

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-273>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/273>

УДК 628.147

ДОСЛІДЖЕННЯ ОРТОПОЛІФОСФАТНОГО ПРЕПАРАТУ “SEA QUEST LIQUID” ДЛЯ АНТИКОРОЗІЙНОЇ ТА СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, О.В. Коваленко², канд. техн. наук, Є.М. Мацелюк³, канд. техн. наук, Д.В. Чарний⁴, докт. техн. наук, В.О. Прокопов⁵, докт. мед. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9997-1346>; e-mail: mi.romashenko@gmail.com;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2047-8859>; e-mail: aleksandr55kovalenko@gmail.com;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9960-6333>; e-mail: evgen1523@ukr.net;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6150-6433>; e-mail: dmitrych10@gmail.com;

⁵ Інститут громадського здоров'я НАМНУ, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1611-8930>

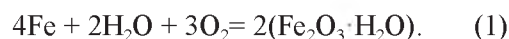
Анотація. Зазначено, що переважна більшість водопроводів діючих в Україні систем водопостачання виконані із сталі, або чавуну, які схильні до корозії. Встановлено, що одним із напрямків зниження корозійної агресивності питної води є застосування орто- поліфосфатного препарату «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5-У 0502222–001:2017). Наведено результати досліджень впливу препарату «SeaQuest Liquid» на органолептичні та фізико-хімічні показники питної води. Визначено, що обробка водопровідної питної води препаратом «SeaQuest Liquid» не впливає на органолептичні показники, середні рівні яких упродовж 5-ти місяців спостережень практично не змінювали суттєвих змін та знаходились в межах гігієнічних нормативів. У зразках води рівні речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), перебували у межах нормативних значень. Якість води, обробленої ортополіфосфатним препаратом «SeaQuest Liquid», за основними санітарно-хімічними показниками, окрім заліза, відповідає вимогам гігієнічних нормативів ДСанПіН 2.2.4.171–10. В окремих пробах води вміст заліза перевищував гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³) та виходив за максимально допустимий рівень (1,0 мг/дм³). Під дією препарату «SeaQuest Liquid» у воді, яка оброблена гіпохлоритом натрію, спостерігалось зменшення індексу Ланжельє: з –2,23 до –2,08 і з –1,79 до –1,70, що свідчить про зниження її корозійної активності. У воді, не обробленій гіпохлоритом натрію, під впливом препарату «SeaQuest Liquid» спостерігалось деяке зростання індексу Ланжельє: з –1,80 до –1,95 та з –1,85 до –2,78; з –2,01 до –2,13, що свідчить про зростання її корозійної агресивності. В умовах наявності у воді сульфатредукуючих тіобактерій препарат «SeaQuest Liquid» збільшує швидкість корозії сталі в 2,9–7,2 рази; за умови додаткового знезараження води гіпохлоритом натрію останній знижує цей показник в 1,4–2,7 рази.

Ключові слова: хімічна і біологічна корозія, сульфатредукуючі бактерії, інгібітори, швидкість корозії, гравіметричний метод

Актуальність дослідження. Стабільність води визначає її властивості взаємодіяти разом із розчиненими в ній речовинами з внутрішньою поверхнею сталевих трубопроводів, руйнуючи її (корозія) або утворюючи на поверхні відкладення, які складаються з карбонатів із включенням сполук заліза. Практика експлуатації трубопроводів показує, що в тій чи іншій мірі завжди присутні обидва ці процеси.

Підвищена корозійна агресивність води викликає внутрішню корозію трубопроводів, призводить до виникнення вторинного забруднення питної води під час її транспортування до споживачів.

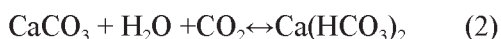
Хімічна реакція кисневої корозії у воді:



За даними різних експлуатаційних служб більше 80% сталевих трубопроводів систем питного водопостачання в Україні відпрацювали більше 30 років і піддані корозійному впливу [3]. На окремих ділянках трубопроводів утворюються свищі і товщина стінок зменшилась із 10–12 мм до 1,0–1,5 мм. Це знижує надійність подачі води споживачам, призводить до значних втрат води, підвищує ризик появи вторинних забруднень. На окремих ділянках трубопроводів

відзначається наявність відкладень, які зменшують переріз трубопроводів та їх пропускну здатність, тим самим збільшуючи енергоємність водоподачі.

При використанні підземних вод вторинне забруднення питної води за рахунок електрохімічної та мікробіологічної корозії майже завжди має місце. Визначальний фактор корозійної активності питної води – карбонат-кальцієва рівновага:



При зміщенні рівноваги вліво вода утворює на металевих поверхнях карбонатні відкладення. При зміщенні вправо – карбонат кальцію розчиняється, підвищуючи корозійну активність води.

За завданням ПрАТ «АК «Київводоканал» Інститутом водних проблем і меліорації НААН (ІВПіМ НААН) були здійснені експериментальні дослідження впливу ортополіфосфатного інгібітора корозії на показники якості питної води, швидкості та величини корозії в результаті уведення його різними

дозами у водопровідну мережу. В якості об'єкта досліджень була визначена система водопостачання масиву Оболонь м. Києва. Характерною особливістю даної системи водопостачання є використання різних джерел водопостачання – підземних вод і поверхневих вод річок Десна і Дніпро.

