

ЗАХОДИ ПРОТИДІЇ РУЙНУВАННЮ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ ПІСЛЯ ПОДАЧІ МЕРЕЖАМИ ВОДИ З ВИСОКИМ СОЛЕВМІСТОМ

Володимир Кобилянський¹, Олександр Кравченко²,
Тамара Шевченко³, Галина Благодарна⁴

¹ Науково-аналітичний центр якості води ТОВ
33/21, пров. Микитинський, Харків, 61001, Україна
канд. техн. наук, vodocentr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6279-2136>

² Київський національний університет будівництва і архітектури,
31, проспект Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна
докт. техн. наук, kravchenko.ov@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6289-0641>

^{3,4} Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
17, вулиця Чорноглазівська, Харків, 61002, Україна

³ канд. техн. наук, tamara.shevchenko@kname.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4513-6759>

⁴ канд. техн. наук, galina.blagodarna@kname.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1187-4737>

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.52.24-38

Анотація. У статті розглянуто актуальну проблему корозійного руйнування сталевих водопровідних мереж, яке виникло внаслідок переходу систем водопостачання з джерела прісної води на джерело з високомінералізованою водою. Такий підхід до зміни джерела водопостачання зумовлений неможливістю забору води з прісного джерела через військову агресію РФ. Це, у свою чергу, призвело до прискореного старіння трубопроводів і збільшення кількості аварій. Вивчення зразків сталевих труб діаметром від 76 до 500 мм, які експлуатувалися понад 40 років, показало, що процес електрохімічної корозії ускладнюється інтенсивним вимиванням корозійних відкладень із внутрішньої поверхні труб. Це спричиняє зменшення товщини металу, втрату механічної міцності та утворення гальванопар типу «відкладення–метал», які, у свою чергу, у воді з підвищеним вмістом хлоридів значно прискорюють корозійні процеси. З метою пошуку ефективних методів протидії руйнуванню мереж проведено експериментальні дослідження з використанням трьох типів реагентів: гашеного вапна, рідкого скла (силікату натрію) та полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ). Для кожного реагенту визначали оптимальні дози, концентрації й умови застосування, досліджували їх вплив на швидкість корозії металу та стабільність відкладень. Результати показали, що хоча зазначені реагенти здатні частково зменшити корозійну активність середовища, вони не гарантують припинення процесів руйнування труб, оскільки не усувають вплив зовнішньої корозії, спричиненої засоленням ґрунту навколо трубопроводів. Крім того, їх застосування може призвести до погіршення санітарно-хімічних показників якості води, що робить неможливим забезпечення вимог до питного водопостачання.

Отримані результати свідчать, що для відновлення надійності систем водопостачання необхідно проводити повну заміну сталевих труб, пошкоджених корозією. Для зниження аварійності доцільно використовувати сучасні антикорозійні матеріали та комбіновані методи захисту, які передбачають не лише інгібування корозії металу, а й стабілізацію існуючих відкладень, щоб запобігти їх вимиванню та повторному оголенню металу. Запропоновані підходи можуть бути використані під час реконструкції водопровідних систем у регіонах із підвищеною мінералізацією природних вод.

Ключові слова: водопровідна мережа, корозія, інгібітори корозії, стабілізаційна обробка, вапно, силікат натрію, полігексаметиленгуанідин гідрохлориду.

ВСТУП

Широкомасштабне вторгнення РФ у лютому 2022 року призвело до значних руйнувань житлового фонду, інфраструктурних об'єктів, комунального господарства всієї України. Згідно [1] загальна вартість реконструкції в Україні на початок 2025 року сягає 524 мільярдів доларів США.

Одними з найбільш пошкоджених регіонів через військову агресію РФ є південні області України. Вторгнення російських військових на Півдні України призвело до неможливості забору води з р. Дніпро для водопостачання одного з населених пунктів. Тому у травні 2022 року місцевим водоканалом було прийнято рішення про тимчасове водопостачання міста солоною водою з лиману.

Використання лиману передбачало забір та пряму подачу неочищеної солоної лиманської води в існуючі водорозподільні мережі міста. За результатами аналізів лабораторії водоканалу було встановлено, що на той момент у високомінералізованій (солоній) воді з лиману вміст хлоридів перевищено понад норму в 12 разів, сухого залишку – в 7 разів, загальної жорсткості – в 3 рази, перманганатної окиснюваності та вмісту сульфатів – в 2 рази. Концентрація хлоридів у воді, що подавалася водопровідною мережею, збільшилася з 40-50 мг/л до 3000 мг/л.

За даними водоканалу таке погіршення якості води почало супроводжуватися різким зростанням кількості ушкоджень на водопровідних мережах. Загалом у 2022 році у порівнянні з 2020-2021 роками через утворення свищів аварійність сталевих трубопроводів зросла в 15,5 раз, кількість переломів на труб із чавуну зросла в 1,7 рази (табл. 1).

На першому етапі роботи авторами було проведено дослідження стану водопровідної мережі, встановлено причини прискорення процесів внутрішньої та зовнішньої корозії, зокрема сталевих трубопроводів різних діаметрів.

В поточній статті розглянуто наступний етап роботи, а саме: аналіз існуючих методів захисту та протидії руйнуванню металевих водопровідних мереж через зміну джерела

водопостачання з прісної (р. Дніпро) на високомінералізовану воду (лиман з солоною водою).

Табл. 1. Зростання аварійності на водопровідній мережі в 2022 році залежно від матеріалу трубопроводів

Table 1. Increase in water network accidents in 2022 depending on pipeline materials

№ з/п	Матеріал труб	2020-2021		2022		Збільшення, раз
		%	шт.	%	шт.	
1	Сталь	45	297	80	4608	15,5
2	Чавун	50	330	10	576	1,7
3	Залізобетон	5	33	10	576	17,5
	Загалом	100	660	100	5760	8,7

До збільшення аварійності водопровідних мереж веде декілька факторів, серед яких слід виокремити корозійні процеси, які обумовлені наступними чинниками [2, 3]:

- через контакт металу трубопроводів з водою відбувається внутрішня корозія, утворюється іржа та корозійні продукти (наприклад, оксиди, гідроксиди, карбонати);
- відбувається руйнування матеріалу, зменшення внутрішнього діаметру труб, утворення відкладень на внутрішніх стінках трубопроводів;
- мікрофлора та біоплівка на внутрішній поверхні труб можуть підсилювати корозію (біокорозія);
- хімічна агресивна дія води (рН, лужність, присутність агресивних іонів Cl^- , SO_4^{2-} , O_2) впливають на швидкість корозії.

Тому, стабілізація води (регулювання параметрів) та введення інгібіторів корозії є ключовими для збереження мережі.

На мережах водопостачання стабілізаційна обробка включає такі етапи [2-4]:

1. Стабілізація води до введення інгібітора: перевірка рН, лужності, вмісту кисню, марганцю/заліза, іонів агресивних. Метою такої обробки є забезпечення умов, за яких інгібітор працюватиме ефективно (наприклад, певна лужність, рН).
2. Дозування реагенту для стабілізації та інгібування процесу корозії (силікат натрію, реагенти на основі кальцію тощо).
3. Моніторинг ефекту захисту від корозії – вимірювання швидкості корозії (наприклад,

проби металу, зважування, електрохімічні методи); перевірка концентрацій металів у воді (Fe, Cu, Pb); оцінка біоплівки/мікрофлори на внутрішніх поверхнях труб – це особливо важливо, оскільки корозійні продукти можуть сприяти росту біоплівок.

