



<https://doi.org/10.15407/10.15407/geotech2021.33.077>
УДК 628.1

Мацелюк Є.М., Чарний Д.В., **Коваленко О.В.**, Онанко Ю.А., Марисик С.В.

Мацелюк Є.М., канд. техн. наук, Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна ORCID:0000-0001-9960-6333; evgen1523@ukr.net;

Чарний Д.В., докт. техн. наук Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна ORCID:0000-0001-6150-6433; dmitriyuch10@gmail.com;

Коваленко О.В., канд. техн. наук, Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна ORCID:0000-0002-2047-8859, aleksandr55kovakenko@gmail.com;

Онанко Ю.А., аспірант Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна ORCID:0000-0002-7231-1188; yaonanko1@gmail.com;

Марисик С.В., аспірант Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна ORCID:0000-0002-0100-7787, sergsi.marisik@ukr.net

ВПЛИВ ХЕМОЛІТОТРОФНОЇ МІКРОБІОТИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АНТИКОРОЗИЙНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВІДІВ ОРТО-ПОЛІФОСФАТНИМИ РЕАГЕНТАМИ НА ПРИКЛАДІ ЗАСТОСУВАННЯ «SEA QUEST LIQUID»

Зазначено, що переважна більшість водопроводів діючих в Україні систем водопостачання виконані зі 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 зазнавали суттєвих змін та знаходились у межах гігієнічних нормативів. У зразках води рівні речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), знаходились у межах нормативних значень. Якість води, обробленої ортополіфосфатним препаратом «SeaQuest Liquid», за основними санітарно-хімічними показниками, окрім заліза, відповідає вимогам гігієнічних нормативів ДСан-ПіН 2.2.4.171-10. В окремих пробах води вміст у воді 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, необробленій 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 сульфатредуючих тіобактерій препарат «SeaQuest Liquid» збільшує швидкість корозії сталі у 2,9-7,2 раза; за умови додаткового знезараження води гіпохлоритом натрію він знижує цей показник у 1,4-2,7 раза.

Ключові слова: корозія, захист, вода, трубопровід, залізо, ортополіфосфати, тіобактерії

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

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

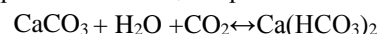
Хімічна реакція кисневої корозії у воді:



За даними різних експлуатаційних служб, більше 80% сталевих трубопроводів питного водопостачання відпрацювали більше 30 років і піддані корозійному впливу. В окремих місцях трубопроводів утворюють-

ся свищі, і товщина стінок зменшилась з 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 витрати на електроенергію.

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



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

На рівні з фізико-хімічними факторами, що обумовлюють корозію сталевих трубопроводів, знаходиться і біологічний фактор – вплив життєдіяльності хемолітотрофної мікробіоти.

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

За своєю природою інгібітори корозії можуть бути неорганічними та органічними речовинами. Механізм дії інгібіторів у рідких середовищах у більшості випадків полягає в гальмуванні катодних і анодних процесів електрохімічної корозії, утворенні 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, важкорозчинні сполуки. Список речовин, що відносяться до цієї групи, залежить від природи металу, який піддається корозії. До анодних інгібіторів належать деякі сполуки, що не мають окисних властивостей: фосфати, поліфосфати, силікати, бензонат натрію. Їх інгібуюча дія проявляється тільки за наявності розчиненого кисню, який і грає роль пасиватора. Такі речовини гальмують анодний процес розчинення через утворення захисних плівок, які представляють собою важкорозчинні продукти взаємодії інгібітора з іонами металу, який переходить у розчин. При корозії заліза до них належать фосфати, гідрофосфат, поліфосфати. Поліфосфати захищають поверхню металу, утворюючи на ній непроникну захисну плівку. У присутності іонів Са та Fe на катодних ділянках осідають фосфати кальцію і заліза, що утворюють непроникну захисну плівку з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ та ін.

Так, наприклад, поліфосфати, адсорбуючись на поверхні сталевих трубопроводів, утворюють з іонами заліза екрануючі плівки, що складаються з Fe_2O_3 і FePO_4 . Для інгібування питної води, відповідно до санітарних норм, використовують невеликі дози натрійгексаметафосфату (4-5 мг/л) у розрахунку на фосфорний ангідрид.