В таблиці 1 наведено результати розрахунку корозійної активності води, виконаного в ІВПіМ НААН на основі хімічного аналізу показників якості води, що забиралися із 29 свердловин на об'єкті досліджень. Як видно з табл. 1, індекси Ланжелє, отримані за допомогою розрахункових формул по всіх точках відбору, перебувають у межах від -0,89 до -1,77, що свідчить про суцільну і суттєву корозійну активність води в усіх точках відбору.

Слід підкреслити, що вода, отримана шляхом змішування води з водозабірних свердловин і води р. Дніпро, більш корозійно активна, ніж вода самих свердловин. Про це свідчать індекси Ланжелє, отримані з аналізів проб води. Це пояснюється підви-

1. Результати розрахунків індексів Ланжелє, Різнера та $r\text{H}_2$

№ з/п	№ свердловини	Індекс Ланжелє $I_{L\text{ng}}$ за номограмами	Індекс Різнера (IP)	Індекс Ланжелє $I_{L\text{ng}}$ розрахункове	$r\text{H}_2$ за Труфановим	$r\text{H}_2$ за Кларком
1	223	-0,38	8,19	-1,61	18,27	18,10
2	229	-0,025	7,97	-1,07	19,25	19,08
3	230	-0,04	7,8	-1,27	18,95	18,78
4	231	-0,01	8,01	-0,86	19,46	19,29
5	232	-0,96	9,58	-1,23	19,02	18,84
6	212	0,02	7,67	-1,18	19,04	18,87
7	179	-0,03	7,78	-1,25	19,10	18,92
8	178	-0,34	8,16	-1,04	19,47	19,30
9	182	0	8	-1,02	19,48	19,31
10	205	0	7,95	-1,03	19,38	19,21
11	224	-0,03	7,84	-1,11	18,86	18,70
12	242	-0,19	8,13	-1,30	18,83	18,67
13	251	0,075	7,92	-0,97	19,29	19,14
14	255	0,195	7,71	-0,84	19,42	19,27
15	269	0,05	7,77	-1,17	19,07	18,91
16	271	0,31	7,6	-0,82	19,59	19,44
17	237	0,225	7,71	-0,80	19,47	19,32
18	262	0,02	7,86	-0,99	19,06	18,90
19	261	0,22	7,91	-0,94	19,63	19,49
20	197	0,145	7,9	-0,85	19,53	19,38
21	200	-0,166	7,872	-1,24	18,56	18,39
22	221	-0,015	7,63	-1,22	18,68	18,51
23	190	-0,04	7,75	-1,18	18,71	18,55
24	214	-0,07	7,8	-1,24	18,58	18,42
25	293	-0,02	8,08	-0,91	18,98	18,84

щеним вмістом кисню в такій суміші води. Індекс Різнера у всіх пробах знаходиться у межах від 7,8 до 8,8, що вказує на суттєву корозійну активність води. Особливо це характерно для води свердловини № 232, індекс Різнера якої становить 9,58, що вказує на загрозу корозії трубопроводу.

Показники i_{H_2} , по всіх пробах, розраховані як за формулою Ф.У. Кларка, так і за формулою А.І. Труфанова, свідчать про те, що досліджуване водне середовище є дуже сприятливим для життєдіяльності залізобактерій загалом, а зона рН – Eh показників проб води свідчить про те, що присутня активна життєдіяльність різних штамів: *Leptothrix*, *Gallionella*, *Thiobacillus thiooxidans* або їх сумісна життєдіяльність.

Усі досліджувані показники свідчать про те, що найбільш вірогідним у водопровідних мережах є комплексний генез корозійних процесів, який поєднує у собі як фізико-хімічні, так і біологічні процеси. Таке поєднання зазвичай сприяє процесам активного вторинного забруднення води продуктами корозії трубопроводів.

Одним із раціональних методів покращення технічного стану діючих трубопроводів є стабілізація води шляхом обробки її інгібіторами корозії.

Аналіз попередніх досліджень. Пріоритетними протикорозійними заходами згідно СОУ ЖКГ 42.00–35077234.010:2008 «Системи централізованого господарсько-питного водопостачання та комунального тепlopостачання. Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання» [7] є застосування інгібіторів корозії та електрохімічний магнієвий (анодний) захист. Інгібітори корозії здатні попереджувати утворення корозійних відкладень на внутрішній поверхні трубопроводів та видаляти уже сформовані відкладення.

За своєю природою інгібітори корозії можуть бути неорганічними та органічними речовинами. Механізм дії інгібіторів в рідких середовищах здебільшого полягає в гальмуванні катодних і анодних процесів електрохімічної корозії, утворення захисних і пасивуючих плівок. (Пасивація – перехід поверхні металу в неактивний, пасивний стан, пов'язаний з утворенням тонких поверхневих шарів сполук, які запобігають корозії). Інгібітори корозії – речовини, що утворюють з іонами металу, який кородує, важко-розчинні сполуки. Список речовин, що належать до цієї групи, залежить від природи металу, який піддається корозії. До анодних інгібіторів належать деякі сполуки, що не володіють

окисними властивостями: фосфати, поліфосфати, силікати, бензоат натрію. Їх інгібуюча дія проявляється тільки при наявності розчиненого кисню, який і грає роль пасиватора. Такі речовини гальмують анодний процес розчинення через утворення захисних плівок, які є важкорозчинними продуктами взаємодії інгібітора з іонами металу, який переходить у розчин. При корозії заліза до них належать фосфати, гідрофосфати, поліфосфати. Поліфосфати захищають поверхню металу, утворюючи на ній непроникну захисну плівку. У присутності іонів Ca і Fe на катодних ділянках осідають фосфати кальцію і заліза, що утворюють непроникну захисну плівку з $Ca_3(PO_4)_2$, $FePO_4 \cdot 2H_2O$ та ін.