4. Оцінка вторинних ефектів. Наприклад, дослідження показують, що силікат натрію має менший вплив на селекцію антибіотикорезистентних бактерій, ніж фосфатні інгібітори [4].

5. Підтримка режиму обробки – регулярне введення, контроль залишкової концентрації реагенту, та взаємодія з дезінфекцією (наприклад, хлор, хлорамін) та іншими компонентами системи.

Слід підкреслити, що ефективність силікату натрію залежить від хімічного складу води (рН, лужність, мінералізація). Наприклад, в роботі [2] автор показав, що в деяких випадках ефективність силікату у зменшенні вивільнення свинцю була мінімальною.

У більшості систем штатно використовують фосфатні інгібітори (орто-/поліфосфати) – силікат натрію може бути альтернативою, але необхідно враховувати специфіку кожної окремої системи [5].

Також важливим фактором щодо корозійного руйнування трубопроводів є біокорозія. Під час запровадження заходів з захисту трубопроводних мереж треба враховувати, що наявність біоплівки та мікроорганізмів можуть впливати на корозію, і обробка має враховувати не лише хімію металу, але й біологічний фактор [6-8].

Окрім того, під час застосування інгібіторів корозії можуть виникнути побічні ефекти. Наприклад, силікату натрію не властиві фосфатні проблеми, тому що фосфат-іон може бути поживним елементом для бактерій, проте у разі завищених доз силікату натрію можливий такий несприятливий ефект, як зростання біоплівки [9-11].

Для мереж питного водопостачання важливі гігієнічні вимоги: реагент не повинен створювати шкідливих сполук, не повинен погіршувати органолептичні властивості, і має бути сумісним із системою дезінфекції.

В практиці антикорозійної та

стабілізаційної обробки води добре відомі наступні методи: насичення води кальцієм, обробка води силікатом натрію Na_2SiO_3 , обробка води полігексаметиленгуанідин гідрохлоридом [12-14].

Ці методи детально досліджені [15, 16], а реагенти, що застосовуються, дозволені в питному водопостачанні та на їх діючі складові в Україні встановлені гігієнічні нормативи.

До таких методів належить також і обробка води фосфатними препаратами, але цей метод в цій роботі не досліджувався, оскільки вже були відомі результати українських вчених [17, 18], за якими у воді при добавленні ортополіфосфатного препарату «SeaQuest Liquid» спостерігалось зростання індексу Ланжельє, що свідчить про зростання корозійної агресивності води, а також відбувалось зростання концентрації заліза у питній воді. Але основне, через що метод був виключений – в роботі вказувалося, що препарати на основі поліфосфатів здатні видаляти з поверхні труб вже сформовані на них відкладення.

Досліджувалася обробка води солями полігексаметиленгуанідину, оскільки цей метод має антикорозійні властивості саме з водами з високими концентраціями солей і може бути рекомендованим для застосування у якості реагенту як ефективний засіб для попередження біокорозії [14, 19, 20]. Але не було досліджено як вказаний реагент впливає на стан відкладень в трубах.

Отже наша робота була спрямована на визначення найбільш ефективного заходу протидії руйнуванню водопровідних мереж внаслідок прискорення процесів корозії в металевих трубопроводах через використання у якості джерела водопостачання води з високою мінералізацією.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою роботи було обрати найбільш ефективний метод протидії руйнуванню водопровідних мереж внаслідок зміни джерела водопостачання з прісною водою на джерело з високомінералізованою водою.

Основні завдання дослідження.

1. Проведення фізико-хімічних дослід-

жень для визначення ефективності розглянутих можливих варіантів заходів протидії руйнуванню мереж під дією води з підвищеним солемістом.

2. Визначення можливого негативного впливу дніпровської води на труби, пошкоджені водою з підвищеним солемістом.

3. Встановлення доз реагентів, технологічних параметрів тощо, необхідних для зменшення руйнування мереж і можливого негативного впливу дніпровської води на труби, пошкоджені водою з підвищеним солемістом.

Під час проведення досліджень було розглянуто три варіанти реагентів для захисту водопровідної мережі зі сталевих труб діаметром 76-500 мм від корозії:

1. Насичення води кальцієм.

Для насичення води кальцієм використовували вапно гідратоване (марка WAP100 за EN 459-1 CL 90-S), з якого готували вапняне молоко розчиненням у дистильованій воді та природній воді з високим вмістом кальцію.

Для дослідження готували 1%-ну суспензію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в дистильованій воді, яка містить 5,4 г/л кальцію Ca або 7,57 г/л оксиду кальцію CaO.

Через низьку розчинність гідроксиду кальцію у воді (менше 0,2% по масі або менше 2 г/л при $t = 20^\circ\text{C}$) і випадінні при його контакті з CO_2 повітря в осад карбонату кальцію, вапняне молоко готували безпосередньо перед застосуванням, його активно перемішували і перевіряли концентрацію кальцію.

Модельні розчини готували шляхом змішування вапняного молока на дистильованій воді та води лиману в різних пропорціях для отримання різних співвідношень кальцію і хлоридів. Для кожного модельного розчину контрольним розчином була вода лиману без добавки вапняного молока.

Об'єм води лиману для досліджень в модельних розчинах встановили 250 мл. До цього об'єму води добавляли пластину, вирізану з труби, масою до 100 г. Точну масу кожної пластини вимірювали перед її поміщенням в модельний розчин.

Аналогічно готували модельні розчини з прісною водою, контрольним розчином

була прісна вода без добавки вапняного молока.

Другим варіантом було приготування вапняного молока на природній воді із артезіанської свердловини з високим вмістом кальцію.

Процедура приготування вапняного молока на природній воді з високим вмістом кальцію була аналогічна вище вказаній для дистильованої води.

2. Обробка води силікатом натрію Na_2SiO_3 .

Для обробки води силікатом натрію використовували рідке скло натрієве.

Приготування модельних розчинів силікату натрію проводили з урахуванням гігієнічного нормативу на кремній у питній водопровідній воді – 10 мг/дм³. Така концентрація кремнію відповідає концентрації оксиду кремнію SiO_2 28 мг/дм³ та концентрації силікату натрію Na_2SiO_3 – 44 мг/дм³.

Об'єм води лиману для досліджень в модельних розчинах встановили 250 мл. До цього об'єму води добавляли пластину, вирізану з труби, масою до 100 г. Точну масу кожної пластини вимірювали перед її поміщенням в модельний розчин.

Готували 3 модельні розчини з такими концентраціями кремнію – 10 мг/дм³, 20 мг/дм³, 40 мг/дм³. Для їх отримання добавляли в модельний розчин у перерахунку на 1 л, відповідно, 0,07 мл, 0,14 мл, 0,28 мл рідкого скла. Четверта (контрольна) проба – вода лиману без добавок рідкого скла.

Аналогічно готували модельні розчини з прісною водою, з контрольною прісною водою без рідкого скла.

3. Обробка води полігексаметиленгуанідин гідрохлоридом.

Для обробки води полігексаметиленгуанідин гідрохлоридом (ПГМГ) використовували дезінфекційний засіб «Реагент комплексної дії «Акватон-10» (діюча речовина 30%-й полігексаметиленгуанідин гідрохлорид) за ТУ У 24.1-25274537-005:2003.

