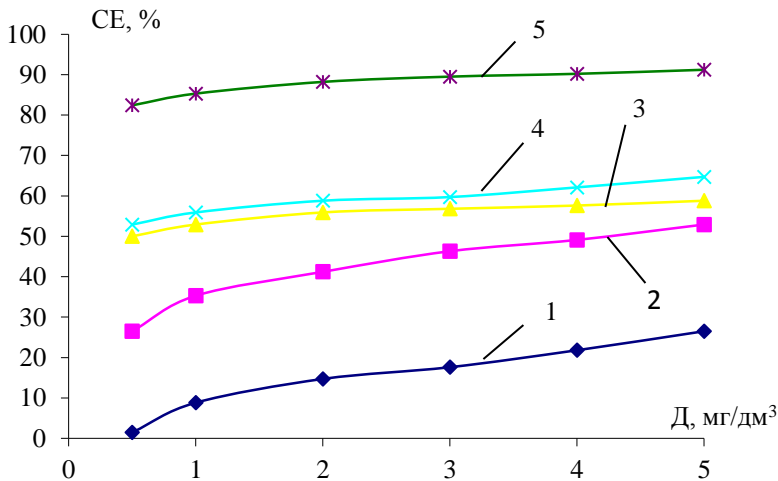
Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	Ж <sub>к</sub> , мг-екв/дм <sup>3</sup>	ΔЖ, мг-екв/дм <sup>3</sup>	СЕ, %
—	—	7,9	4,6	0,0
ОЕДФК	2	9,6	2,9	37,0
	5	11,6	0,9	80,4
НТМФК	2	9,3	3,2	30,4
	5	11,7	0,8	82,6
МДСН	2	10,2	2,3	50,0
	5	11,9	0,6	87,5
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; ОЕДФК	98; 1	11,9	0,6	87,0
	98; 2	12,5	0,0	100,0
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; НТМФК	98; 1	12,0	0,5	89,0
	98; 2	12,5	0,0	100,0
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; МДСН	98; 1	12,2	0,3	93,0
	98; 2	12,2	0,3	95,0

Більш перспективними є використання комбінованої обробки води кислотою та інгібіторами накипоутворення. При комбінованій обробці шахтної води сірчаною



і фосфоновими кислотами вдалося досягти високих показників стабільності води при витраті кислоти на рівні 1-2 мг-екв/дм<sup>3</sup> при дозах антискалантів 1-2 мг/дм<sup>3</sup>.

Про високу ефективність композицій МДСН та сірчаної кислоти можна судити по даних, приведених на рисунку 3. Як і в попередніх випадках, застосування інгібітору із сірчаною кислотою забезпечило високу стабільність води.



$$1: y=0,525x^4 - 5,3648x^3 + 15,586x^2 - 3,7844x + 19,173$$

$$2: y=0,0314x^4 + 1,0125x^3 - 13,469x^2 + 51,989x + 19,789$$

$$3: y=0,0521x^4 - 0,4403x^3 + 0,3938x^2 + 5,8873x + 83,251$$

$$4: y=0,00012x^2 - 0,012x + 99,9$$

$$5: y=0,2875x^4 - 2,6824x^3 + 5,8681x^2 + 8,5221x + 22,05$$

$$6: y=0,6479x^4 - 6,5838x^3 + 18,837x^2 - 2,67x + 49,6$$

$$7: y=0,3458x^4 - 3,4056x^3 + 8,9264x^2 + 0,6562x + 83,146$$

$$8: y=0,00012x^2 - 0,012x + 99,9$$

Рисунок 3 – Залежність стабілізаційного ефекту в модельному розчині (рН=7,685; Ж=16,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л=9,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=4,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=12 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl<sup>-</sup>]=100 мг/дм<sup>3</sup>) від дози реагентів при витраті H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, мг-екв/дм<sup>3</sup>: 2 (1; 5); 4 (2; 6); 6 (3; 7); 8 (4; 8)

Даний підхід був ефективний і в умовах випаровування води, коли K<sub>в</sub>=1,5. При витраті МДСН 2 мг/дм<sup>3</sup> при дозі сірчаної кислоти 25 г/м<sup>3</sup> і вище спостерігався СЕ=100 %, що доводить ефективність використання даного інгібітору.

Використовуючи рівняння повного факторного експерименту, отримали рівняння регресії, яке дозволяє встановити зв'язок між дозою інгібітора, дозою сірчаної кислоти та стійкістю води до накипоутворення. В основу розрахунку був взятий повний факторний план (ПФП) типу 2<sup>2</sup>.

В результаті відповідних розрахунків після перевірки відтворюваності результатів експериментів, оцінка значимості отриманих коефіцієнтів і перевірки рівняння регресії на адекватність, невідома залежність прийняла наступний вигляд:

$$Y = 19,8 + 1,12 \cdot X_1 + 2,12 \cdot X_2 + 1,12 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Після заміни в отриманому рівнянні кодових значень натуральними, отримуємо наступне рівняння регресії в натуральному вигляді:

$$X_1 = \frac{D_{H_2SO_4} - 49,5}{24,5}; X_2 = \frac{D_{МДСН} - 1,5}{0,5};$$

$$Y = 17,92 - 0,094 \cdot D_{H_2SO_4} - 0,26 \cdot D_{МДСН} + 0,091 \cdot D_{H_2SO_4} \cdot D_{МДСН}$$

Отримана залежність представлена на рисунку 4 у вигляді поверхні, на якій лежить рішення приведенного рівняння.

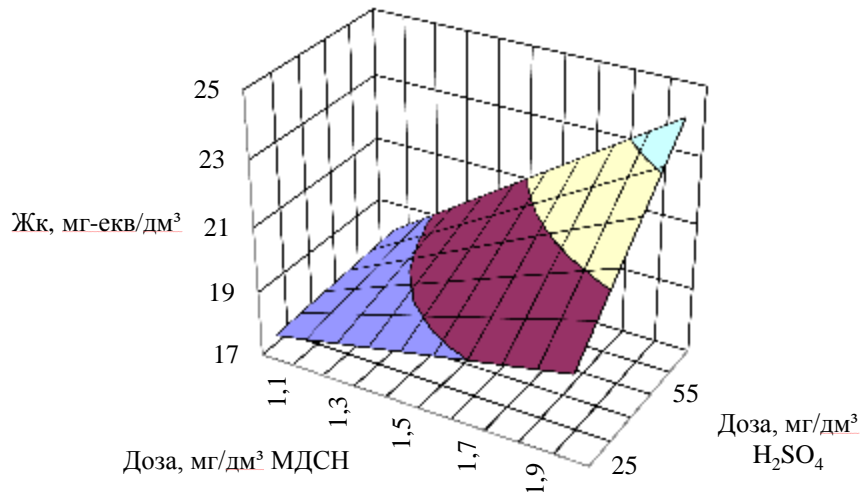
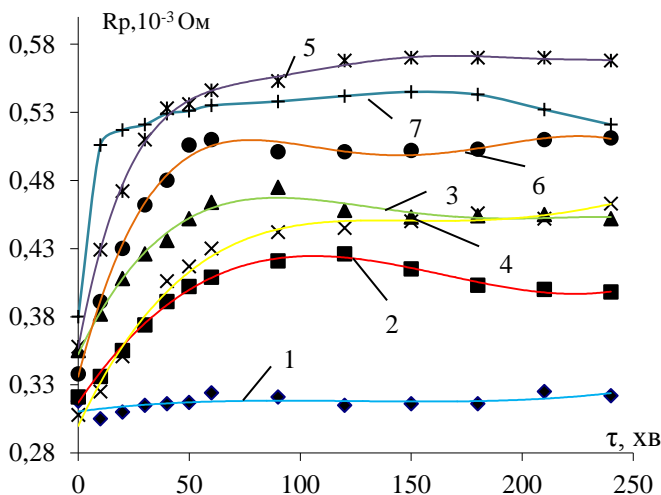