У присутності фосфатів на поверхні заліза утворюється захисна плівка. Вона складається з гідроксиду заліза, ущільненого фосфатом заліза. Для більшого захисного ефекту фосфати часто використовують у суміші з поліфосфатами. Деякі інгібітори на основі поліфосфатів мають здатність запобігати утворенню відкладень солей на внутрішній поверхні труб, а також видаляти раніше утворені відкладення, при цьому режим видалення можна регулювати змінюючи концентрацію інгібітора. До таких інгібіторів належать ортополіфосфатний інгібітор-реагент Сіквест («SeaQuest»). Реагент «SeaQuest» – натрієва сіль поліфосфатної кислоти (порошкоподібна суміш), суміш неорганічних поліфосфатів. Хімічна формула: $Na_{35}H_5P_{26}O_{85}$, виробник – компанія Аква Смарт, Інк. («Aqua Smart Inc»), (www.aquasmartinc.com) на заводі, розташованому в м. Атланта, США. «SeaQuest» – це торгова марка, що являє собою гранульовану форму суміші неорганічних фосфатів, що складаються приблизно з 25 % ортофосфатів і 75 % поліфосфатів.

В Україні для антикорозійної та стабілізаційної обробки води в системі питного водопостачання пропонується препарат «SeaQuest Liquid», виготовлений згідно ТУ У 20.5–40502222–001:2017 (Дозвіл Держспоживслужби України № 602–123–20–1/5600) виробництва ТОВ «Нанохімічні Технології» (Україна, м. Київ). Препарат «SeaQuest Liquid» становить собою водний розчин ортополіфосфатного препарату «SeaQuest» із додаванням консервуючих кількостей гіпохлориту натрію.

У Словенії для запобігання накопичення накипу в трубопроводах систем питного водопостачання використовували поліфосфати, вміст яких у воді коливався в межах від 0,2 мг PO_4 /л до 24,6 мг PO_4 /л [1].

Нині в Україні проведені дослідження на фільтрувальній станції водоочисних споруд Західного групового водогону КП «Облводоканал» Запорізької обласної ради (ФС ВОС ЗГВ КП «Облводоканал»). Вони показали, що існує ймовірний зв'язок між корозійною агресивністю і стабільністю питної води та інтенсивністю утворення ХОС на етапах підготовки води та під час її транспортування в трубопроводах. Тобто чим ефективнішою була коагуляція і чим більше домішок було видалено з води, що проходить водопідготовку, тим вищою є корозійна агресивність обробленої води [2]. Реагент «SeaQuest» було застосовано для стабілізаційної обробки води в магістральному водоводі Акимівка-Бердянськ Західного групового водоводу Запорізької області. У результаті застосування реагенту «SeaQuest» корозійна агресивність води знизилась з 0,25–0,37 мм/рік до 0,018–0,031 мм/рік (вимога СОУ ЖКГ 42.00–35077234.010:2008 0,05 мм/рік).

Результати досліджень [3] засвідчили, що під час транспортування води з підвищеною корозійною агресивністю її якість суттєво погіршується, особливо за ЗМЧ, органолептичними показниками (кольоровістю, каламутністю, запахом, присмаком), вмістом заліза, цинку, перманганатною окиснюваністю, вмістом тригалометанів тощо. Крім того, було показано [4; 5], що корозійна агресивність та стабільність води впливають на біологічну активність та ступінь токсичності тригалометанів при їх надходженні до організму експериментальних тварин та людини з питною водою.

Дослідження, проведені на Часів-Ярській, Старокримській фільтрувальній станції № 2, Західному груповому водоводі Якимівка-Бердянськ, показали, що застосування для стабілізаційної обробки адекватних доз препарату «SeaQuest» дозволило привести корозійну агресивність обробленої води у відповідність до вимог усіх діючих нормативних документів [5].

В Чернігівському державному технологічному університеті досліджено протикорозійну активність «SeaQuest» на зразках сталі, які витримували протягом 24 годин в інгібо-

ваних розчинах, а потім переносили на 10 днів в чисту водопровідну воду. Встановлено, що використання «SeaQuest» для антикорозійної обробки води господарсько-питного водопостачання недостатньо ефективне (38,8–42,1%) та призводить до збільшення вмісту заліза у питній воді за рахунок утворення розчинних комплексних сполук з іржею. Крім того, при цьому спостерігалось стимулювання виразкової корозії зразків.

Мета роботи: дослідити можливість застосування інгібіторного захисту в системах питного водопостачання за допомогою ортополіфосфатного препарату «SeaQuest Liquid».

Матеріали і методика досліджень. У дослідженнях застосовували ортополіфосфатний препарат «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5–40502222–001:2016).