Приготування робочих розчинів ПГМГ проводили з урахуванням інструкції [21].

За токсикометричними параметрами препарат «Акватон-10» відноситься до сполук 4-го класу небезпечності. Встановлено, що

препарат з концентрацією ПГМГ в діапазоні 1-10 мг/л виявляє гостру токсичність і є генотоксичним для хребетних тварин [22]. Тому підготовка робочих розчинів для досліджень проводилася таким чином, щоб концентрація полігексаметиленгуанідин гідрохлориду у водопровідній воді не перевищувала 1 мг/л.

Для проведення досліджень з препаратом застосовували робочий розчин концентрацією ПГМГ 120 мг/л.

Об'єм води лиману для досліджень в модельних розчинах встановили 250 мл. До цього об'єму води добавляли пластину, вирізану з труби, масою до 100 г. Точну масу кожної пластини вимірювали перед її поміщенням в модельний розчин.

Після цього до 3-х склянок з водою з пластиною добавляли робочий розчин ПГМГ відповідно в кількості 1 мл, 2 мл та 4 мл, таким чином отримували 3 концентрації ПГМГ в воді лиману – 0,47 мг/л, 0,95 мг/л та 1,9 мг/л. Четверта (контрольна) проба – вода лиману без добавок ПГМГ.

Аналогічно готували модельні розчини з прісною водою, з контрольною прісною водою без ПГМГ.

Для всіх вказаних варіантів захисту труб від руйнування дослідження проводилися за однією схемою. Готувалися 4 проби солоної води і 4 проби прісної води, попередньо визначали фізико-хімічний склад солоної та прісної води за визначеними програмою робіт показниками (забарвленість, каламутність, хлор вільний залишковий, хлор вільний зв'язаний, величина рН, редокс-потенціал, сухий залишок, електропровідність, загальна жорсткість, загальна лужність, кальцій, магній, хлориди, сульфати, загальне залізо, алюміній, кремній, поліфосфати, перманганатна окиснюваність та індекс корозії).

В 3 проби солоної та в 3 проби прісної води добавляли реагент в 3-х різних концентраціях, в четверті проби солоної та прісної води реагент не добавляли. Потім в усі 8 проб вносили зразок труби, вирізаний з пошкодженої труби, попередньо фіксували масу зразка, товщину металу та відкладень. Через 1 годину, 24 години та 72 години

вимірювали в 8 пробах рН, електропровідність, редокс-потенціал води, занурюючи відповідні електрохімічні електроди безпосередньо в стакани з пробною водою.

Через 72 години витримування зразків труб у вказаних 8-ми пробах води припиняли, діставали їх з води, обережно, щоб не пошкодити відкладень, змивали з них осад у пробу води, в якій вони витримувалися. Після цього аналізували фізико-хімічний склад всіх 8 проб води і фіксували через 24 години (після висихання зразка при кімнатній температурі) масу зразка труби, товщину металу та відкладень. За отриманими результатами оцінювали вплив металу з відкладеннями на якість води та яким чином реагент, який добавляли в пробу води, захищав метал та відкладення від процесів корозії (розчинення).

Об'єктом дослідження є трубопровідні мережі водопостачання та процеси їх корозійного руйнування під впливом води з підвищеним солевмістом.

Предметом дослідження є вивчення впливу різних методів обробки води (кальцій, силікат натрію, полігексаметиленгуанідин гідрохлорид) на корозійний стан металевих труб і ефективність запобігання їх руйнуванню.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Під час вивчення та дослідження обраних методів для дослідів використовували воду, що надходила на водоочисні споруди водоканалу з лиману, фізико-хімічні показники якої вказані в таблиці 2.

В якості зразка прісної води – аналога води р. Дніпро, яку на час проведення досліджень не було можливості відібрати через воєнні дії в районі водозабору міста, використовували водопровідну воду м. Івано-Франківська. Фізико-хімічні показники водопровідної води м. Івано-Франківська і води р. Дніпро на водозаборі міста для порівняння вказані в таблиці 3. Видно, що аніонно-катіонний склад цих вод досить схожий, тому допускаємо, що отримані результати на вказаному зразку прісної води можливо співвідносити до дніпровської води.

Табл. 2. Фізико-хімічні показники якості води з лиману**Table 2.** Physicochemical indicators of water quality from the estuary

№	Показник	Од. вим.	Величина показника
1	Забарвленість	град.	10
2	Каламутність	НОК	0,84
3	Осад	описово	відсутній
4	Сухий залишок	мг/дм ³	10243
5	Електропровідність	мкСм/см	15289
6	Редокс-потенціал	мВ	346
7	pH	од. pH	7,90
8	Жорсткість загальна	ммоль/дм ³	31,5
9	Лужність загальна	ммоль/дм ³	3,7
10	Кальцій	мг/дм ³	116
11	Магній	мг/дм ³	309
12	Хлориди	мг/дм ³	4449
13	Сульфати	мг/дм ³	735
14	Гідрокарбонати	мг/дм ³	224
15	Поліфосфати	мг/дм ³	0,26
16	Хлор залишковий вільний	мг/дм ³	0,18
17	Хлор залишковий зв'язаний	мг/дм ³	0,76
18	Перманганатна окиснюваність	мг/дм ³	5,87
19	Залізо загальне	мг/дм ³	0,09

Табл. 3. Фізико-хімічні показники якості прісної водопровідної води**Table 3.** Physicochemical indicators of fresh tap water content

№ з/п	Показник	Од. вим.	Нормативи для водопровідної води	Визначено у воді м. Івано-Франківська, грудень 2022 р.	Визначено у воді р. Дніпро, грудень 2022 р.
1	Забарвленість	град.	20	5	24
2	Каламутність	НОК	1,0	0,22	0,25
3	Сухий залишок	мг/дм ³	1000	222	269
4	pH	од. pH	6,5-8,5	7,7	7,8
5	Жорсткість загальна	ммоль/дм ³	7,0	2,3	3,0
6	Лужність загальна	ммоль/дм ³	6,5	1,7	2,7
7	Хлориди	мг/дм ³	250	31	30
8	Сульфати	мг/дм ³	250	22	69
9	Амоній	мг/дм ³	0,5	0,06	0,2
10	Нітрати	мг/дм ³	50	0,6	0,92
11	Нітроти	мг/дм ³	0,5	0,003	0,03
12	Залізо загальне	мг/дм ³	0,2	0,07	0,5

Дослідження з пошуку можливих технологій і відповідних реагентів для зниження процесів руйнації труб проводилися із використанням пластин, виготовлених зі зразків труб різного діаметру, відібраних на об'єктах системи водопостачання міста в місцях, де зафіксовано збільшення руйнації мереж. Оскільки досліджувалися процеси

змиву відкладень, через що оголювався і під тиском води руйнувався послаблений шар металу, пластини вирізали так, щоб не пошкодити відкладення і зберегти міцність їх закріплення на металі труб.

Фіксувалися характер і стан відкладень, товщина металу і відкладень на зрізах, вага пластини. Після цього пластини

встановлювали в посуд з пробєю води чи модельного розчину з відповідним реагентом, який досліджувався. Об'єм води чи розчину вибирався залежно від розміру пластини таким чином, щоб весь час витримування пластини у рідині вона залишалася повністю зануреною у ній.