Рисунок 4 – Графічне зображення результатів ПФП типу  $2^2$  при стабілізаційній обробці води в залежності від дози  $H_2SO_4$  та дози інгібітора МДСН

Використовуючи рівняння повного факторного експерименту, отримали рівняння регресії, яке дозволяє достатньо легко розрахувати залишкову жорсткість при підвищених витратах реагентів.

Також були проведені корозійні дослідження при застосуванні МДСН та МДСН з  $Zn^{2+}$  у водопровідній воді методом поляризаційного опору. Дослідження проводили в статичних і динамічних умовах. Результати зображені на рисунках 5–6.



$$1: y = -14 \cdot 10^{-4} x^6 + 0,011 x^5 - 0,8 x^4 + 0,6 x^3 + 0,0001 x^2 + 0,0028 x + 0,3193$$

$$2: y = -0,1 x^4 + 0,8 x^3 + 0,5 x^2 + 0,0021 x + 0,3188$$

$$3: y = -8 \cdot 10^{-5} x^3 + 0,005 x^2 + 0,0031 x + 0,354$$

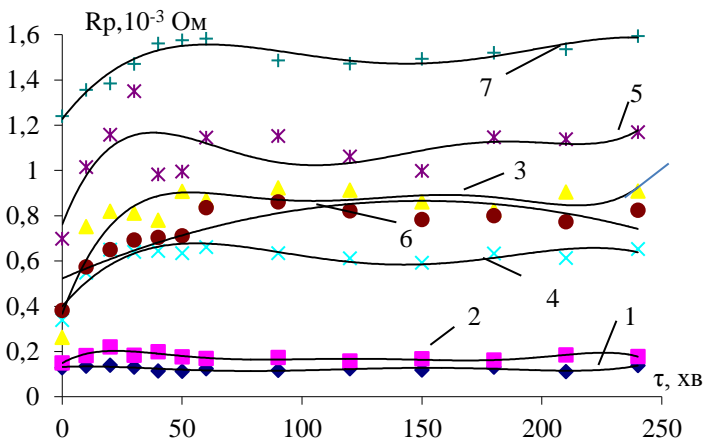
$$4: y = -0,1 x^4 - 0,7 x^3 + 0,5 x^2 + 0,0039 x + 0,2962$$

$$5: y = 0,0006 x^2 + 0,0014 x + 0,31$$

$$6: y = -8 \cdot 10^{-9} x^3 + 0,0005 x^2 + 0,0045 x + 0,3509$$

$$7: y = -0,11 x^5 + 9 \cdot 10^{-8} x^4 - 0,006 x^3 - 0,0002 x^2 + 0,0095 x + 0,3925$$

Рисунок 5 – Залежність поляризаційного опору в водопровідній воді ( $pH=7,6$ ;  $Ж=4,1$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $L=4,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Mg^{2+}]=1,1$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Ca^{2+}]=3,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Cl^-]=37$  мг/дм<sup>3</sup>) від дози МДСН, мг/дм<sup>3</sup>: 0 (1); 1 (2; 4; 6); 5 (3; 5; 7) при витраті  $Zn^{2+}$ , мг/дм<sup>3</sup>: 0 (1; 2; 3); 1 (4; 5); 2 (6; 7) в статичних умовах (без перемішування)



$$1: y=0,0012x^5 + 0,5x^4 - 0,006x^3 - 0,001x^2 + 0,012x + 0,23$$

$$2: y=0,13x^6 - 11 \cdot 10^{-9}x^5 + 0,8x^4 - 0,006x^3 - 0,0002x^2 + 0,006x + 0,194$$

$$3: y=0,011x^5 + 0,8x^4 - 0,006x^3 - 0,0006x^2 + 0,0289x + 0,3663$$

$$4: y=0,9x^4 - 0,6x^3 - 0,0002x^2 + 0,0125x + 0,3994$$

$$5: y=0,13 \cdot 10^{-5}x^6 + 0,00011x^5 + 0,7x^4 - 0,5x^3 - 0,0015x^2 + 0,44x + 0,7108$$

$$6: y= -0,07x^3 + 0,5x^2 + 0,0101x + 0,4358$$

$$7: y=0,9x^4 - 0,6x^3 - 0,0002x^2 + 0,0137x + 1,2275$$

Рисунок 6 – Залежність поляризаційного опору в водопровідній воді (рН=7,6; Ж=4,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л =4,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=1,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=3,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl<sup>-</sup>]=37 мг/дм<sup>3</sup>) від дози МДСН, мг/дм<sup>3</sup>: 0 (1); 1 (2; 4; 6); 5 (3; 5; 7) при витраті Zn<sup>2+</sup>, мг/дм<sup>3</sup>: 0 (1; 2; 3); 1 (4; 5); 2 (6; 7) в динамічних умовах (з перемішуванням)

Реагент МДСН в динамічних умовах забезпечував ступінь захисту від корозії на рівні 95–97 % уже при дозі 1 мг/дм<sup>3</sup>.

У **четвертому** розділі приведено результати, отримані при підготовці води для захисту теплообмінного обладнання водоциркуляційних систем від корозії з кисневою деполяризацією.

На сьогоднішній день в промислових регіонах спостерігається суттєве підвищення рівня мінералізації природних, шахтних та інших стічних вод. Такі води характеризуються високою корозійною активністю. Це обумовлено значним вмістом хлорид- або сульфат-аніонів, які перешкоджають формуванню пасиваційної оксидної плівки на метали та створенню дифузійного бар'єру у вигляді оксидів металів. Крім того, за високої електропровідності розчину інтенсивне окислення металів в анодній області відбувається за рахунок контакту анодної і катодної області на значній відстані, що сприяє активному зв'язуванню кисню без утворення на поверхні металу захисної оксидної плівки та погіршує захист металів від корозії. Особливо, як показали наші дослідження, ця тенденція сильно виражена для кольорових металів - міді та латуні, де швидкість корозії в сольовому розчині зростає на порядок в порівнянні з прісною водою. В меншій мірі ця тенденція виражена для чорних металів. Пояснюється це тим, що в випадку СтЗ гідроксидна плівка і без солей слабо захищає метал від корозії.