Склад препарату «SeaQuest Liquid» наведено в табл. 2, його основні показники – в табл. 3.

Дозу препарату «SeaQuest Liquid» за основною речовиною «SeaQuest» розраховували за формулою: Доза «SeaQuest» = Вміст (Fe + Mn) + Загальна жорсткість у перерахунку на CaCO₃ / 200 + 0,2. Наприклад: вміст Fe = 1 мг/л; вміст Mn = 1 мг/л; загальна жорсткість 8 мг-екв/л; Доза «Sea Quest» = 1 + 1 + (8 x 50 / 200) + 0,2 = 4,2 мг/л, де 50 = мг-екв CaCO₃.

Для обробки води препаратом застосовували установку для дозування фірми "Grundfos". Для обліку води застосовували лічильник холодної води MAGX2-T5CMN-NN485 фірми Arkon Flow Systems (Чехія). Пристрій MAGX2 має інноваційний модульний дизайн «Plug&Play», який одночасно підходить для всіх застосувань. Для реєстрації даних в MAGX2 використовували стандартну мікро Secure Digital card.

Розміщення обладнання для зберігання та дозування препарату «SeaQuest Liquid» було виконано в межах існуючих наземних та напівзаглиблених насосних станцій над артезіанськими свердловинами, а також у приміщенні електролізної. Установки дозування препарату та точки вприску влаштували по одному комплекту в кожній насосній станції.

Оцінку стабільності води, виходячи з її хімічного складу, проводили за стандартними методиками визначення індексів стабільності

2. Склад препарату «SeaQuest Liquid»

Компоненти препарату	Масова доля компонентів в препараті, %
Ортополіфосфатний реагент «SeaQuest»	не менше 30,0
Гіпохлорид натрію, марка А згідно ГОСТ 11086-76 або ТУ У6-0576120.014-99	≤0,1
Вода	Не більше 70

3. Фізико-хімічні показники препарату «SeaQuest Liquid»

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Зовнішній вигляд	Прозора рідина без кольору, зі слабким запахом без сторонніх включень (допускається незначне помутніння)
2	Густина при температурі 20°C, г/дм ³	1,250–1,350
3	pH водного розчину з масовою долею основної речовини 30% при температурі 20°C	4,4–5,5
4	Масова доля загального фосфору в перерахунку на P ₂ O ₅ , %	19,2–22,4
5	Масова доля ортофосфатів, %	7,2–7,9
6	Масова доля поліфосфатів, %	22,1–27,1
7	Антикорозійна ефективність (швидкість корозії) мм/рік, не більше	0,1

Ланжельє і Різнера, індексу Паккоріуса для визначення схильності води до утворення накипу, індексу Ларсона-Скольда, який дає змогу характеризувати корозійну здатність води по відношенню до низьковуглецевої сталі, індексу Оддо-Томпсона для експрес оцінювання схильності води до розчинення або утворення карбонату кальцію [6–10].

Для контролю ефективності процесу обробки води препаратом «SeaQuest Liquid» було передбачено вузли контролю, кожний з яких обладнаний корозійними зондами. Зонд дозволяє встановлювати і знімати зразки матеріалів в процесі роботи установки без відключення обладнання.

Оцінку швидкості корозії металу трубопроводу проводили на основі короткочасних корозійних випробувань зразків металу, ідентичного металу трубопроводів, за допомогою корозійних зондів гравіметричним методом по втраті маси зразків.

Зважування зразків для випробувань проводили після їх остаточного просушування на аналітичних вагах із точністю 2×10^{-4} м.

Швидкість корозії матеріалу при гравіметричних випробуваннях визначалась із розрахунку на рівномірну загальну корозію за формулою:

$$Pr = \frac{8,76 \times 10^4 (m_1 - m_2)}{St\rho}$$

де Pg – швидкість корозії матеріалу, мм/рік; m_1, m_2 – маса зразка до початку випробувань і після очищення зразка від відкладень і продуктів корозії, г; S – первісна поверхня зразка, мм²; t – тривалість корозійних випробувань, год.; ρ – щільність матеріалу, г/см³.

Результати досліджень. За результатами досліджень встановлено, що якість водопровідної питної води, в яку регулярно в застосовуваних дозах (від 1,0 до 3,0 мг/дм³) додавався

препарат «SeaQuest Liquid», за органолептичними показниками (запах, присмак, каламутність, забарвленість) в динаміці коливалася в усіх точках відбору проб для кожного інгредієнта в межах нормативних значень та навіть при максимальних дозах реагенту залишалась стабільно високою.

За всіх режимів використання препарату «SeaQuest Liquid», у воді в усіх точках відбору проб не зареєстровано відхилень від нормативів основних фізико-хімічних показників неорганічної та органічної природи: за середніми даними pH води становив $7,67 \pm 0,01$ од. pH, загальна жорсткість складала $4,3 \pm 0,03$ та загальна лужність – $4,4 \pm 0,05$ ммоль/дм³, вміст кальцію становив $58,6 \pm 0,7$ мг/дм³, магнію – $16,1 \pm 0,2$ мг/дм³, гідрокарбонатів – $261,4 \pm 4,8$ мг/дм³, марганцю < 0,01 мг/дм³, сульфатів – $21,9 \pm 1,2$ мг/дм³, хлоридів – $44,3 \pm 1,4$ мг/дм³, натрію та калію – $44,0 \pm 2,0$ мг/дм³, хлору залишкового – $0,35 \pm 0,02$ мг/дм³, загальна мінералізація – $459,9 \pm 15,1$ мг/дм³.