Показники, за якими оцінювали стан відкладень: кальцій, магній і залізо у змитих в розчин відкладеннях, товщина відкладень, товщина металу труби, колір, щільність та рельєфність відкладень.

Вапнування води на станціях обробки води для господарсько-питних цілей використовують як для поліпшення процесу утворення пластівців в процесі коагуляції, так і для стабілізаційної обробки води. В нашому випадку можливо очікувати перевагу технології вапнування перед іншими для захисту труб від руйнації під дією високомінералізованої води через те, що гідроксид кальцію утворює захисне покриття як для металу труб, так і, вірогідно, для відкладень.

Дози $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для обробки солоної води лиману складали 30, 60 та 120 мг/л. Дози мали бути значно нижчими за дозу, яка розраховується для вапнування води, виходячи з таких показників якості води, як концентрація CO_2 – $C_{\text{вг}}$, лужність загальна – L_3 та концентрація магнію C_{Mg} та добавка 0,05-0,3 мг-екв/л надлишкового вапна (1,85-11,1 мг/л $\text{Ca}(\text{OH})_2$) – $D_{\text{вн}}$:

$$D_{\text{в}} = C_{\text{вг}} + L_3 + C_{\text{Mg}} + D_{\text{вн}}. \quad (1)$$

Розрахунок дози вапна за ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» виконати було неможливо, оскільки він передбачений тільки для від'ємних значень індексу Ланжелє, а в нашому випадку він був позитивним.

Другим варіантом було приготування вапняного молока на природній воді із артезіанської свердловини з високим вмістом кальцію.

Використання природної води з високим вмістом кальцію проводилось через припущення, що таким чином можливо підняти концентрацію кальцію у воді, використовуючи технологію стабілізаційної обробки води вапнуванням, яка має значну практику застосування у водоканалах України. Використання для підвищення у воді концентрації кальцію його солей не розглядалось, оскільки з добре розчинних солей кальцію широкодоступним є хлорид кальцію, а це призводило би ще до більшого забруднення водопровідної води хлоридами.

Фізико-хімічні показники якості природної води з високим вмістом кальцію наведені в таблиці 4.

В таблицях 5-8 наведено результати досліджень щодо характеристик відкладень на трубопроводах водопровідної мережі у разі обробки води вапном (на дистильованій та природній воді), силікатом натрію Na_2SiO_3 та полігексаметиленгуанідин гідрохлоридом (ПГМГ/PHMG).

Табл. 4. Фізико-хімічні показники якості природної води з високим вмістом кальцію
Table 4. Physicochemical indicators of the acidity of natural water with high calcium instead

№	Показник	Од. вим.	Величина показника	№	Показник	Од. вим.	Величина показника
1	Забарвленість	град.	10	10	Кальцій	мг/дм ³	403
2	Каламутність	НОК	3,4	11	Магній	мг/дм ³	99
3	Осад	описово	відсутній	12	Хлориди	мг/дм ³	37
4	Сухий залишок	мг/дм ³	1257	13	Сульфати	мг/дм ³	682
5	Електропровідність	мкСм/см	1877	14	Гідрокарбонати	мг/дм ³	573
6	Редокс-потенціал	мВ	249	15	Поліфосфати	мг/дм ³	1,8
7	pH	од.pH	7,0	16	Залізо загальне	мг/дм ³	0,1
8	Жорсткість загальна	ммоль/дм ³	28,3	17	Перманганатна окиснюваність	мг/дм ³	4,7
9	Лужність загальна	ммоль/дм ³	9,4				

Табл. 5. Характеристики відкладень до і після дії вапняного молока на дистильованій воді
Table 5. Characteristics of deposits before and after the action of lime milk on distilled water

№ зп	Показник	Одиниця вимірювань	Ca(OH) ₂ 30 мг/л	Ca(OH) ₂ 60 мг/л	Ca(OH) ₂ 120 мг/л	Контрольна проба
1	Кальцій	мг/дм ³	132	184	241	154
2	Магній	мг/дм ³	211	219	226	239
3	Залізо	мг/дм ³	23	29	27	55
4	Товщина металу труби	мм	1,8	1,8	1,8	1,8
5	Товщина відкладень	мм	2,1	2,1	2,1	2,1
6	Колір відкладень	описово	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий
7	Щільність відкладень	описово	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість
8	Рельєфність відкладень	описово	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова

Табл. 6. Характеристики відкладень до і після дії вапняного молока на природній воді
Table 6. Characteristics of sediments before and after the action of lime milk on natural water

№ зп	Показник	Одиниця вимірювань	Ca(OH) ₂ 30 мг/л	Ca(OH) ₂ 60 мг/л	Ca(OH) ₂ 120 мг/л	Контрольна проба
1	Кальцій	мг/дм ³	141	194	246	155
2	Магній	мг/дм ³	205	202	203	237
3	Залізо	мг/дм ³	28	29	32	46
4	Товщина металу труби	мм	1,8	1,8	1,8	1,8
5	Товщина відкладень	мм	2,2	2,2	2,2	2,0
6	Колір відкладень	описово	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий
7	Щільність відкладень	описово	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість
8	Рельєфність відкладень	описово	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова

Табл. 7. Характеристики відкладень до і після дії натрію силікату
Table 7. Characteristics of sediments before and after exposure to sodium silicate

№ зп	Показник	Одиниця вимірювань	Кремній 10 мг/л	Кремній 20 мг/л	Кремній 40 мг/л	Контрольна проба
1	Кальцій	мг/дм ³	130	124	122	151
2	Магній	мг/дм ³	205	194	192	248
3	Залізо	мг/дм ³	27	24	23	48
4	Товщина металу труби	мм	1,8	1,8	1,8	1,8
5	Товщина відкладень	мм	2,4	2,4	2,5	2,2
6	Колір відкладень	описово	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий
7	Щільність відкладень	описово	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість
8	Рельєфність відкладень	описово	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова

Табл. 8. Характеристики відкладень до і після дії ПГМГ**Table 8.** Sediment characteristics before and after the action of the PHMG