Проблема захисту металів від корозії у високомінералізованих водах є досить складною. Проведені дослідження показали, що будь-які інгібітори пасиваційного типу – поліфосфати та фосфонати і т.п. неефективні або є стимуляторами корозії. Це пояснюється неможливістю утворення пасиваційної плівки на поверхні металу через високу концентрацію хлорид- або сульфат-аніонів. По тій же причині низькою ефективністю характеризуються інгібітори адсорбційного типу. Суттєвого зниження швидкості корозії можна досягти лише при використанні інгібіторів в концентраціях понад 20 мг/дм<sup>3</sup>, що є економічно недоцільним.

Враховуючи те, що корозія металів в розчинах з високим вмістом солей (~ 3 %) в основному обумовлена кисневою деполяризацією, загальмувати процес

корозійного розчинення металів можливо при зниженні вмісту кисню у воді (таблиця 2).

Таблиця 2 – Швидкість корозії металів у розчинах NaCl в деаерованих і аерованих умовах

Метал	Концентрація реагенту, г/дм <sup>3</sup>		Швидкість корозії V, г/(м <sup>2</sup> ·год)			
	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Концентрація NaCl 30 г/дм <sup>3</sup>		Концентрація NaCl 100 г/дм <sup>3</sup>	
			I	II	I	II
Сталь Ст3	–	–	0,0116	0,0445	0,0101	0,0184
	5	–	0,0102	–	0,0262	–
	–	5	–	0,0397	–	0,0275
	5	–	* 0,0136	–	–	–
Мідь М2	–	–	0,0026	0,0146	0,0011	0,0048
	5	–	0,0017	–	0,0037	–
	–	5	–	0,0152	–	0,0154
	5	–	* 0,0021	–	–	–
Латунь Л62	–	–	0,0051	0,0159	0,0104	0,0125
	5	–	0,0043	–	0,0095	–
	–	5	–	0,0191	–	0,0217
	5	–	* 0,0042	–	–	–

I – деаерований розчин, без доступу повітря (\* - розчин без попередньої деаерації)

II – в умовах аерації

Одним з найбільш простих способів знекиснення води є використання відновників. Найбільш доступним, дешевим та нетоксичним відновником є сульфід натрію. Про ефективність його використання можна судити за результатами, наведеними в таблиці 3.

Як показали результати, використання сульфід натрію в композиціях з адсорбційними інгібіторами дозволяє суттєво знизити витрату інгібіторів при досягненні високих значень ступеню захисту від корозії. Так, в разі використання сульфід натрію в концентраціях 100 мг/дм<sup>3</sup> досягається ефективний захист металів від корозії при дозах адсорбційних інгібіторів на рівні 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Одним із перспективних напрямків стабілізаційної обробки води для її використання в промисловості та енергетиці є знекиснення води з використанням редокситів – модифікованих іонообмінних смол сполуками заліза.

Не дивлячись на складність регенерації редокситів, вони є досить ефективними при знекисненні вод із значним вмістом хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів та інших аніонів.

Таблиця 3 – Вплив сульфїту натрію на корозію металів в модельному розчині (рН=8,05; Ж=36,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л=4,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=21,05 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=15,16 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl<sup>-</sup>]=169,17 мг/дм<sup>3</sup>)

Метал	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	t, °C	Швидкість корозії, V, г/(м <sup>2</sup> ·год)	Коефіцієнт зниження швидкості корозії, j		Ступінь захисту від корозії, Z, %	
				I	II	I	II
Сталь Ст 3	100	15	0,0299	2,10	1,34	52,40	25,37
	500	15	0,0102	6,16	3,82	83,76	73,84
	1000	15	0,0062	10,13	6,920	90,13	84,10
	2000	15	0,0056	11,21	6,96	91,08	85,64
	100	30	0,0492	2,13	1,05	53,10	4,58
	500	30	0,0401	2,62	1,29	61,77	23,30
	1000	30	0,0157	6,68	3,29	85,03	69,58
Нержавіюча сталь 12X18H10T	100	15	0,0002	4,00	4,00	75,00	75,00
	500	15	0,0001	8,00	8,00	87,50	87,50
	1000	15	0,000	>100	>100	100,0	100,0
Мідь М2	100	15	0,0092	2,62	0,90	61,83	–
	500	15	0,0072	3,35	0,74	71,18	–
	1000	15	0,0052	4,64	1,02	78,43	1,87
Латунь Л62	100	15	0,0128	2,63	0,52	61,93	–
	500	15	0,0071	4,78	0,93	79,06	–
	1000	15	0,0065	4,91	1,02	79,65	1,48

I – в порівнянні з модельним розчином;

II – в порівнянні з водопровідною водою

Відновлювальна здатність редокситу залежить від кількості сорбованого заліза, форми, об'єму іоніту і характеристик води. Як видно з рисунку 7, відновлювальна здатність росте при переході від катіоніту у Fe<sup>2+</sup>- формі (крива 1) до іоніту в Na<sup>+</sup>- формі, модифікованого Fe(OH)<sub>2</sub> (крива 2). Крім того, при використанні іоніту у Fe<sup>2+</sup>- формі за наявності іонів жорсткості відбувається вимивання іонів заліза з редокситу, що суттєво погіршує якість води. Відновлювальна ємність модифікованого іоніту Fe(OH)<sub>2</sub> по O<sub>2</sub> сягає 1,1–1,3 г-екв/дм<sup>3</sup> і залежить від хімічного складу воду.

Значним недоліком при застосуванні модифікованих залізом редокситів є складність їх регенерації після втрати відновлювальної здатності та обмеженість кількості циклів сорбції/регенерації. Це пов'язано з переходом молекул гідроксиду заліза (II) при їх гідролізі з поверхні в пори сорбенту. При цьому в процесі накопичення Fe(OH)<sub>2</sub>, який із слабкорозчинного гідроксиду заліза (II) при окисленні переходить у нерозчинну Fe(OH)<sub>3</sub>-форму або магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, відбувається зашлаковування пор сорбенту.