В період спостереження якість обробленої ортополіфосфатним препаратом «SeaQuest Liquid» води в основному відповідає вимогам гігієнічних нормативів ДСанПіН 2.2.4.171–10 за винятком періодичних коливань понаднормованого вмісту заліза. В окремих пробах води вміст у воді заліза перевищував гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³) у 3–10 разів та виходив за максимально допустимий рівень (1,0 мг/дм³). Динаміка зміни концентрації заліза загального свідчить, що на початковій стадії дії препарату «SeaQuest Liquid» відбувається розчинення плівки гідроксиду заліза, яка утворилася за час експлуатації на внутрішній поверхні трубопроводу, а потім проходить процес пасивації сталі.

Санітарно-токсикологічні показники якості водопровідної питної води за неорганічними та

органічними компонентами за весь час спостереження в усіх точках відбору проб за середніми даними відповідали нормативам та становили для амонію – $0,2 \pm 0,01$ мг/дм³, перманганатної окиснюваності – $2,3 \pm 0,1$ мгО₂/дм³, нітритів – $0,09 \pm 0,01$ мг/дм³ та нітратів – $1,53 \pm 0,14$ мг/дм³.

В досліджуваних зразках питної води рівні речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), коливались у різних точках відбору проб, не погіршуючи її якість, та, зокрема, за поліфосфатами знаходились у межах нормативних значень.

Результати вагових досліджень впливу препарату «SeaQuest Liquid» у водопровідній воді на швидкість корозії сталевих зразків наведено в табл. 4.

Аналіз результатів досліджень, наведених у таблиці 4, показує, що швидкість корозії зразків у воді, обробленій препаратом «SeaQuest Liquid», значно перевищує швидкість корозії зразків у воді, яка не містить вказаного препарату. Особливо це характерно для підземних вод свердловин. Так, для свердловини № 182 це підвищення складає 2,87 рази, для свердловини № 232 – 5,28 рази, для свердловини № 242 – 7,15 рази.

Швидкість корозії в трубопроводі на території НС – 1, який містив реагент «SeaQuest Liquid», в 1,47 рази перевищує швидкість корозії в трубопроводі без реагенту. Швидкість корозії в напірних трубопроводах машзалу НС – 2 в 2,91–3,42 рази перевищує швидкість корозії в напірних трубопроводах машзалу НС – 1, в яких проводилась санітарна промивка гіпохлоритом натрію. Слід відмітити, що після витримки у воді, яка не містить

препарат «SeaQuest Liquid», поверхня зразків набула світло-коричневого кольору, а після витримки у воді, яка містила препарат, – чорного кольору (рис. 1).

Як відомо, світло-коричневий колір характерний для гідроксиду заліза (іржа), чорний – для сульфїду заліза (пірит). Характер відкладень на поверхні зразків теж різний: світло-коричневі відкладення більш щільні, пластинчасті, чорні – пухкі, які легко видаляються з поверхні. Отримані результати дозволяють припустити такий механізм корозійного процесу. Препарат «SeaQuest Liquid» каталізує мікробіологічну корозію, викликану сульфатредуючими тіобактеріями. При відсутності препарату вогнища корозії не пов'язані з присутністю мікроорганізмів, а виникають у результаті процесу хімічної корозії з утворенням гідроксиду



Рис. 1. Зовнішній вигляд зразків після витримки в підземній воді свердловин

4. Вплив препарату «SeaQuest Liquid» на швидкість корозії

Місце виїмки зразків	Втрата маси зразків Δm, г у воді:		Втрата маси зразків Δm, % у воді:		Швидкість корозії K _m , мм/рік у воді:	
	Без «SeaQuest Liquid»	З «SeaQuest Liquid»	Без «SeaQuest Liquid»	З «SeaQuest Liquid»	Без «SeaQuest Liquid»	З «SeaQuest Liquid»
Свердловина № 182	0,7545	2,3744	10,9	34,1	0,4086	1,1744
Свердловина № 232	0,4839	2,5553	6,8	36,1	0,2621	1,3839
Свердловина № 242	0,2822	2,0163	4,0	29,9	0,1528	1,0920
НС-1, машзал, точка № 1	–	0,2823	–	4,45	–	0,1529
НС-1, машзал, точка № 2	–	0,3404	–	5,10	–	0,1844
НС-1, К 12	1,4099	–	20,4	–	0,7636	–
НС-1, К 29	–	0,9620	–	14,0	–	0,5210
НС-2, машзал, точка № 1	–	0,8213	–	11,4	–	0,4448
НС-2, машзал, точка № 2	–	1,1659	–	16,9	–	0,6315
НС-2, колодязь (Дніпровська вода)	1,3103	–	18,5	–	0,7097	–