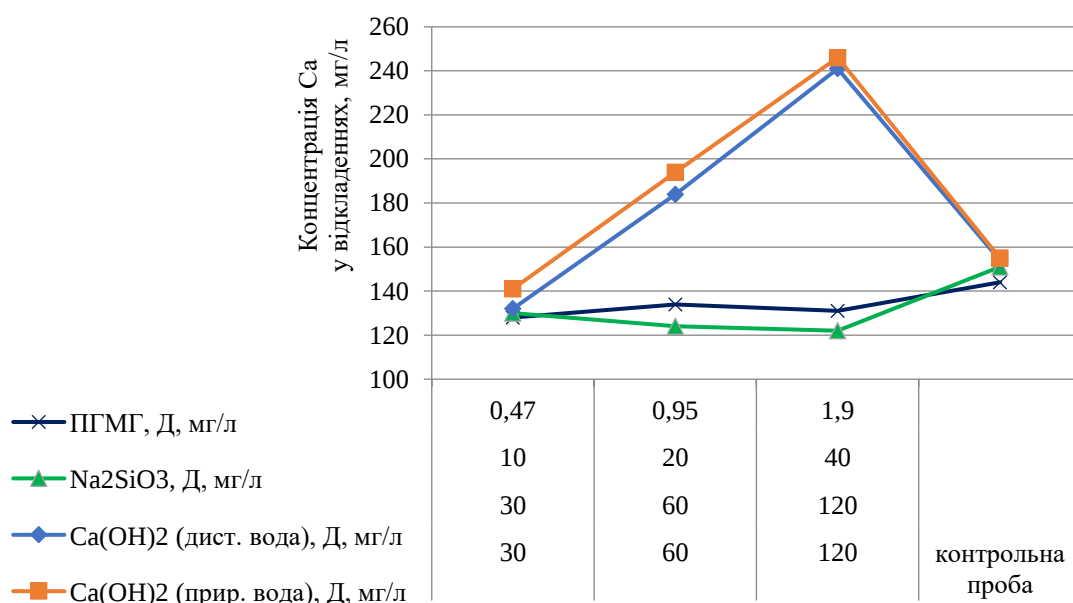
№ зп	Показник	Одиниця вимірювань	ПГМГ 0,47 мг/л	ПГМГ 0,95 мг/л	ПГМГ 1,9 мг/л	Контрольна проба
1	Кальцій	мг/дм ³	128	134	131	144
2	Магній	мг/дм ³	208	211	217	236
3	Залізо	мг/дм ³	29	27	28	44
4	Товщина металу труби	мм	1,9	1,9	1,9	1,9
5	Товщина відкладень	мм	2,2	2,2	2,2	2,2
6	Колір відкладень	описово	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий	жовтуватий, світло-коричневий
7	Щільність відкладень	описово	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість	висока крихкість
8	Рельєфність відкладень	описово	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова	пластинчато-бульбашкова

На рисунках 1-3 наведено графіки щодо зміни вмісту кальцію, магнію та заліза у відкладеннях на сталевих трубах, які були оброблені різними типами реагентів – інгібіторів корозії: вапняним молоком (на дистильованій та природній воді), силікатом натрію та ПГМГ з різними дозами.

За нашими візуальними спостереженнями за зразками трубопроводів та згідно даних рисунків 1-3 видно, що відкладення

на трубах мають високу крихкість, вони розмиваються та оголюють метал трубопроводів.

В нашій роботі різке підвищення концентрації солей у водопровідній воді призвело до зростання іонної провідності у воді, а також до появи електронної провідності у металі внаслідок змиву відкладень.

**Рис. 1.** Вміст кальцію у відкладеннях на сталевій трубі після обробки різними типами реагентів з різним дозуванням**Fig. 1.** Calcium content in deposits on a steel pipe after treatment with various types and dosages of reagents

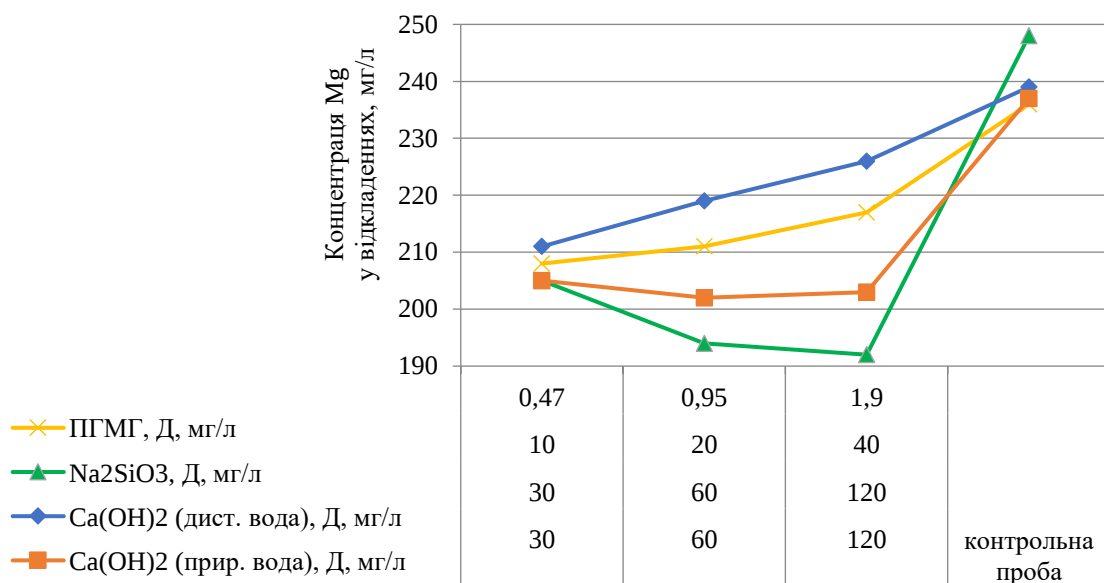


Рис. 2. Вміст магнію у відкладеннях на сталевій трубі після обробки різними типами реагентів з різним дозуванням

Fig. 2. Magnesium content in deposits on a steel pipe after treatment with various types and dosages of reagents

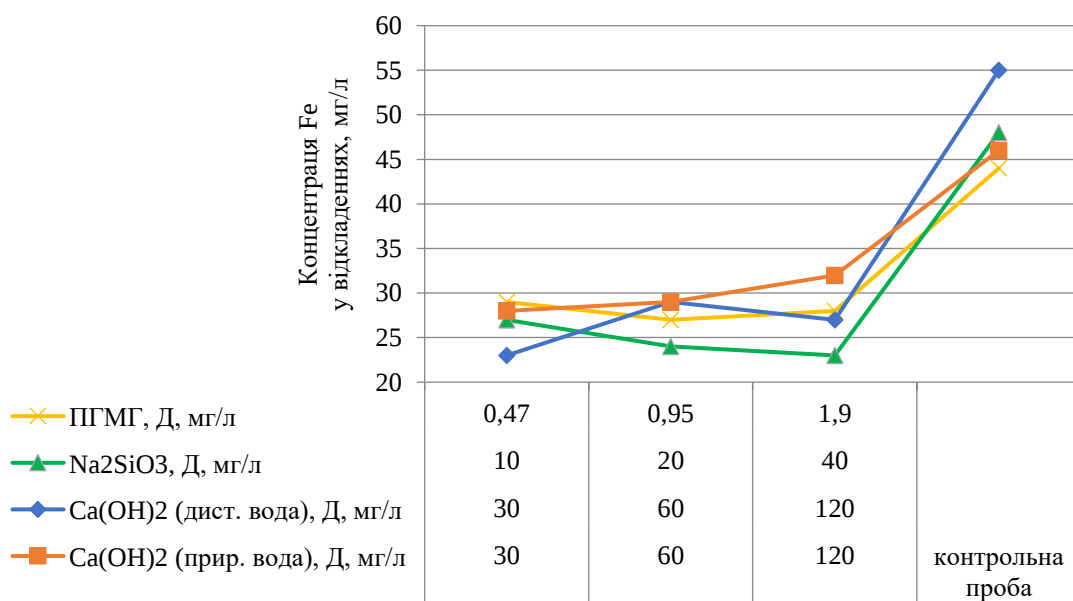


Рис 3. Вміст заліза у відкладеннях на сталевій трубі після обробки різними типами реагентів з різним дозуванням

Fig. 3. Iron content in deposits on a steel pipe after treatment with various types and dosages of reagents

Розмивання відкладень, які в нашому випадку в основному складаються з карбонату кальцію та гідроксиду магнію в комплексах з окислами заліза, зумовлено тим, що при дуже високих концентраціях хлоридів у воді (більше 3000 мг/л) почали відбуватися процеси утворення хлоридів кальцію та магнію з відкладень, розчинність яких у воді є значною.