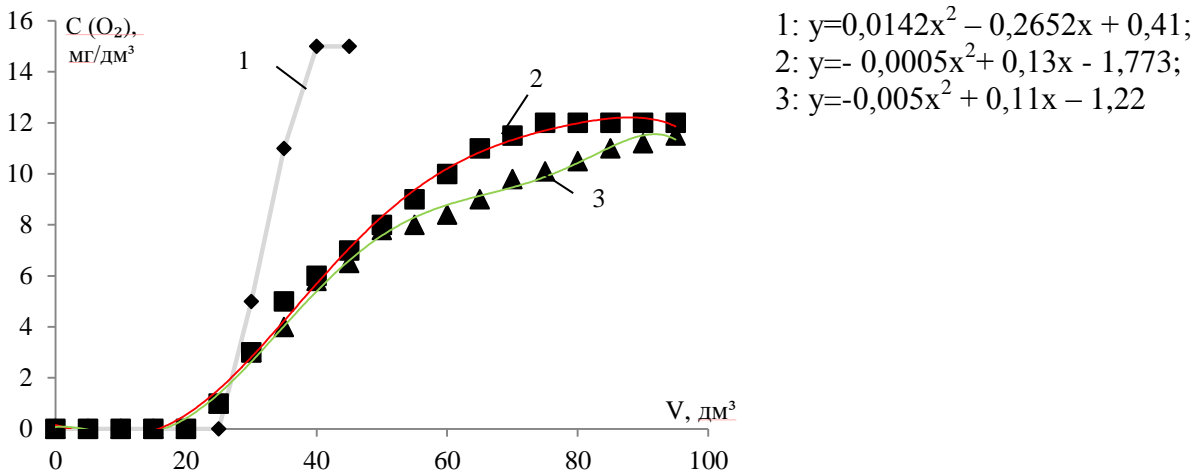


Рисунок 7 – Залежність залишкової концентрації розчиненого кисню від пропущеного об'єму водопровідної (рН=7,6; Ж=4,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л=4,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=1,10 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=3,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl<sup>-</sup>]=37 мг/дм<sup>3</sup>; [O<sub>2</sub>]=10,63 мг/дм<sup>3</sup>) та Na<sup>+</sup>- катіонованої води (рН=7,19; Л=0,4 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [O<sub>2</sub>]=10,63 мг/дм<sup>3</sup>) через катіоніт КУ 2-8 в Fe<sup>2+</sup>- формі (1 - ОЕ<sub>Fe<sup>2+</sup></sub>=2,700 мг-екв/дм<sup>3</sup>; E<sup>1</sup><sub>O<sub>2</sub></sub>=1,080 г-екв/дм<sup>3</sup>; Vi=50 см<sup>3</sup>) і модифікований Fe(OH)<sub>2</sub> (2 - ОЕ<sub>Fe<sup>2+</sup></sub>=2,900 мг-екв/дм<sup>3</sup>; E<sup>2</sup><sub>O<sub>2</sub></sub>=1,352 г-екв/дм<sup>3</sup>; Vi=50 см<sup>3</sup>; 3 - ОЕ<sub>Fe<sup>2+</sup></sub>=3,100 мг-екв/дм<sup>3</sup>; E<sup>3</sup><sub>O<sub>2</sub></sub>=1,187 г-екв/дм<sup>3</sup>; Vi=50 см<sup>3</sup>)

Тому після кількох циклів регенерації іоніту суттєво змінюється його ємність по іонах заліза, і відповідно, відновлювальна здатність. В цілому, ємність більшості катіонітів знижується більше як у 2-а рази при використанні його протягом 5-6 циклів (рисунок 8). На прикладі катіоніту Dowex MAC-3 показано, що при обробці ультразвуком перед регенерацією його відновлювальна здатність зросла майже в 2,5 рази.

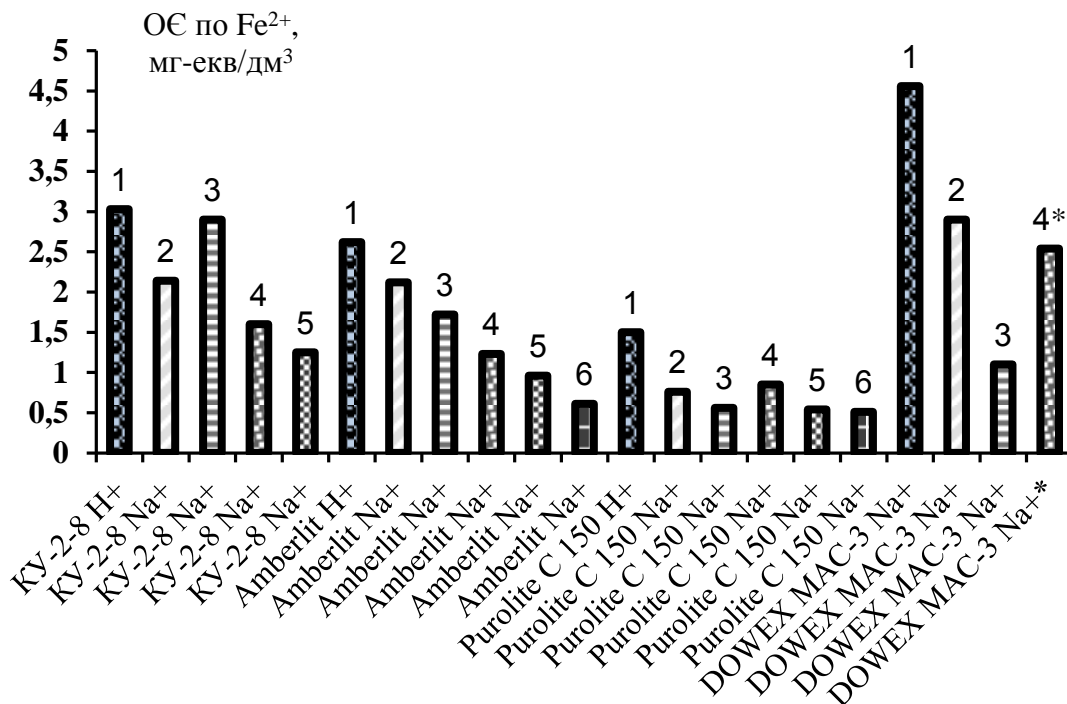


Рисунок 8 – Вплив кількості фільтроциклів на сорбцію заліза із 10 %-го розчину FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (\* після кавітаційної обробки)