заліза. Зміна середовища, в результаті введення у воду препарату «SeaQuest Liquid», сприяла розвитку мікроорганізмів. У свою чергу, в процесі життєдіяльності мікроорганізми накопичили реагенти, що стимулюють біологічний корозійний процес. Як відомо, наявність клітин сульфатредуючих тіобактерій є джерелом біогенного сірководню. Сірководень, реагуючи з металом, утворює сульфід заліза. Поверхня металу піддається пітинговій і виразковій корозії. Виразки вкриваються зверху пухкими продуктами корозії, які переважно складаються з сульфиду заліза та гідроксиду заліза. У присутності кисню корозійні горбки покриваються скоринкою, що складається з гідроксиду заліза. Під шаром продуктів корозії бактерії заглиблюються в метал, руйнуючи його. Відкладення сульфиду заліза на поверхні трубопроводів (чорний колір) сприяє виникненню гальванічних пар (анода і катода), що викликає електрохімічну корозію. Сульфід заліза при цьому служить

катодом, чиста поверхня металу – анодом. Сірководень, взаємодіючи з іонами заліза, утворює нерозчинний сульфід заліза і, одночасно, мігруючи в зони з окисленим режимом, окиснюється до елементарної сірки. Шари різного кольору, як наслідок симбіозу хімічної та біологічної корозії, можна спостерігати на зразках, які витримували в напірному трубопроводі НС-2 (рис. 2).

Характерно, що швидкість корозії зразків у напірних трубопроводах насосних станцій 1 та 2 після введення препарату нижча за швидкість корозії зразків, встановлених у районі свердловин. Це пояснюється тим, що вода в напірні водоводи насосних станцій поступає після резервуарів чистої води (РЧВ) і вона пройшла обробку гіпохлоритом натрію, який згубно діє на мікроорганізми. Особливо це характерно для трубопроводу НС-1, де вода пройшла триразову обробку гіпохлоритом натрію дозою 20 мг/л і мікробіологічна корозія практично відсутня (рис. 3).



Рис. 2. Зовнішній вигляд зразків після витримки в напірному трубопроводі НС-2.



Рис. 3. Загальний вигляд зразків після витримки в напірному трубопроводі НС-1

Особливо наочно демонструють вплив препарату «SeaQuest Liquid» на розвиток патогенних мікроорганізмів зразки, які витримували у середовищі, що містило суміш підземної та річкової (р. Десна) вод (рис. 4).

Висновки. За усіх режимів використання препарату «SeaQuest Liquid» у воді в усіх точках відбору проб не зареєстровано відхилень від нормативів основних фізико-хімічних показників: за середніми даними рН води становив $7,67 \pm 0,01$ од. рН, загальна жорсткість складала $4,3 \pm 0,03$, загальна лужність – $4,4 \pm 0,05$ ммоль/дм³, вміст кальцію становив $58,6 \pm 0,7$ мг/дм³,



Рис. 4. Загальний вигляд зразків після витримки в суміші підземної і річкової вод

магнію – $16,1 \pm 0,2$ мг/дм³, гідрокарбонатів – $261,4 \pm 4,8$ мг/дм³, марганцю < $0,01$ мг/дм³, сульфатів – $21,9 \pm 1,2$ мг/дм³, хлоридів – $44,3 \pm 1,4$ мг/дм³, натрію та калію – $44,0 \pm 2,0$ мг/дм³, хлору залишкового – $0,35 \pm 0,02$ мг/дм³, амонію – $0,2 \pm 0,01$ мг/дм³, перманганатної окиснюваності – $2,3 \pm 0,1$ мгО₂/дм³, нітритів – $0,09 \pm 0,01$ мг/дм³, нітратів – $1,53 \pm 0,14$ мг/дм³, загальна мінералізація – $459,9 \pm 15,1$ мг/дм³. В окремих пробах води, обробленої препаратом «SeaQuest Liquid», вміст заліза перевищував гігієнічний норматив ($0,2$ мг/дм³) та виходив за максимально допустимий рівень ($1,0$ мг/дм³). В зразках питної води концентрації речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), знаходились в межах нормативних значень. Підтвердилась прогнозована нами, за розрахунковим показником Rh₂, біологічна складова корозії. В умовах наявності у воді сульфатредуючих тіобактерій препарат «SeaQuest Liquid» збільшує швидкість корозії сталі в $2,9$ – $7,2$ рази; за умови додаткового знезараження води в режимі санітарної обробки гіпохлоритом натрію останній знижує цей показник в $1,4$ – $2,7$ рази. Під дією препарату «SeaQuest Liquid» у воді, яка оброблена гіпохлоритом натрію, спостерігалось зменшення індексу Ланжельє: з $-2,23$ до $-2,08$ і з $-1,79$ до $-1,70$, що свідчить про зниження її корозійної активності. У воді, не обробленій гіпохлоритом натрію, під впливом препарату «SeaQuest Liquid» спостерігалось деяке зростання індексу Ланжельє: з $-1,80$ до $-1,95$ та з $-1,85$ до $-2,78$; з $-2,01$ до $-2,13$, що свідчить про зростання її корозійної агресивності.