Такі процеси добре відомі з досліджень корозії бетонів в морській воді, в яких, зокрема, відмічається підвищення розчинності гідроксиду кальцію та магнію у присутності хлориду натрію.

Необхідно відмітити також, що концентрації розчинених катіонів у морських водах знижуються у такому порядку: Na^+ , Mg^{2+} ,

Ca^{2+} , K^{+} , розчинених аніонів: Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} . У прісних водах пріоритетність іонів істотно змінюється – катіони: Ca^{2+} , Na^{+} , Mg^{2+} та аніони: HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} .

Це видно і в наших дослідженнях – співвідношення Ca/Mg змінюється з 2,2-3,2 для прісної води р. Дніпро (табл. 3) на 0,32-0,44 для солоної води лиману (табл. 2). Різке підвищення концентрації магнію у солоній воді у порівнянні з концентрацією кальцію може також спричиняти так звану магнезіальну корозію, при якій хлорид магнію розчиняє гідроксид кальцію з утворенням розчинного у воді хлориду кальцію.

Розчинність карбонату кальцію у чистій воді може бути розрахована на основі термодинамічних даних. Однак виявлено, що в морській воді, в якій у великих кількостях присутні інші іони, розчинність карбонату кальцію в багато разів вище [23].

В результаті кальцієві відкладення, утворені з прісної води, починають розчинятися у солоній воді, втрачати механічну стійкість, пропускати солону воду до металу, що призводить до відокремлення (відшарування) відкладень від металу на значних площах, що було добре видно при візуальному огляді пошкоджених труб. Особливо чітко це проявляється безпосередньо біля свищів, де відкладення, як правило, повністю змиті.

Оскільки товщина металу труб за десятки років експлуатації зменшилася до критичних значень (менше 1 мм), то під тиском води у трубопроводах прискорилося механічне руйнування поверхні труб з утворенням свищів та переломів.

Для захисту трубопроводів зі значним терміном експлуатації (більше 30 років), в яких утворені внутрішні відкладення відіграють суттєву роль у забезпеченні механічної стійкості трубопроводів, вірогідно ефективними можуть бути методи обробки води, які сприяють захисту наявних відкладень, відновлюють порушену солоною водою міцність їх з'єднання з металом та додатково утворюють осади на поверхні оголеного металу.

За результатами наших досліджень для таких цілей можливо застосувати методи

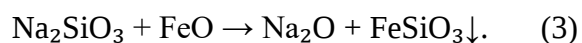
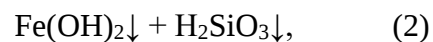
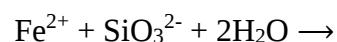
вапнування води та/або обробки її рідким склом.

Солі кальцію є найпоширенішими прикладами інгібіторів катодної плівки, а силікат натрію застосовується у багатьох процесах для запобігання виникнення іржі за рахунок утворення захисної плівки (осаду) на поверхні металу.

Але при цьому якість водопровідної води залишатиметься незадовільною, перш за все, за органолептичними показниками та вмістом солей жорсткості, кремнію, натрію, заліза.

Управління технологічним процесом стабілізаційної обробки води потребує точних розрахунків, в основі яких показники якості води, що впливають на карбонатно-гідрокарбонатну рівновагу у воді. Це такі як температура, рН, мінералізація, вільна вуглекислота, загальна жорсткість, загальна лужність, хлоридно-сульфатне співвідношення. У воді лиману ці показники дуже мінливі, що практично унеможлиблює сталість технологічного процесу та дотримання нормативних показників якості питної води.

Також створюються умови утворення та накопичення у водомережі великої кількості нерозчинних осадів, необхідність регулярного видалення яких значно ускладнить операційні процедури на водопровідній мережі. Утворення осадів, наприклад, для рідкого скла можливе як при взаємодії з розчинними солями заліза, так і з залізистими відкладеннями, за такими реакціями:



Феросилікат FeSiO_3 , що утворюється на поверхні металу, зміцнює вже наявний там магнетит Fe_3O_4 і захищає метал від дії корозійних агентів CO_2 і O_2 [2]. На жаль, захисна ефективність силікатів найкраще проявляється при відсутності кисню у воді, що неможливо забезпечити для водопровідної води.

Дослідження полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ) в якості можливого органічного реагенту для захисту

відкладень від вимивання не виявили такої захисної дії в заданих концентраціях активної речовини, які не повинні перевищувати гігієнічний норматив ПГМГ для питної води. Відомі властивості ПГМГ як інгібітора біокорозії металу не пов'язані з процесами відмивання відкладень.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Вивчення стану наданих для дослідження вирізаних з водопровідної мережі зразків аварійних сталевих труб діаметрів від 76 мм до 500 мм включно і віком більше 40 років показало, що до процесів електрохімічної корозії руйнування труб додається процес інтенсивного вимивання корозійних відкладень із внутрішньої поверхні труб, що призводить до втрати міцності труб, а також до утворення гальванопар «відкладення – метал», що у воді з високим вмістом хлоридів прискорює електрохімічну корозію металу труб.

Використання реагентів (гашеного вапна, рідкого скла та ПГМГ) не є гарантією, що процеси руйнації труб припиняться, зокрема, через те, що триватиме зовнішня корозія через забруднення солями прилеглої до труб ґрунту. Зважаючи на це, а також враховуючи, що під дією реагентів якість водопровідної води не відповідатиме гігієнічним нормам для питної води, тобто якісне та безпечне питне водопостачання відновити буде проблематично, необхідно здійснювати повну заміну зруйнованих труб.

Сталеві труби, в яких до травня 2022 року сформувалися внутрішні відкладення, будуть руйнуватись і далі через повне або часткове змивання відкладень з оголенням пошкодженого корозією шару металу критично малої товщини та з утворенням гальванопар «відкладення-метал». Для зниження аварійності потрібна повна заміна таких труб.