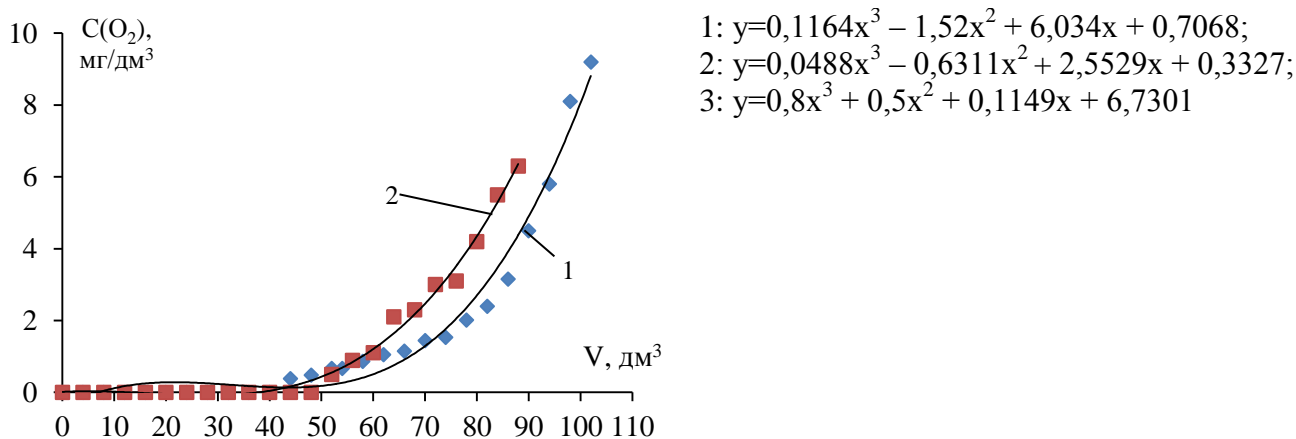


Рисунок 9 – Залежність концентрації кисню від пропущеного об'єму водопровідної (2) ( $pH=7,6$ ;  $Ж=4,1$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $L=4,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Mg^{2+}]=1,10$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Ca^{2+}]=3,0$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $[Cl]=37$  мг/дм<sup>3</sup>;  $[O_2]=10,63$  мг/дм<sup>3</sup>) та дистильованої води (1) через модифікований аніоніт АВ–17–8 у  $SO_3^{2-}$ -формі ( $BZ_1=2265,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $BZ_2=2128,7$  мг-екв/дм<sup>3</sup>)

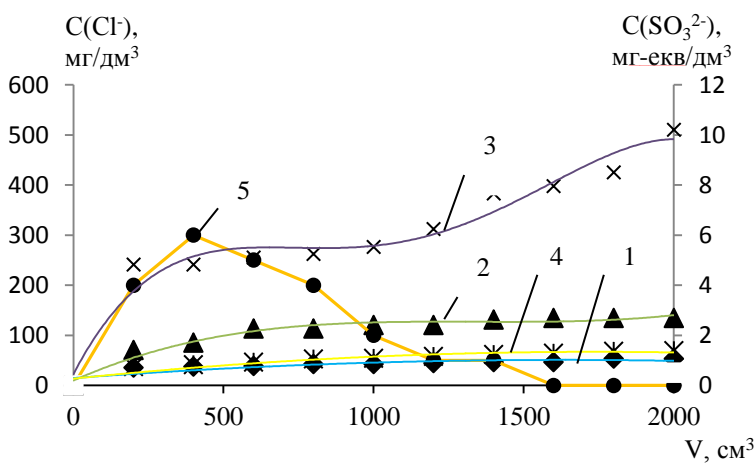
Значно простішим є отримання та регенерація редокситів на основі аніонітів. В даному випадку аніоніт АВ–17–8 переводили в  $SO_3^{2-}$ -форму при обробці аніоніту сульфідом та бісульфідом натрію. Як видно з рисунку 9, відновлювальна здатність даних редокситів сягає 2100-2300 мг-екв/дм<sup>3</sup> і є вдвічі більшою в порівнянні з редокситом, модифікованим сполуками Fe. Перевагою даних сорбентів є також простота їх отримання та регенерації.

Відомо, що води поступають в тепломережу, як правило, пом'якшеними та знесоленими і вилучення з них кисню на редокситах аніонного типу відбувається досить добре. Проте використання даних сорбентів для необробленої або технічної води має певні обмеження. Насамперед, на ефективність роботи даного іоніту та тривалість фільтроциклів буде впливати аніонний склад води. За високих концентрацій аніонів можлива десорбція сульфідів із сорбенту. Тому було проведено дослідження по визначенню впливу основних аніонів, присутніх у воді, а саме: хлоридів, сульфатів та карбонатів на процес десорбції сульфід-аніонів з аніоніту АВ–17–8.

Як видно з рисунку 10, при пропусканні через редоксит розчинів NaCl з концентрацією хлоридів до 167 мг/дм<sup>3</sup> вимивання сульфідів не відбувалось. При фільтруванні розчинів концентрацією більше 400 мг/дм<sup>3</sup> відбувається вимивання сульфід-іонів з поверхні редокситу. Тому застосування редокситів даного типу для вод з високим вмістом хлоридів недоцільно.

Таку ж тенденцію відмічено при застосуванні розчину карбонату натрію та гідрокарбонату натрію. У випадку карбонату незначну десорбцію сульфідів відмічено при концентрації більше 260 мг/дм<sup>3</sup>.

У випадку сульфату натрію десорбція сульфід-аніонів відмічена при концентрації сульфатів більше 170 мг/дм<sup>3</sup>. Таким чином, з приведених результатів видно, що застосування редокситів на основі аніоніту АВ – 17 – 8 можливе в знесолених та пом'якшених водах при вмісті  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  не більше 200-300 мг/дм<sup>3</sup>.



$$1: y = 0,8x^3 + 0,5x^2 + 0,1149x + 6,7301$$

$$2: y = 5 \cdot 10^{-5} x^2 + 0,1525x + 23,976$$

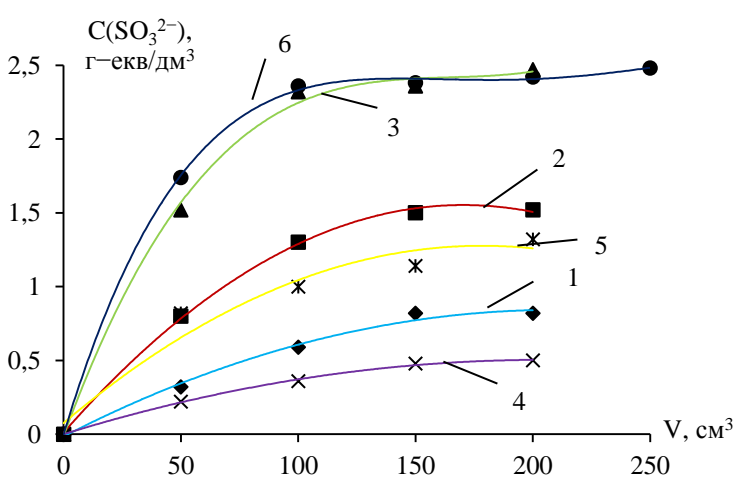
$$3: y = -0,07x^3 - 0,0005x^2 + 0,6241x + 52,806$$

$$4: y = 0,8x^3 + 0,5x^2 + 0,1149x + 6,73$$

$$5: y = 0,14x^5 + 10x^4 + 0,7x^3 - 0,0002x^2 + 0,0665x + 0,4056$$

Рисунок 10 – Залежність концентрацій хлоридів та сульфит-аніонів від пропущеного об'єму розчинів хлориду натрію та водопровідної води (рН=7,6; Ж=4,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>; Л=4,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Mg<sup>2+</sup>]=1,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Ca<sup>2+</sup>]=3,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; [Cl<sup>-</sup>]=37 мг/дм<sup>3</sup>; [O<sub>2</sub>]=10,63 мг/дм<sup>3</sup>), при концентрації хлоридів C(Cl<sup>-</sup>), мг/дм<sup>3</sup>: 54,95 (1); 69,5 (4); 166,6 (2); 407,7 (3), через аніоніт АВ-17-8 у SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>- формі