Бібліографія

1. Jereb G, Poljšak B., Eržen I. Contribution of Drinking Water Softeners to Daily Phosphate Intake in Slovenia // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14(10). P. 1186.
2. Гігієнічне обґрунтування необхідності та шляхів модернізації комунальних систем централізованого водопостачання України / Загороднюк К.Ю. та ін. *Довкілля та здоров'я*. 2016. № 1(77). С. 48–54.
3. Коррозионная агрессивность воды как один из основных показателей качества питьевой воды и ее нормативное регулирование в Украине / Загороднюк К.Ю. та ін. *Водопостачання та водовідведення*. 2009. № 4. С. 26–33.
4. Токсиколого-гігієнічна оцінка питної води Західної фільтрувальної станції ТОВ «Луганськвода» до та після стабілізаційної обробки препаратом “Sea-Quest” / Загороднюк К.Ю. та ін. *Сучасні проблеми токсикології*. 2011. № 5. С. 178–179.
5. Загороднюк К.Ю., Омельчук С.Т., Загороднюк Ю.В. Влияние стабильности и коррозионной агрессивности воды на биологическую активность хлорорганических соединений, поступающих в организм с питьевой водой. *Вода и экология: проблемы и решения*. Санкт-Петербург, 2012. № 2–3. С. 35–36.
6. Willhite C.C., Ball G.L., Bhat V.S. Emergency Do Not consume/do Not Use Concentrations for Blended Phosphates in Drinking Water // *Human & Experimental Toxicology*. 2013. Vol. 32(3). P. 241–259.

7. Системи централізованого господарсько-питного водопостачання та комунального теплопостачання. Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання : СОУ ЖКГ 42.00-35077234.010:2008. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.

8. Hayes C., Inledion S., Balch M. Experience in Wales (UK) of the Optimisation of Ortho-Phosphate Dosing for Controlling Lead in Drinking Water // Journal of Water and Health. 2008. Vol. 6(2). P.177–185.

9. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10 / МОЗ України. Київ, 2012. 55 с.

10. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. 2-е изд. Киев, 2018. 579 с.

References

1. Jereb, G., Poljšak, B., & Eržen, I. (2017). Contribution of Drinking Water Softeners to Daily Phosphate Intake in Slovenia. International journal of environmental research and public health, 14(10), 1186. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101186>

2. Zahorodniuk, K.Iu., Bardov, V.H., & Omelchuk, S.T. (2016). Hihiiienichne obruntuvannia neobkhdnosti ta shliakhiv modernizatsii komunalnykh system tsentralizovanoho vodopostachannia Ukrainy [Hygienic substantiation of necessity and ways of modernization of communal systems of centralized water supply of Ukraine]. Dovkillia ta zdorovia, 1(77), 48–54. [in Ukrainian]

3. Zahorodniuk, Yu.V., Omelchuk, S.T., & Kravchuk, A.P. (2009). Korrozyonnaia ahressyvnost vody yak ody n yz osnovnykh pokazatelei kachestva pytevoi vody y ee normatyvnoe rehulyrovanye v Ukraine [Corrosiveness of water as one of the main indicators of drinking water quality and its regulatory regulation in Ukraine]. Vodopostachannia ta vodovidvedennia, 4, 26–33. [in Russian]

4. Zahorodniuk, K.Iu., Omelchuk, S.T., Nikipielova, O.M., & Zahorodniuk, Yu.V. (2011). Toksykolooho-hihiiienichna otsinka pytnoi vody Zakhidnoi filtrualnoi stantsii TOV “Luhanskvoda” do ta pislia stabilizatsiinoi obrobky preparatom “Sea-Quest” [Toxicological and hygienic assessment of drinking water of the Western filtering station of LLC “Luganskvoda” before and after stabilization treatment with “Sea-Quest”]. Suchasni problemy toksykolohii, 5, 178–179. [in Ukrainian]

5. Zahorodniuk, K.Iu., Omelchuk, S.T., & Zahorodniuk, Yu.V. (2012) Vlyianyie stablylnosti y korrozyonnoi ahressyvnosti vodu na byolohyeheskuuiu aktyvnost khlororhanyeheskykh soedyneni, postupaiushchykh v orhanyzm s pytevoi vodoi [Influence of the stability and corrosiveness of water on the biological activity of organochlorine compounds entering the body with drinking water]. Voda y ekolohyia: problemy y reshenyia, 2–3, 35–36. [In Russian]

6. Willhite, C.C., Ball, G.L., & Bhat, V.S. (2013). Emergency Do Not consume/do Not Use Concentrations for Blended Phosphates in Drinking Water. Human & Experimental Toxicology, Vol. 32(3), 241–259.

7. Systemy tsentralizovanoho hospodars'ko-pitnoho vodopostachannya ta komunal'noho teplopостачання. Zakhyst protykoroziiyny. Zahal'ni vymohy ta metody kontrolyu [Systems of centralized drinking water supply and communal heat supply. Corrosion protection. General requirements and control methods]. (2008). SOU ZHKГ 42.00-35077234.010. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. [in Ukrainian]

8. Hayes, C., Inledion, S., & Balch, M. (2008). Experience in Wales (UK) of the Optimisation of Ortho-Phosphate Dosing for Controlling Lead in Drinking Water. Journal of Water and Health, Vol. 6(2), 177–185.

