

**В. Ю. Сухенко**

Черкаський державний технологічний університет;  
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

**Л. Ю. Авдєєва**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

**І. І. Осипенкова, Ю. М. Куриленко**

Черкаський державний технологічний університет

## ЗАХИСТ РОЗСІЛЬНИХ СИСТЕМ ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ

Об'єктом дослідження є ропні системи, які знайшли дуже широке використання на промислових, торгових підприємствах, у холодильниках на харчових підприємствах по виробництву морозива, в бродильній, пивоварній і молочній промисловості. Також це обладнання широко використовується у м'ясній, винній, лікєро-горілчаній та інших галузях харчової промисловості. У цих системах для виготовлення трубопроводів аміачних та фреонових холодильних машин великої і середньої продуктивності, водяних і ропних трубопроводів застосовують безшовні труби із сталей марок Ст. 3 та Сталь 20. Одним з найбільш проблемних місць є низький термін служби цього технологічного обладнання. Наприклад, час появи наскрізних руйнувань, під дією холодної ропи коливається в межах 0,5–3 роки. А навіть широке використання у харчовій промисловості «нержавіючих» сталей типу 12Х18Н9Т іноді не дає нам бажаних результатів, тому що вони піддаються корозійному розтріскуванню і не можуть повністю виконати покладених на них технологічних задач. В ході дослідження використовувалися методи гравіметричних досліджень корозійної стійкості вуглецевих сталей. Гравіметричним (ваговим) аналізом користувались при визначенні кількісного хімічного аналізу, який базувався на точному вимірюванні маси речовини, яку ми застосовували та її складових частин, застосованих в хімічно чистому стані або у вигляді сполук постійного складу. Це один з найважливіших методів кількісного аналізу, який відіграв значну роль при встановленні законів постійності складу хімічних речовин та його застосування при визначенні хімічного складу найрізноманітніших природних і технічних об'єктів, в нашому випадку, мінералів, металів, сплавів, неорганічних і органічних речовин. Запропонований метод дозволяє в тому числі, використовувати його і як арбітражний метод аналізу, якщо інші дають сумнівні результати. Метод оцінки ефективності інгібування в корозійних системах заснований на вимірі миттєвої швидкості корозії металу по поляризаційному опору за допомогою корозійно-вимірювального пристрою, що складається з датчиків, розташованих на відповідних ділянках комунікації або в пробах інгібованого середовища, і корозиметра. Отримані результати апробації методу досліджень дозволяють вважати його ефективним інструментом отримання об'єктивної інформації. Це пов'язано з тим, що однокомпонентні інгібітори часто не мають достатньої ефективності. Наприклад, випробування синергетичних інгібіторних композицій на основі уротропіну та гідроксиду натрію з додатками нітрату натрію та білкового відстою показали, що синергізм основного компонента та добавки спостерігається не для всіх досліджених композицій. При додаванні до 1 г/л NaOH білкового відстою ступінь захисту в питній воді зростає і становить 99,2%, тоді як ступінь захисту чистого NaOH становить 98,8%.

**Ключові слова:** захист, корозія, інгібітор, розсільна система, харчові підприємства, екологія, теплообмін.

**Постановка проблеми та її актуальність.** При всьому різноманітті методів підвищення довговічності технологічного та додаткового обладнання переробних і харчових виробництв, усунення суттєвого впливу корозійного руйнування особливе місце посідають інгібітори. Вони ефективні, універсальні, економічні, прості для застосування. Мають властивості захисту в кислих, лужних та нейтральних середовищах.

Харчова та переробна промисловість має у своєму складі відкриті та закриті системи циркуляції розсолів, системи охолодження та нагрівання для пастеризації та теплової обробки, кондиціонування повітря, дезинфікуючих та миючих розчинів, що мають в своєму складі різні кислоти, луги, які в свою чергу піддаються в процесі інтенсивної експлуатації корозійним процесам, що неодмінно має негативний вплив

на їх працездатність, надійність, ремонтпридатність [1, с. 3; 2, с. 507].

Ропні системи знайшли широке використання на промислових, торгових підприємствах – холодильниках, на харчових підприємствах по виробництву морозива, в бродильній і молочній, м'ясній, винній та інших галузях промисловості. Для виготовлення трубопроводів аміачних та фреонових холодильних машин великої і середньої продуктивності, водяних і ропних трубопроводів застосовують безшовні труби із сталей марок Ст. 3 та Сталь 20.