Іншим важливим аспектом використання даних сорбентів є їх регенерація після вичерпання обмінної ємності. Якщо на етапі отримання сорбенту аніоніт використовували у Cl<sup>-</sup> або OH<sup>-</sup>- формі, що спрощує переведення аніоніту в SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-форму, то при регенерації аніоніту він знаходиться, як правило, в сульфатній формі, що може вплинути на ємність іоніту по сульфит-аніонах.



$$1: y = 0,5x^2 + 0,0082x - 0,0151$$

$$2: y = 0,5x^2 + 0,0182x + 0,0103$$

$$3: y = 0,7x^3 - 0,0003x^2 + 0,0466x + 0,0157$$

$$4: y = 0,5x^2 + 0,0135x + 0,0754$$

$$5: y = 0,5x^2 + 0,0049x - 15$$

$$6: y = 9x^4 - 0,06x^3 - 0,004x^2 + 0,0528x - 0,0029$$

Рисунок 11 – Вихідні криві сорбції сульфит іонів на аніоніті АВ-17-8 в Cl<sup>-</sup> та SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-формі. Концентрації розчинів Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> – 5 (1;4); 10 (2;5) та 15 (3;6) (ПОДС<sub>2</sub>=1825 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС<sub>2</sub>=2800 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС<sub>2</sub>=3125 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС<sub>2</sub>=1100 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС<sub>2</sub>=2500 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС<sub>2</sub>=2550 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

Проте, як видно з рисунку 11, форма аніоніту мало впливає на його ємність по сульфит-аніонах, яка в основному залежить від концентрації вихідного розчину сульфиту натрію. При використанні аніонітів в сульфатній формі було досягнуто повної динамічної ємності при застосуванні 10 %-го розчину сульфиту натрію на рівні 2500 мг-екв/дм<sup>3</sup>.



У додатках наведено акти дослідно-промислових випробувань, результати математичної обробки отриманих результатів.

## ВИСНОВКИ

1. Вивчено вплив реагентів (поліфосфатів, фосфонатів та поліакрилатів) на стабільність прісних вод щодо осадковідкладень при температурах до 100 °С. Показано, що найефективнішими антискалантами є фосфонові кислоти ОЕДФК та НТМФК.

2. Розроблено нові високоосновні стабілізатори накипоутворення на основі нітрилдимителенсульфонатів та метиленсульфонатів, які утворюють 6- та 8-членні хелатні комплекси, подібні до ОЕДФК та НТМФК, і не поступаються за своєю ефективністю фосфонатним інгібіторам.

3. Визначено ефективність інгібіторів осадковідкладення в концентрованих розчинах сульфату кальцію. Показано, що високу ефективність в даних розчинах забезпечують НТМФК та поліакрилат – гіпан.

4. Створено композиції на основі фосфонатів або сульфонатів та сірчаної кислоти, які забезпечують високу стійкість до осадкоутворення в шахтних водах з жорсткістю до 14 мг-екв/дм<sup>3</sup> та лужністю до 16 мг-екв/дм<sup>3</sup> при температурах до 100 °С. Концентрація H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> не перевищує 2–3 мг-екв/дм<sup>3</sup>, доза інгібітора < 5 мг/дм<sup>3</sup>.

5. Вивчено вплив поліфосфатів, фосфонатів та синтезованих сульфонатів на корозійну активність води. Визначено вплив на корозійні процеси іонів металів та їх композицій з поліфосфатами, фосфонатами, фосфінатами та сульфонатами. Визначено умови ефективного захисту металів від корозії.

6. Вивчено корозійні процеси чорних та кольорових металів у воді при підвищеній мінералізації. Показано, що зростання солевмісту у воді в більшій мірі активує корозію міді та латуні в порівнянні із нелегованою сталлю. Швидкість корозії в значній мірі визначається вмістом кисню у воді.

7. Встановлено, що інгібітори-пасиватори фосфонати, поліфосфонати та ін., які ефективно захищають метали від корозії в прісній аерованій воді (водопровідна, артезіанська вода), є стимуляторами корозії в розчинах з підвищеним солевмістом, а інгібітори адсорбційного типу можуть бути ефективними лише при високих концентраціях – 25–50 мг/дм<sup>3</sup>.

8. Досліджено вплив способу модифікації катіонітів сполуками заліза (II) на їх відновлювальну здатність при знекисненні води. Вивчено вплив складу води та способу модифікування катіоніту на десорбцію заліза.

9. Оцінено залежність сорбційної здатності аніоніту АВ–17–8 та Dowex marathon WBA по SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-аніонах від форми аніоніту, концентрації та складу розчинів сульфіту та бісульфіту натрію. Показано, що при використанні концентрованих розчинів Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (5–10 %) аніоніти в сульфатній формі мають обмінну ємність близьку до аніонітів в хлоридній формі.

10. Визначено залежність відновлювальної здатності аніоніту АВ–17–8 у сульфатній формі від характеристик води. Оцінено вплив концентрації хлоридів, карбонатів та сульфатів у воді, яку використовують для знекиснення, на десорбцію сульфат-аніонів з аніоніту АВ–17–8 та його відновлювальну здатність.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гомеля М.Д. Оцінка ефективності редокситів, отриманих на основі слабокислого катіоніту DOWEX MAC-3 сполуками заліза/ М.Д. Гомеля, Т.А. Корда (**Т.А. Оверченко**), Ю.В. Носачова, Т.В. Потильчак// Восточно-европейский журнал передовых технологий.—2015.—5/6(77).—С.34-38. (Входить до наукометричної бази Scopus.) *Особистий внесок здобувача полягає у проведенні отримання редокситів для знекиснення вод, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

2. Гомеля Н.Д. Разработка ингибиторов накипеобразования и коррозии латуни меди для водооборотных систем АЭС/ Н.Д. Гомеля, Ю.А. Омельчук, Т.А. Незвиская (**Т.А. Оверченко**)// Научно-технический сборник “Экология и атомная энергетика” —2009.—№ 1(24).—С.114-117. (Закордонне видання.) *Особистий внесок здобувача полягає у проведенні досліджень з стабілізаційної обробки води та корозії металів, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

3. Гомеля Н.Д. Разработка ингибиторов коррозии стали для замкнутых систем, водооборотных систем/ Н.Д. Гомеля, Ю.А. Омельчук, Т.А. Незвиская (**Т.А. Оверченко**)// Збірник наукових праць СНУЯЕ та П.—2006.—Вип.22.—С.119-126. *Особистий внесок здобувача полягає в проведенні оцінки ефективності нових інгібіторів корозії сталі, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

4. Гомеля Н.Д. Влияние основных реагентов на коррозию стали в воде при повышенных температурах/ Н.Д. Гомеля, Ю.А. Омельчук, Т.А. Незвиская (**Т.А. Оверченко**)// Экотехнологии и ресурсосбережение.—2007.—№ 6.—С.57-60. *Особистий внесок здобувача полягає в проведенні оцінки ефективності реагентів на корозію сталі при підвищених температурах, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