Інгібуюча дія поліфосфату натрію може бути частково пов'язана зі здатністю поліфосфатів перешкоджати відновленню кисню на поверхні заліза, полегшуючи тим самим адсорбцію розчиненого кисню, що призводить до пасивації металу. Певну роль відіграють і інші фактори. Так, є дані, що на катодних ділян-

ках утворюються захисні плівки, що створюють дифузійний бар'єр. Виникнення таких плівок пояснює інгібуючий ефект, що спостерігається навіть на сталі, зануреній у 2,5% розчин NaCl, який містить кілька сотень міліграмів поліфосфату натрію на літр розчину.

Поліфосфати використовуються також при водопідготовці з метою запобігання відкладення карбонату кальцію, усунення випадання сполук заліза в нагрівачах та трубопроводах гарячої води. Найбільш ефективними є суміші поліфосфатів, особливо тетраполіфосфату з динатрійфосфатом та триполіфосфату з гексаметафосфатом.

У присутності фосфатів на поверхні заліза утворюється захисна плівка. Вона складається з гідроксиду заліза, ущільненого фосфатом заліза. Для більшого захисного ефекту фосфати часто використовуються в суміші з поліфосфатами. Мінімальна концентрація поліфосфату, необхідна для запобігання корозії малоуглецевих сталей, залежить від складу води і швидкості її руху. Для обробки прісних вод і вод, що містять хлориди, застосовують зазвичай від 0,5 до 100 мг/л, проте в більшості випадків обмежуються 10 мг/л або ще меншими концентраціями. Поліфосфати ефективні також при захисті від корозії сталі в морській воді (з 4000 мг/л). 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. За даними виробника, до таких інгібіторів відноситься орто-поліфосфатний інгібітор-реагент Сіквест («SeaQuest»). Реагент «SeaQuest» – натрієва сіль поліфосфатної кислоти (порошкоподібна суміш), суміш неорганічних поліфосфатів. Хімічна формула: $\text{Na}_{35}\text{H}_5\text{P}_{26}\text{O}_{85}$, виробник компанія Аква Смарт, Інк. («Aqua Smart Inc»), (www.aquasmartinc.com) на заводі, розташованому в м. Атланта, США. «SeaQuest» – це торгова марка, що представляє собою гранульовану форму суміші неорганічних фосфатів, які складаються приблизно з 25% ортофосфатів і 75% поліфосфатів.

«SeaQuest» безпечний при використанні в системах питного водопостачання і сертифікований NSF (National Sanitation Foundation – Агентство з сертифікації реагентів для застосування в питному водопостачанні США). «SeaQuest» дозволений для застосування в мережах господарсько-питного та гарячого водопостачання і теплопостачання: Свідоцтво Державної реєстрації на території Митного союзу № BY.70.06.01.013.E.006706.12.14.

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 Держс-

поживслужби України № 602-123-20-1/5600), виробництва ТОВ «Нанохімічні Технології» (Україна, м. Київ). Препарат «SeaQuest Liquid» являє собою водний розчин ортополіфосфатного препарату «SeaQuest» із додаванням консервуючих кількостей гіпохлориту натрію.

У Словенії пом'якшення питної води, для запобігання накопиченню накипу, здійснюється виключно в рамках систем питного водопостачання із використанням поліфосфатів, вміст яких у воді коливався в межах від 0,2 мг РО₄/л до 24,6 мг РО₄/л [1].

На теперішній час в Україні проведено дослідження на фільтрувальній станції водоочисних споруд Західного групового водогону КП «Облводоканал» Запорізької обласної ради (ФС ВОС ЗГВ КП «Облводоканал»), які показали, що існує ймовірний зв'язок між корозійною агресивністю і стабільністю питної води та інтенсивністю утворення ХОС (хлорорганічних сполук) на етапах підготовки води та під час її транспортування у 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 із 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 (загальне мікробне число), органолептичними показниками (кольоровістю, каламутністю, запахом, присмаком), вмістом заліза, цинку, перманганатною окиснюваністю, вмістом ТГМ (тригалогенметанів) тощо. Крім того, було показано [4, 5], що корозійна агресивність та стабільність води впливають на біологічну активність та ступінь токсичності ТГМ при їх надходженні з питною водою до організму піддослідних тварин та людини.