Для захисту від руйнувань старих трубопроводів з відкладеннями крім інгібування корозії металу необхідні методи захисту раніше утворених відкладень від їх вимивання, щоб уникнути оголення пошкодженого корозією металу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ukraine - Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4) : February 2022 - December 2024 (English). URL: <https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english>
2. Bofu Li. Understanding Of Silicate-based Corrosion Inhibitor For Controlling Lead Release And Water Quality In Drinking Water Distribution Systems. 2020. URL: <http://hdl.handle.net/10222/80064>.
3. Joubert J. H. B., Geldenhuys J. C., Celliers J. J. The Use of Chloramination and Sodium Silicate to Inhibit Corrosion in Mild Steel Pipes. 2008. URL: https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/779-1-00.pdf?utm_source
4. Kimbell L. K., LaMartina E. L., Kohls S., Wang Y., Newton R. J., McNamara P. J. Impact of corrosion inhibitors on antibiotic resistance, metal resistance, and microbial communities in drinking water // mSphere, 2023. 8(5) <https://doi.org/10.1128/msphere.00307-23>
5. Гомеля М. Д., Степова О. В., Камасв В. С. Розробка інгібіторів корозії металів у водних середовищах із різним рівнем мінералізації // Технічні науки та технології, 2020, 3(17), 275–283. URL: <http://tst.stu.cn.ua/article/view/199480>.
6. Lv X., Wang C., Liu J., Sand W., Nabuk Etim I.-I., Zhang Y., Xu A., Duan J., Zhang R. The Microbiologically Influenced Corrosion and Protection of Pipelines: A Detailed Review // Materials, 2024, 17(20). 4996. <https://doi.org/10.3390/ma17204996>.
7. Song X., Zhang G., Zhou Y., Li W. Behaviors and mechanisms of microbially-induced corrosion in metal-based water supply pipelines: A review // Science of The Total Environment, 2023, 895, 165034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165034>.
8. Вембер В. В., Носачова Ю. В., Левчук Т. А., Космина М. М. Протікання процесів корозії в демінералізованому водному середовищі в присутності клітин бактерій // Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”, 2020, 4, 49–57. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2020.219784>.
9. Li B., Trueman B. F., Munoz S., Locsin J. M., Gagnon G. A. Impact of sodium silicate on lead release and colloid size distributions in drinking water // Water Res. 2021. 190, 116709. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116709>
10. Li B., Trueman B.F., Rahman M.S., Gagnon G.A. Controlling lead release due to uniform and

galvanic corrosion - An evaluation of silicate-based inhibitors // *J Hazard Mater.* 2021. 407, 124707. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124707>

11. Слободян З., Маглатюк Л., Хабурський Я., Купович Р. Вплив високомодульних силікатів на корозійно-електрохімічні властивості сталі у водогінній воді // *Вісник ТНТУ.* 2014. 3(75), 121-127. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5378>.

12. Shwetha K. M., Praveen B. M., Devendra B. K. A review on corrosion inhibitors: Types, mechanisms, electrochemical analysis, corrosion rate and efficiency of corrosion inhibitors on mild steel in an acidic environment // *Results in Surfaces and Interfaces.* 16, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rsufi.2024.100258>.

13. Peng Z., Zhang T.-Y., Ai J., Pan R.-J., Zhang D.-X., Xu B. Effects of a composite phosphate corrosion inhibitor on corrosion behavior and water quality stability in drinking water distribution systems // *Water Cycle.* 2025. 6, 506-515. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2025.05.004>.

14. Kamenieva T., Tarasyuk O., Derevianko K., Aksenovska O., Shybyryn O., Metelytsia L., Rogalsky S. Antioxidant activity of polymeric biocide polyhexamethylene guanidine hydrochloride // *Catalysis and Petrochemistry,* 2020. (30), 73-82. <https://doi.org/10.15407/kataliz2020.30.073>.

15. Munoz S., Trueman B. F., Li B. Gagnon G. A. Effect of sodium silicate on drinking water biofilm development // *Environ. Sci.: Water Res. Technol.,* 2022, 8(6), 1300-1311. <https://doi.org/10.1039/d1ew00682g>

16. Mainier F. B., Figueiredo A. A. M., Junior A. A. M. De A., Almeida B. B. de. Proposal of the use sodium silicate as a corrosion inhibitor in hydrostatic testing of petroleum tanks using seawater // *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS).* 2018. 5(6), 33-38. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.6.6>

17. Ромащенко М. І., Коваленко О. В., Мацелюк Є. М., Чарний Д. В., Прокопов В. О. Дослідження ортополіфосфатного препарату “Sea Quest Liquid” для антикорозійної та стабілізаційної обробки води // *Меліорація і водне господарство,* 2021, 1, 5-14. <https://doi.org/10.31073/mivg202101-273>

18. Мацелюк Є. М., Чарний Д. В., Коваленко О. В., Онанко Ю. А., Марисик С. В. Вплив хемолітотрофної мікробіоти на ефективність антикорозійної обробки сталевих трубопроводів ортополіфосфатними реагентами на прикладі застосування “Sea Quest Liquid” // *Геохімія*

техногенезу. 2021, 33, 77-85. <https://doi.org/10.15407/geotech2021.33.077>

19. Zhang T., Wan H., Xu Z., Zhang Y., Dai J., Liu H. Polyhexamethylene guanidine molybdate as an efficient antibacterial filler in epoxy coating for inhibiting sulfate reducing bacteria biofilm // *Progress in Organic Coatings.* 2023. 176, 107401. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107401>.

20. Boretska M. Marine biocorrosion and novel antimicrobial polymeric composites, 2017. URL: <https://dechema.de/gfkor media/Boretska Works hop 2017-p-3245.pdf>.

21. І 9.9.4.9.4.5.-060-2000 «Санітарно-гігієнічні вимоги і умови застосування розчинів препарату «Акватон-10» для знезараження технологічного обладнання в локальних системах водообробки», затвердженої постановою першого заступника Головного державного санітарного лікаря України №114 від 30.06.2000 р. URL: <https://surl.li/hzulll>.

22. Передера С. Б., Передера Ж. О., Щербакова Н. С., Держговська Є. О. Вплив дезінфекційного розчину на основі полігексаметиленгуанідін гідрохлориду на санітарно-показникові мікроорганізми та білих мишей // *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2017, 3, 91-93. URL: <https://journals.pdau.edu.ua/visnyk/article/download/255/298?utm>.

23. Yang M., Tan L., Batchelor-McAuley C., Compton R.G. The solubility product controls the rate of calcite dissolution in pure water and seawater // *Chem. Sci.* 2024. 15, 2464-2472. <https://doi.org/10.1039/d3sc04063a>

REFERENCES

1. United Nations Development Programme (2025). Ukraine - Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4) : February 2022 - December 2024 (English). Retrieved from <https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english>
2. Bofu, Li. (2020). *Understanding Of Silicate-based Corrosion Inhibitor For Controlling Lead Release And Water Quality In Drinking Water Distribution Systems.* Retrieved from <http://hdl.handle.net/10222/80064>.
3. Joubert, J. H. B., Geldenhuys, J. C., & Celliers, J. J. (2008). The Use of Chloramination and Sodium Silicate to Inhibit Corrosion in Mild Steel Pipes. Retrieved from https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/779-1-00.pdf?utm_source=chatgpt.com.