9. Hihiiyenichni vymohy do pytnoyi vody, pryznachenoyi dlya spozhyvannya lyudynoyu [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. (2012). DСанПіН:2.2.4-171-10. Derzhavni sanitarni pravyla i normy. Kyiv : MOZ Ukrayiny. [in Ukrainian]

10. Antomonov, M.Yu. (2018). Matematicheskaya obrabotka i analiz biomeditsinskikh dannykh. 2-ye izd. [Mathematical handling and analyze of biometric parameters. 2-nd edition]. Kyiv. [in Russian]

**М.И. Ромащенко, А.В. Коваленко, Е.М. Мацелюк,
Д.В. Чарный, В.А.Прокопов**

Исследование ортополифосфатного препарата “SeaQuest Liquid”

для антикоррозионной и стабилизационной обработки воды

Аннотация. Отмечено, что подавляющее большинство водопроводов действующих в Украине систем водоснабжения выполнены из стали или чугуна, которые подвержены коррозии. Установлено, что одним из направлений снижения коррозионной агрессивности питьевой воды является

применение орто полифосфатного препарата «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5-В 0502222-001:2017). Приведены результаты исследований влияния препарата «SeaQuest Liquid» на органолептические и физико-химические показатели питьевой воды. Определено, что обработка водопроводной питьевой воды препаратом «SeaQuest Liquid» не влияет на органолептические показатели, средние уровни которых на протяжении 5-ти месяцев наблюдений практически не претерпевали существенных изменений и находились в пределах гигиенических нормативов. В образцах воды уровни веществ, входящих в состав препарата «SeaQuest Liquid» (полифосфаты, ортофосфаты) находились в пределах нормативных значений. Качество воды, обработанной ортополифосфатным препаратом «SeaQuest Liquid», по основным санитарно-химическим показателям, кроме железа, соответствует требованиям гигиенических нормативов ДСанПиН 2.2.4.171-10. В отдельных пробах воды содержание железа превышало гигиенический норматив ($0,2 \text{ мг/дм}^3$) и выходило за максимально допустимый уровень ($1,0 \text{ мг/дм}^3$). Под действием препарата «SeaQuest Liquid» в воде, обработанной гипохлоритом натрия, наблюдалось уменьшение индекса Ланжелье: с $-2,23$ до $-2,08$ и с $-1,79$ до $-1,70$, что свидетельствует о снижении ее коррозионной активности. В воде, не обработанной гипохлоритом натрия, под влиянием препарата «SeaQuest Liquid» наблюдался некоторый рост индекса Ланжелье: с $-1,80$ до $-1,95$ и с $-1,85$ до $-2,78$, с $-2,01$ до $-2,13$, что свидетельствует о росте ее коррозионной агрессивности. В условиях наличия в воде сульфатредуцирующих и тиобактерий препарат «SeaQuest Liquid» увеличивает скорость коррозии стали в $2,9-7,2$ раза; при условии дополнительного обеззараживания воды гипохлоритом натрия он снижает этот показатель в $1,4-2,7$ раза.

Ключевые слова: химическая и биологическая коррозия, сульфатно-редуцирующие бактерии, ингибиторы, скорость коррозии, гравиметрический метод

**M.I. Romashchenko, O.V. Kovalenko, E.M. Matselyuk,
D.V. Charny, V.A. Prokopov**

Study of the orthopolyphosphate specimen «SeaQuest Liquid» for anticorrosion and stabilization water treatment

Abstract. It is known that most water supply systems operating in Ukraine are made of steel or cast iron, which are subject to corrosion. It was determined that one of the ways to reduce the corrosive aggressiveness of drinking water is the use of an orthopolyphosphate specimen «SeaQuest Liquid» (TU U 20.5-V 0502222-001:2017). The results of studies on the effect of «SeaQuest Liquid» specimen on the organoleptic and physicochemical indicators of drinking water are presented. It was determined that the treatment of tap drinking water with «SeaQuest Liquid» specimen does not affect organoleptic characteristics, the average levels of which practically did not undergo significant changes during 5 months of observation and were within the hygienic standards. In water samples, the rates of substances that make up the «SeaQuest Liquid» (polyphosphates, orthophosphates) were within the normative values. The quality of water treated with «SeaQuest Liquid» orthophosphate specimen, by the main sanitary and chemical indicators, except for iron, meets the requirements of the hygienic standards DSanPiN 2.2.4.171-10. In some water samples, the iron content in water exceeded the hygienic standard ($0,2 \text{ mg/dm}^3$) and went beyond the maximum permissible level ($1,0 \text{ mg/dm}^3$). Under the action of «SeaQuest Liquid» in water treated with sodium hypochlorite, a decrease in the Langelier index was observed: from $-2,23$ to $-2,08$ and from $-1,79$ to $-1,70$, which indicates a decrease in its corrosivity. In water untreated with sodium hypochlorite under the action of «SeaQuest Liquid» specimen, a slight increase in the Langelier index was observed: from $-1,80$ to $-1,95$ and from $-1,85$ to $-2,78$, from $-2,01$ to $-2,13$, which indicates an increase in its corrosive aggressiveness. In the presence of sulphate reducing and thiobacteria in water, «SeaQuest Liquid» specimen increases the corrosion rate of steel by $2,9-7,2$ times; subject to the additional disinfection of water with sodium hypochlorite, it reduces this indicator by $1,4-2,7$ times.

Key words: chemical and biological corrosion, sulfate reducing bacteria, inhibitors, corrosion rate, gravimetric method