Дослідження, проведені на Часів-Ярській, Старокримській фільтрувальній станції №2, Західному гру-

повому водоводі Якимівка-Бердянськ, показали, що застосування для стабілізаційної обробки адекватних доз препарату «SeaQuest» дозволили привести корозійну агресивність обробленої води відповідно до вимог усіх діючих нормативних документів [5].

У Чернігівському державному технологічному університеті досліджено протикорозійну активність «SeaQuest» на зразках сталі, які витримували протягом 24 годин в інгібованих розчинах, а згодом перенесли на 10 днів у 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, 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 орто-поліфосфатний препарат «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5-40502222-001:2016). Склад препарату «SeaQuest Liquid» наведено в табл. 1, його основні показники – у табл. 2.

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 «SeaQuest» = 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 у MAGX2 використовували стандартну micro Secure Digital card.

Таблиця 1. Склад препарату «SeaQuest Liquid»

Table 1. The composition of the "SeaQuest Liquid" preparation

Компоненти препарату	Масова частка компонентів у 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

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники препарату «SeaQuest Liquid»
Table 2. Physico-chemical parameters of the "SeaQuest Liquid" preparation

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Зовнішній вигляд	Прозора рідина без кольору, зі слабким запахом, без сторонніх включень (допускається незначне помутніння)
2	Густина за температури 20°C, г/дм ³	1,250-1,350
3	pH водного розчину з масовою долею основної речовини 30% за температури 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

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

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

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

Оцінку швидкості корозії металу трубопроводу проводили на основі короточасних корозійних випробувань зразків металу, ідентичного металу трубопроводів, за допомогою корозійних зондів гравіметричним методом за втратою маси зразків. Площу плоских прямокутних зразків із двома отворами розраховують за формулою

$$S = 2(ab+bc+ac) + \pi d(ac-d), \quad (1),$$

де a, b, c – розміри сторін зразка (від більшої до меншої), мм; d – діаметр отворів, мм; S – площа зразка, мм².

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

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

$$Pr = \frac{8,76 \cdot 10^4 (m_1 - m_2)}{Stp} \quad (2),$$

де Pr – швидкість корозії матеріалу, мм/рік; m₁, m₂ – 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. У таблиці 3 наведено результати розрахунку корозійної активності води, виконаного в ІВПіМ НААН на основі хімічного аналізу показників якості води, що забирається із 29 свердловин на об'єкті досліджень. Як видно із таблиці 1, індекси Ланжельє, отримані за допомогою розрахункових формул у всіх точках відбору проб води, знаходяться у межах від -0,89 до -1,77, що свідчить про суцільну і суттєву корозійну активність води в зазначених точках.

Слід підкреслити, що вода, отримана шляхом поєднання води з водозабірних свердловин і дніпровської води, більш корозійно активна, ніж вода самих свердловин, про що свідчать індекси Ланжельє, отримані із аналізів проб води. Це пояснюється підвищенням вмісту кисню у такій суміші води. Індекс Різнера у всіх пробах знаходиться у межах від 7,8 до 8,8, що вказує на суттєву корозію трубопроводів. Особливо це характерно для води свердловини № 232, індекс Різнера якої становить 9,58, що вказує на загрозу корозії трубопроводу.

Таблиця 3. Результати розрахунків індексів Ланжельє, Різнера та rH_2 Table 3. The results of calculations of the Langelier, Riesner and rH_2

№ з/п	№ свердл.	Індекс Ланжельє $I_{L_{ng}}$ за номограмами	Індекс Різнера (IP)	Індекс Ланжельє $I_{L_{ng}}$ розрахункове	rH_2 за Труфановим	rH_2 за Кларком
1	2	3	4	5	6	7
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
1	2	3	4	5	6	7
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

Показники rH_2 у всіх пробах, розрахованих 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 для продовження

їх терміну експлуатації є стабілізація води шляхом обробки її інгібіторами корозії.