5. Гомеля М.Д. Ингибиторы коррозий для закрытых систем вода-сталь/ М.Д. Гомеля, Ю.А. Омельчук, Т.А. Незвиска (**Т.А. Оверченко**)// Вісник НТУУ «КПІ». Серія “Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження”.—2008.—№ 2.—С.64-69. *Особистий внесок здобувача полягає в отриманні нових інгібіторів корозії металів та перевірки їх ефективності, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

6. Гомеля Н.Д. Применение ингибиторов накипеобразования и коррозии металлов для водооборотных систем АЭС/ Н.Д. Гомеля, Т.А. Незвиская (**Т.А. Оверченко**), Ю.А. Омельчук, С.С. Ставская// Экотехнологии и ресурсосбережение.—2009.—№ 5.—С.45-49. *Особистий внесок здобувача полягає у вивченні процесів накипоутворення, корозії металів, визначенні ефективності процесів в залежності від типу та доз реагентів, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

7. Гомеля М.Д. Стабілізатори, інгібітори накипоутворення та корозії конструкційних матеріалів водооборотних систем АЕС/ М.Д. Гомеля, Т.А. Незвиска (**Т.А. Оверченко**), А.Л. Литвин, Д.Ю. Кривенко, М.С. Мальований// Вісник КНУ ім. М. Остроградського.—2010.—№ 6.—С.157-159. *Особистий внесок здобувача*

полягає у проведенні досліджень з стабілізаційної обробки води, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.

8. Гомеля Н.Д. Разработка ингибиторов накипеобразования и коррозии латуни меди для водооборотных систем АЭС/ Н.Д. Гомеля, Т.А. Незвиская (Т.А. Оверченко), Ю.А. Омельчук, С.С. Ставская// Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості.— 2009.—№ 1(29).—С.22-28. *Особистий внесок здобувача полягає у проведенні досліджень з стабілізаційної обробки води та корозії металів, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

9. Гомеля Н.Д. Оценка эффективности методов стабилизационной обработки шахтной воды (шахта им. М. Горького, г. Донецк)/ Н.Д. Гомеля, Т.А. Корда (Т.А. Оверченко), Ю.В. Носачова, М.М. Шуриберко, Т.В. Потильчак// Вода і водоочисні технології.—2016.—№1(18).—С.31-38. *Особистий внесок здобувача полягає у проведенні досліджень з стабілізаційної обробки, участь в узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.*

10. Незвиська Т.А. (Оверченко Т.А.) Стабілізаційна обробка води для замкнених систем/ Т.А. Незвиська (Т.А. Оверченко), І.М. Гомеля, А.В. Овсяник// „Упаковка”: міжнар. наук. техн. конф., 12-16 вересня 2005 р.: Зб. наук. статей. - Алушта, АР Крим, 2005.— № 3.—С.42-51.

11. Незвиська Т.А. (Оверченко Т.А.) Стабілізаційна обробка води/ Т.А. Незвиська (Т.А. Оверченко)// «Екологія. Людина. Суспільство»: ІХ міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 17—19 травня 2006: тези доп. - Київ: НТУУ “КПІ” Бенатов Д.Е., 2006.— С.154.

12. Незвиська Т.А. (Оверченко Т.А.) Оцінка ефективності пасиваторів при зниженні корозійної агресивності води по відношенню до сталі/ Т.А. Незвиська (Т.А. Оверченко), О.І. Павлюченко// «Екологія. Людина. Суспільство»: Х міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 16—21 травня 2007: тези доп. — Київ: НТУУ “КПІ” Бенатов Д.Е., 2007.— С.136.

13. Незвиська Т.А. (Оверченко Т.А.) Влияние основных реагентов на коррозию стали в воде при повышенных температурах/ Т.А. Незвиська (Т.А. Оверченко), Ю.В. Ковбасюк// «Екологія. Людина. Суспільство»: Х міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 16—21 травня 2007: тези доп. - Київ: НТУУ “КПІ” Бенатов Д.Е., 2007.—С.137.

14. Незвиська Т.А. (Оверченко Т.А.) Влияние ингибиторов коррозии на сталь в воде при повышенных температурах/ Т.А. Незвиська (Т.А. Оверченко)// «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку»: ІІІ міжнар. наук. техн. конф., 18 квітня 2008: мат. конф. — Ірпінь, 2008.—С. 56-57.

15. Гомеля Н.Д. Разработка ингибиторов коррозии стали для замкнутых водооборотных систем/ Н.Д. Гомеля, Т.А. Незвиская (Т.А. Оверченко), Ю.А. Омельчук// «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов»: ХVІ міжнар. наук. техн. конф., 12—15 травня 2008: тези доп.— Харків, 2008—С.110-112.

16. Незвиськая Т.А. (**Оверченко Т.А.**) Экологическая безопасность эксплуатации водооборотных систем АЭС за счет применения ингибиторов накипеобразования и коррозии металлов/ Т.А. Незвиськая (**Т.А. Оверченко**), Тан Джуй// «Екологія. Людина. Суспільство»: XII міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 13—17 травня 2009: тези доп. — Київ: НТУУ “КПІ” Бенатов Д.Е., 2009. — С.178.

17. Гомеля М.Д. Стабілізатори, інгібітори накипоутворення й корозії міді для водооборотних систем АЕС/ М.Д. Гомеля, Т.А. Незвиська (**Т.А. Оверченко**)// “Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”: 1 Міжнародний конгрес, 28—29 травня 2009: тези доп. — Львів, 2009. — С.30-31.

18. Незвиськая Т.А. (**Оверченко Т.А.**) Ингибиторы и стабилизаторы коррозии латуни меди для водооборотных систем АЭС/ Т.А. Незвиськая (**Т.А. Оверченко**), В.Ф. Жакун// «Екологія. Людина. Суспільство»: XIII міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 19—23 травня 2010: тези доп. — Київ: НТУУ “КПІ” Бенатов Д.Е., 2010. — С.219-220.

19. Незвиськая Т.А. (**Оверченко Т.А.**) Обеспечение экологической безопасности эксплуатации водооборотных систем АЭС за счет применения ингибиторов накипеобразования и коррозии металлов/ Т.А. Незвиськая (**Т.А. Оверченко**), М.В. Побережный// «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XIV Всеукраїнська міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 21—24 квітня 2014: тези доп. - Київ: НТУУ “КПІ” , 2014. — С.174.

20. Незвиська Т.А. (**Оверченко Т.А.**) Стабілізатори, інгібітори корозії міді для водооборотних систем АЕС/ Т.А. Незвиська (**Т.А. Оверченко**), М.В. Побережный// «Екологія. Людина. Суспільство»: XVII міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 21—25 травня 2014: тези доп. - Київ: НТУУ “КПІ” Бенатов Д.Е., 2014. — С.117.