4. Kimbell, L. K., LaMartina, E. L., Kohls, S., Wang, Y., Newton, R. J., & McNamara, P. J. (2023). Impact of corrosion inhibitors on antibiotic resistance, metal resistance, and microbial communities in drinking water. *MSphere*, 8(5). <https://doi.org/10.1128/msphere.00307-23>
5. Gomelya, M. D., Stepova, O. V., & Kamayev, V. S. (2020). Development of metal corrosion inhibitors in aqueous environments with different levels of mineralization. *Technical Sciences and Technologies*. 3(17), 275–283. Retrieved from <http://tst.stu.cn.ua/article/view/199480>. [in Ukrainian]
6. Lv, X., Wang, C., Liu, J., Sand, W., Nabuk Etim, I.-I., Zhang, Y., Xu, A., Duan, J., & Zhang, R. (2024). The Microbiologically Influenced Corrosion and Protection of Pipelines: A Detailed Review. *Materials*, 17(20), 4996. <https://doi.org/10.3390/ma17204996>.
7. Song, X., Zhang, G., Zhou, Y., & Li, W. (2023). Behaviors and mechanisms of microbially-induced corrosion in metal-based water supply pipelines: A review. *Science of The Total Environment*, 895, 165034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165034>.
8. Vember, V. V., Nosachova, Y. V., Levchuk, T. A., & Kosmyna, M. M. (2020). Corrosion processes in demineralized water in the presence of bacterial cells. *Bulletin of NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. 4, 49–57. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2020.219784> [In Ukrainian]
9. Li, B., Trueman, B. F., Munoz, S., Locsin, J. M., & Gagnon, G. A. (2021). Impact of sodium silicate on lead release and colloid size distributions in drinking water. *Water Research*, 190, 116709. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116709>
10. Li, B., Trueman, B. F., Rahman, M. S., & Gagnon, G. A. (2021). Controlling lead release due to uniform and galvanic corrosion — An evaluation of silicate-based inhibitors. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124707. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124707>.
11. Slobodian, Z., Maglatyuk, L., Khaburskyi, Y., & Kupovich, R. (2014). The influence of high-modulus silicates on the corrosion-electrochemical properties of steel in tap water. *Bulletin of TNTU*. 3(75), 121-127. Retrieved from <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5378>. [in Ukrainian]
12. Shwetha, K.M., Praveen, B. M., & Devendra, B. K. (2024). A review on corrosion inhibitors: Types, mechanisms, electrochemical analysis, corrosion rate and efficiency of corrosion inhibitors on mild steel in an acidic environment. *Results in Surfaces and Interfaces*, 16, 100258. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100258>
13. Peng, Z., Zhang, T.-Y., Ai, J., Pan, R.-J., Zhang, D.-X., & Xu, B. (2025). Effects of a composite phosphate corrosion inhibitor on corrosion behavior and water quality stability in drinking water distribution systems. *Water Cycle*. 6, 506-515. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2025.05.004>.
14. Kamenieva, T., Tarasyuk, O., Derevianko, K., Aksenovska, O., Shybyryn, O., Metelytsia, L., Rogalsky, S. (2020). Antioxidant activity of polymeric biocide polyhexamethylene guanidine hydrochloride. *Catalysis and Petrochemistry*, (30), 73-82. <https://doi.org/10.15407/kataliz2020.30.073>.
15. Munoz, S., Trueman, B. F., Li, B., & Gagnon, G. A. (2022). Effect of sodium silicate on drinking water biofilm development. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 8(6), 1300-1311. <https://doi.org/10.1039/d1ew00682g>
16. Mainier, F. B., Figueiredo, A. A. M., Junior, A. A. M. de A., & Almeida, B. B. de. (2018). Proposal of the use sodium silicate as a corrosion inhibitor in hydrostatic testing of petroleum tanks using seawater. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*. 5(6), 33-38. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.6.6>
17. Romashchenko, M., Kovalenko, O., Matselyuk, E., Charny, D., & Prokopov, V. (2021). Study of the orthopolyphosphate specimen "SeaQuest Liquid" for anticorrosion and stabilization water treatment. *Land Reclamation and Water Management*, (1), 5-14. <https://doi.org/10.31073/mivg202101-273>
18. Matselyuk, E., Charny, D., Kovalenko, O., Onanko, Yu., & Marisik, S. (2021). Influence of hemolitotrophic microbiota on the efficiency of anticorrosive treatment of steel pipelines with ortho-polyphosphate reagents on the example of "Sea Quest Liquid". *Geochemistry of Technogenesis*. 33, 77-85. <https://doi.org/10.15407/geotech2021.33.077>
19. Zhang, T., Wan, H., Xu, Z., Zhang, Y., Dai, J., & Liu, H. (2023). Polyhexamethylene guanidine molybdate as an efficient antibacterial filler in epoxy coating for inhibiting sulfate reducing bacteria biofilm. *Progress in Organic Coatings*, 176, 107401. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107401>.
20. Boretska, M. (2017). Marine biocorrosion and novel antimicrobial polymeric composites. Retrieved from

https://dechema.de/gfkorrr_media/Boretska_Works_hop_2017-p-3245.pdf.

21. **Ministry of Health of Ukraine (2000).** I 9.9.4.9.4.5.-060-2000 Sanitary and hygienic requirements and conditions for the use of solutions of the drug "Aquaton-10" for disinfection of technological equipment in local water treatment systems", approved by the resolution of the First Deputy Chief State Sanitary Doctor of Ukraine No. 114 dated 06/30/2000. Retrieved from <https://surl.li/hzulll>. [in Ukrainian]
22. **Peredera, S. B., Peredera, Z. O., Shcherbakova, N. S., & Derzhgovska, E. O. (2017).** The effect of a disinfectant solution based

on polyhexamethyleneguanidine hydrochloride on sanitary indicator microorganisms and white mice. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. 3, 91-93. Retrieved from

<https://journals.pdau.edu.ua/visnyk/article/download/255/298?utm>. [in Ukrainian].

23. **Yang, M., Tan, L., Batchelor-McAuley, C., & Compton, R. G. (2024).** The solubility product controls the rate of calcite dissolution in pure water and seawater. *Chemical Science*, 15(7), 2464–2472. <https://doi.org/10.1039/d3sc04063a>

Measures to Prevent Destruction of Water Systems after Supply of Water with High Salt Content through Networks

*Volodymyr Kobylanskyi, Oleksandr Kravchenko,
Tamara Shevchenko, Halyna Blagodarna*

Abstract. The article considers the current problem of corrosion destruction of steel water supply networks, which arose as a result of the transition of water supply systems from a source of fresh water to a source with highly mineralized water. This approach to changing the source of water supply is due to the impossibility of taking water from a fresh source due to the military aggression of the Russian Federation. This, in turn, led to accelerated aging of pipelines and an increase in the number of accidents. The study of samples of steel pipes with a diameter of 76 to 500 mm, which were operated for more than 40 years, showed that the process of electrochemical corrosion is complicated by intensive leaching of corrosion deposits from the inner surface of the pipes. This causes a decrease in metal thickness, loss of mechanical strength and the formation of galvanic couples of the “deposit-metal” type, which, in turn, in water with an increased chloride content significantly accelerate corrosion processes. In order to find effective methods to combat network destruction, experimental studies were conducted using three types of reagents: slaked lime, liquid glass (sodium silicate) and polyhexamethyleneguanidine hydrochloride (PHMG). For each reagent, the optimal doses, concentrations and conditions of use were determined, and their effect on the corrosion rate of the metal and the stability of deposits was studied. The results showed that although these reagents are able to partially reduce the corrosion activity of the environment, they do not guarantee the cessation of pipe destruction processes, since they do not eliminate the influence of external corrosion caused by salinization of the soil around the pipelines. In addition, their use can lead to deterioration in the sanitary and chemical indicators of water quality, which makes it impossible to meet the requirements for drinking water supply. The results obtained indicate that to restore the reliability of water supply systems, it is necessary to completely replace steel pipes damaged by corrosion. To reduce the accident rate, it is advisable to use modern anti-corrosion materials and combined protection methods, which provide not only for the inhibition of metal corrosion, but also for the stabilization of existing deposits to prevent their leaching and repeated exposure of the metal. The proposed approaches can be used during the reconstruction of water supply systems in regions with increased mineralization of natural waters.

Key words: water supply network, corrosion, corrosion inhibitors, stabilization treatment, lime, sodium silicate, polyhexamethyleneguanidine hydrochloride.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2025