За результатами досліджень встановлено, що якість водопровідної питної води, до якої регулярно в застосовуваних дозах (від 1,0 до 3,0 мг/дм³) додавався препарат «SeaQuest Liquid», за органолептичними показниками (запах, присмак, каламутність, забарвленість) у динаміці коливалася в усіх точках відбору проб для кожного інгредієнта в межах нормативних значень та навіть при максимальних дозах реагенту залишалась стабільно високою і за середніми даними становила для каламутності 0,37±0,06 НОК, забарвленості 8,6±0,2 градуси, запах та присмак 0,4±0,04 бали.

За усіх 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 рН води становив 7,67±0,01 од. рН, загальна жорсткість складала

4,3±0,03 та загальна лужність – 4,4±0,05 ммоль/дм³, вміст кальцію становив 58,6±0,7 мг/дм³, магнію – 16,1±0,2 мг/дм³, гідрокарбонатів – 261,4±4,8 мг/дм³, марганцю <0,01 мг/дм³, сульфатів – 21,9±1,2 мг/дм³, хлоридів – 44,3±1,4 мг/дм³, натрію та калію – 44,0±2,0 мг/дм³, хлору залишкового – 0,35±0,02 мг/дм³, загальна мінералізація – 459,9±15,1 мг/дм³.

Протягом періоду спостереження якості обробленої ортополіфосфатним препаратом «SeaQuest Liquid» води здебільшого відповідає вимогам гігієнічних нормативів ДСанПіН 2.2.4.171-10 за винятком періодичних коливань понаднормованого вмісту заліза. В окремих пробах води, особливо в точках відбору № 2, 4, 6, 7 та 11 вміст у воді заліза перевищував гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³) у 6, 4, 3, 5 та 10 разів відповідно 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 згодом проходить процес пасивації сталі.

Санітарно-токсикологічні показники якості водопровідної питної води за неорганічними та органічни-

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

У досліджуваних зразках питної води рівні речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), коливались у різних точках відбору проб, не погіршуючи її якості, та, зокрема, за поліфосфатами знаходились у межах нормативних значень. Під дією препарату «SeaQuest Liquid» у воді, яка оброблена гіпохлоритом натрію, спостерігалось зменшення індексу Ланжельє: з -2,23 до -2,08 на вході і з -1,79 до -1,70 на виході, що свідчить про зниження її корозійної активності. У воді, необробленій гіпохлоритом натрію, під впливом препарату «SeaQuest Liquid» спостерігалось деяке зростання індексу Ланжельє: з -1,80 до -1,95; з -1,85 до -2,78; з -2,01 до -2,13, що свідчить про зростання її корозійної активності.

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

Таблиця 4. Вплив препарату «SeaQuest Liquid» на швидкість корозії.

Table 4. The effect of the "SeaQuest Liquid" preparation on the corrosion rate.

Місце виїмки зразків	Втрата маси зразків Δm, г у воді:		Втрата маси зразків Δm, % у воді:		Швидкість корозії Km, 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	-

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 є характерним для підземних вод свердловин. Так, для свердловини № 182 це підвищення складає 2,87 раза, для свердловини № 232 – 5,28 раза, для свердловини № 242 – 7,15 раза.

Швидкість корозії в трубопроводі на території НС - 1, який містив реагент «SeaQuest Liquid», у 1,47 раза перевищує швидкість корозії в трубопроводі без реагенту. Швидкість корозії в напірних трубопроводах машзалу НС-2 в 2,91-3,42 раза перевищує швидкість корозії в напірних трубопроводах машзалу НС-1, в яких проводилась промивка висококонцентрованим розчином гіпохлориту 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).