21. Шуриберко М.М. Оцінка корозійної агресивності води та її стабільності щодо накипоутворення/ М.М. Шуриберко, М.Д. Гомеля, Т.А. Корда (**Т.А. Оверченко**)// «Екологія. Людина. Суспільство»: XIX міжнар. наук. техн. конф. студ., асп. і молодих вчених, 12—13 травня 2016: тези доп.— Київ: НТУУ “КПІ” Бенатов Д.Е., 2016. — С.138.

22. Потильчак Т.В. Дослідження ефективності редокситу на основі аніоніту АВ-17-8 в сульфідній формі/ Т.В. Потильчак, М.Д. Гомеля, Т.А. Корда (**Т.А. Оверченко**)// «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні»: XI міжнар. наук. техн. конф., 10—22 травня 2016: мат. конф. — Миколаїв, 2016. — С.77-79.

23. Шуриберко М.М. Оцінка корозійної агресивності води та стабільності щодо накипоутворення/ М.М. Шуриберко, М.Д. Гомеля, Т.А. Корда (**Т.А. Оверченко**)// «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні»: XI міжнар. наук. техн. конф., 10—22 травня 2016: мат. конф. — Миколаїв, 2016. — С.95-97.

## АНОТАЦІЯ

**Оверченко Т.А. Створення комплексної технології стабілізаційної обробки води для водоциркуляційних систем.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2017.

Робота присвячена розробці нових реагентів, матеріалів та технологічних процесів стабілізаційної обробки води для водоциркуляційних систем тепlopостачання та охолодження.

У роботі вивчено процеси стабілізації прісних вод щодо осадковідкладень в теплообмінниках при температурах до 100 °С. Розроблено новий клас інгібіторів осадковідкладень на основі сульфонатів, що за своєю ефективністю не поступаються фосфоновим кислотам.

Визначено умови стабілізації шахтних та інших вод з високим рівнем мінералізації, лужності та жорсткості для забезпечення умов їх надійного використання в водоциркуляційних системах.

Проведено оцінку антискалантів як інгібіторів корозії металів. Ефективність захисту підвищується при використанні інгібіторів в присутності іонів цинку.

Визначено вплив рівня мінералізації води на її корозійну активність. Зростання солевмісту у воді в більшій мірі прискорює корозію міді та латуні в порівнянні з нелегованою сталлю, що обумовлено руйнуванням захисної плівки з оксидів металів. Швидкість корозії в даних умовах визначається концентрацією кисню у воді.

Вивчено процеси знекиснення води з використанням редокситів, отриманих при модифікуванні іонітів сполуками заліза (II) та сульфід-аніонами.

Показано, що аніоніти, модифіковані сульфід-аніонами, забезпечують високу ефективність знекиснення знесоленої води.

**Ключові слова:** водоциркуляційні системи, осадковідкладення, стабілізація, антискалант, інгібітор корозії, редоксит.

## АННОТАЦИЯ

**Оверченко Т.А. Создание комплексной технологии стабилизационной обработки воды для водоциркуляционных систем.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2017.

Работа посвящена разработке новых реагентов, материалов и технологических процессов стабилизационной обработки воды для водоциркуляционных систем теплоснабжения и охлаждения.

В работе изучены процессы стабилизации пресных вод по осадкоотложению в теплообменниках при температурах до 100 °С. Разработан новый класс антискалантов на основе метилсульфонатов и нитрилдиметилсульфонатов,

которые образуют хелатные комплексы с ионами жесткости аналогичной структуры с фосфоновыми кислотами. По эффективности разработанные ингибиторы не уступают фосфоновым кислотам, но при этом значительно дешевле.

Определены условия стабилизации концентрированных растворов сульфата кальция и шахтных вод с высокой щелочностью и жесткостью. Лучшими ингибиторами в данных случаях являются нитрилтриметиленфосфоновая кислота и гипан (полиакрилат, полученный гидролизом полиакрильных волокон) и композиции метилendisulfоната натрия или ОЭДФК с серной кислотой.

Проведена оценка антискалантов как ингибиторов коррозии металлов. Показано, что фосфонаты, фосфинаты, полифосфаты и метилendisulfонаты являются эффективными ингибиторами коррозии металлов в пресных водах в условиях интенсивной аэрации. Эффективность защиты повышается в присутствии ионов цинка.

Определено влияние уровня минерализации воды на ее коррозионную активность. Рост соленосодержания в воде в большей степени ускоряет коррозию цветных металлов – меди и латуни. В меньшей степени эта тенденция выражена для черных металлов. Это объясняется тем, что в случае стали гидроксидная пленка и без солей слабо защищает металл от коррозии, а отсутствие плотной оксидной пленки на поверхности цветных металлов резко снижает их устойчивость к коррозии. Скорость коррозии в данных условиях определялась концентрацией кислорода в воде.

Наиболее удобным и надежным методом деаэрации воды является ее фильтрование через модифицированные восстановителями иониты – редокситы.

Восстановительная способность редоксита, модифицированного соединениями железа (II), зависит от количества сорбированного железа, формы, объема ионита и характеристик воды.

Установлено, что на эффективность работы редоксита на основе анионита АВ – 17– 8 и продолжительность фильтроцикла влияет анионный состав воды. Однако форма анионита мало влияет на его емкость по сульфит-анионам, которая в основном зависит от концентрации исходного раствора сульфита натрия.

**Ключевые слова:** водоциркуляционные системы, осадкоотложение, стабилизация, антискалант, ингибитор коррозии, редоксит.

## SUMMARY

**Overchenko T.A. Creating of integared technology for stabilizing treatment of water for circulating systems.** - The manuscript.

Thesis pursuing PhD degree in specialty 21.06.01 – environmental safety. – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2017.

The work was dedicated to the development of new reagents, materials and processes for stabilizing treatment of water for circulating systems of heating and cooling.

The paper studied the processes of fresh water stabilization on sediments deposition in heat exchangers at temperatures up to 100 °C. It was developed a new class of sediments deposition inhibitors based on sulfonates, which effectiveness is not worse or even better than phosphonic acids.

The stabilization conditions of mine and other water with high salinity, alkalinity and hardness were determined to ensure the conditions for their reliable use in circulating systems.

The estimation scale inhibitors as metal corrosion inhibitors was performed. Efficiency increases protection when using inhibitors in the presence of zinc ions.

The influence of water salinity on its corrosion activity was defined. Increasing salt content in the water accelerated the corrosion of copper and brass to a greater extent as compared to unalloyed steel, due to the destruction of the protective film of metal oxides. The corrosion rate in these conditions was determined by the concentration of oxygen in the water.

The water deoxygenation process using redoxites obtained by modifying of ion-exchange resins by iron (II) compounds and sulfite anions was studied.

It was shown that anion-exchange resins, modified by sulfite anions, provided high efficiency in deoxygenation of demineralized water.

**Key words:** water circulating systems, sediments deposition, stabilization, scale inhibitor, corrosion inhibitor, redoxite.