Рисунок 1. Зовнішній вигляд зразків після витримки у підземній воді свердловин

Figure 1. Appearance of samples after exposure to groundwater wells

Як відомо, для гідроксиду заліза (іржа) характерний світло-коричневий колір, чорний – для сульфіду заліза (пірит). Характер відкладень на поверхні зразків теж різний: світло-коричневі відкладення більш щільні, пластинчаті, чорні – пухкі, які легко видаляються з поверхні. Отримані результати дозволяють припустити наступний механізм корозійного процесу. Препарат «SeaQuest Liquid» каталізує мікробіологічну корозію, спричинену сульфатредуючими тіобактеріями. Схема корозії заліза, яка відбувається в присутності бактеріальних клітин, наділених мембранно сполученими гідрогеназами (на прикладі сульфатредуючих), наведено на рис. 2.

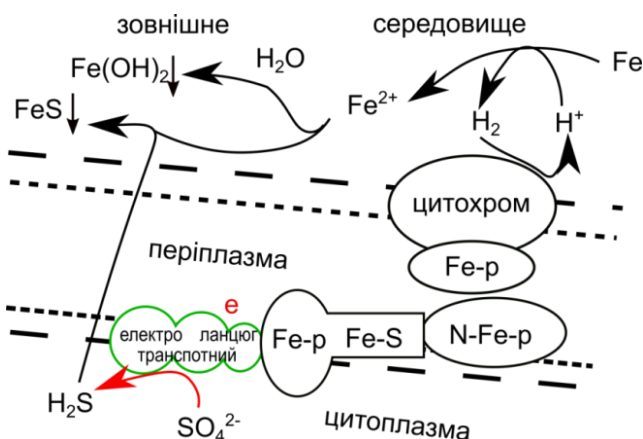
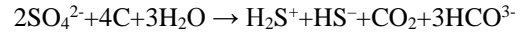


Рисунок 2. Мембранна гідрогеназа і корозія заліза.
Figure 2. Membrane hydrogenase and corrosion of iron.

За відсутності препарату осередки корозії не пов'язані з присутністю мікроорганізмів, а виникають у результаті процесу хімічної корозії з утворенням гідроксиду заліза. Зміна середовища в результаті вве-

дення у воду препарату «SeaQuest Liquid» сприяла розвитку мікроорганізмів. У свою чергу, в процесі життєдіяльності мікроорганізми накопичили реагенти, що стимулюють біологічний корозійний процес. Відомо, що наявність клітин сульфатредуючих тіобактерій є джерелом біогенного сірководню. Процес іде за загальною схемою:



Сірководень, реагуючи з металом, утворює сульфід заліза. Поверхня металу піддається пітінговій і виразковій корозії. Виразки покриваються зверху пухкими продуктами корозії, які переважно складаються з сульфіду 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 сульфіду 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, окислюється до елементарної сірки. Шари різного кольору, як наслідок симбіозу хімічної та біологічної корозії, можна спостерігати на зразках, які витримували в напірному трубопроводі NS-2 (рис. 3).



Рисунок 3. Зовнішній вигляд зразків після витримки в напірному трубопроводі NS-2.

Figure 3. Appearance of samples after exposure in the pressure pipeline NS-2

Привертає увагу той факт, 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 насос-

них 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. 4).

Особливо наочно демонструють вплив препарату «SeaQuest Liquid» на розвиток хемолітотрофних мікроорганізмів зразки, які витримували у середовищі, що містило суміш підземної та річкової (р. Десна) вод (рис. 5).



Рисунок 4. Загальний вигляд зразків після витримки в напірному трубопроводі НС -1.

Figure 4. General view of the samples after exposure in the pressure pipeline NS -1.



Рисунок 5. Загальний вигляд зразків після витримки в суміші підземної і річкової вод.

Figure 5. General view of the samples after aging in a mixture of groundwater and river water

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, 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). У зразках питної води рівні речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), коливались у різних точках відбору проб та знаходились у 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 раза; за умови додаткового знезараження води в режимі санітарної обробки гіпохлоритом натрію він знижує цей показник у 1,4-2,7 раза. 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, необробленій 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.

Література

1. Загороднюк К.Ю., Бардов В.Г., Омельчук С.Т. та ін. Гігієнічне обґрунтування необхідності та шляхів модернізації комунальних систем централізованого водопостачання України. Довкілля та здоров'я. 2016. № 1 (77). С. 48-54.
2. Загороднюк Ю.В., Омельчук С.Т., Кравчук А.П. та ін. Коррозионная агрессивность воды как один из основных показателей качества питьевой воды и ее нормативное регулирование в Украине. Водопостачання та водовідведення. 2009. № 4. С. 26-33.
3. Загороднюк К.Ю., Омельчук С.Т., Нікіпелова О.М., Загороднюк Ю.В. Токсиколого-гігієнічна оцінка питної води Західної фільтрувальної станції ТОВ «Луганськвода» до та після стабілізаційної обробки препаратом «Sea-Quest». Сучасні проблеми токсикології. 2011. № 5. С. 178-179.
4. 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.
5. 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.

References

1. Zahorodniuk K.Iu., Bardov V.H., Omelchuk S.T. ta insh. (2016), Environment & health, Dovkillia ta zdorovia, Kiev, UA № 1 (77). p. 48.
2. Zahorodniuk Yu.V., Omelchuk S.T., Kravchuk A.P. ta insh. (2009). Vodopostachannia ta vodovidvedennia, Kiev, UA № 4. p. 26.
3. Zahorodniuk K.Iu., Omelchuk S.T., Nikipielova O.M., Zahorodniuk Yu.V. (2011). Suchasni problemy toksykologii, Kiev, UA № 5. p. 178.
4. Zahorodniuk K.Iu., Omelchuk S.T., Zahorodniuk Yu.V. (2012). St. Peterburh, RU, № 2, 3. p. 35.
5. Jereb G, Poljšak B., Eržen I. (2017). International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol. 14 (10). p. 1186.

INFLUENCE OF HEMOLITOTROPHIC MICROBIOTA ON THE EFFICIENCY OF ANTICORROSIVE TREATMENT OF STEEL PIPELINES WITH ORTHO-POLYPHOSPHATE REAGENTS ON THE EXAMPLE OF "SEA QUEST LIQUID"

E. Matselyuk, D. Charny, , Kovalenko O., O. Kovalenko, Yu. Onanko, S. Marisik.

E. Matelyuk, Ph.D. (Technical Sciences), Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine, ORCID:0000-0001- 9960 - 6333, evgen1523@ukr.net

D. Charny, D.Sc. (Technical Sciences), Institute of Water Problems and Reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine, ORCID:0000-0001-6150-6433, dmitriych10@gmail.com

O. Kovalenko, Ph.D. (Technical Sciences), Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine, ORCID:0000-0002-2047-8859; e-mail: aleksandr55kovakenko@gmail.com

Yu. Onanko, Graduate Student, Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine, ORCID:0000-0002-7231-1188, yaonanko1@gmail.com

S. Marysyk, Graduate Student, Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS, Kyiv, Ukraine, ORCID:0000-0002-0100-7787, sergsi.marisik@ukr.net

It is noted that the overwhelming majority of water supply systems operating in Ukraine are made of steel or cast iron, which are subject to corrosion. It has been established that/ one of the ways to reduce the corrosiveness of drinking water is the use of an orthopolyphosphate preparation "SeaQuest Liquid" (TU U 20.5-V 0502222-001:2017). The results of studies of the effect of the "SeaQuest Liquid" preparation on organoleptic and physicochemical indicators of drinking water are presented. It was determined that the treatment of tap drinking water with the "SeaQuest Liquid" preparation does not affect organoleptic indicators, 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 levels of substances that make up the "SeaQuest Liquid" preparation (polyphosphates, orthophosphates) were within the normative values. The quality of water treated with the "SeaQuest Liquid" orthophosphate preparation, according to 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 mg/dm³) and went beyond the maximum permissible level (1.0 mg/dm³). 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 influence of the "SeaQuest Liquid" preparation, 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 corrosiveness. In the presence of sulphate-reducing and thiobacteria in water, the "SeaQuest Liquid" preparation increases the corrosion rate of steel by 2,9-7,2 times; subject to additional disinfection of water with sodium hypochlorite, it reduces this indicator by 1,4-2,7 times.

Keywords: corrosion, protection, water, pipeline, iron, orthopolyphosphates, thiobacteria.