Термін служби обладнання до появи наскрізних руйнувань під дією холодної ропи коливається в межах 0,5–3 роки.

Застосування у харчовій промисловості нержавіючих сталей типу 12Х18Н9Т часто не дає нам бажаних

результатів, тому що вони піддаються корозійному розтріскуванню (рис. 1).

Маємо зауважити, що сталі марок X17H13M3T і X17H13M2T на заміну є стійкішими у ропах, але мають значно вищу вартість і є дефіцитними [3, с. 16].

Тому інгібітори та інгібовані матеріали доцільно застосовувати для захисту теплообмінного, ємкісного обладнання при його очищенні кислотними розчинами від різних нашарувань та відкладень безпосередньо у холодильно-компресорному обладнанні.

Також до цього списку можна занести і металеві конструкції цехів та підприємств, зовнішніх поверхонь трубопроводів, резервуарів, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості апаратів у деяких технологічних середовищах та технологічних процесів поверхні

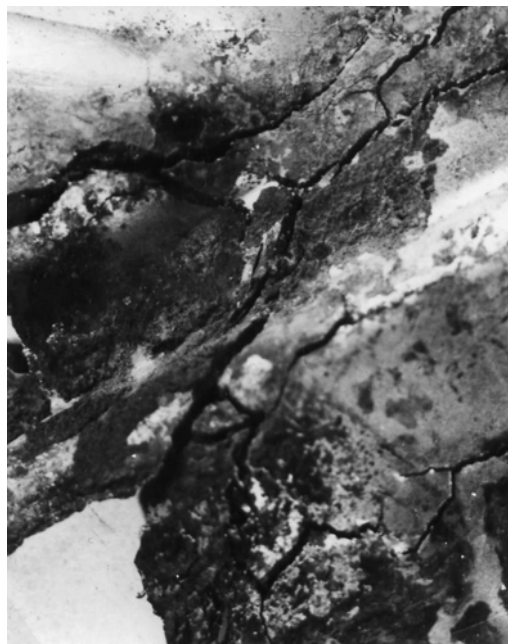
апаратів, ємностей, цистерн під гумування, покриття емаллю та фарбами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Залежно від типу та складу технологічного середовища застосовуються інгібітори для кислих середовищ (мінеральні та органічні кислоти, кислі технологічні розчини, розчини для видалення різних відкладень із поверхні теплообмінників тощо); для захисту від атмосферної корозії; для органічних середовищ (спиртові розчини); для водних та водно-сольових середовищ (водооборотні системи, системи охолодження, розсоліпроводи тощо).

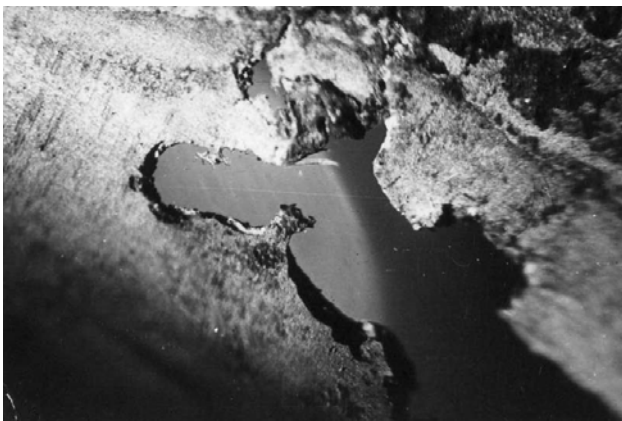
Існує деяка специфічність використання інгібітору, а саме рекомендований для конкретного середовища та матеріалу, не можна застосовувати для іншого середо-



а



б,  $\times 2$



в,  $\times 4$



г,  $\times 4$

**Рисунок 1 – Вражені корозією фрагменти пластин П-2 із легованої сталі 12X18H9T пастеризаційно-охолоджувальної установки ОПУ-15 (2000 год. експлуатації на молочному заводі у м. Києві) під дією ропи: а – загальний вигляд; б – фрагмент поверхні біля гумового ущільнення; в, г – втомне міжкристалітне руйнування та фретинг-корозія**

вища або іншого матеріалу. Ефективність захисної дії інгібітору значною мірою залежить від ретельності приготування рекомендованих концентрацій інгібітору, технології його введення в технологічне середовище або захисний матеріал, температурного інтервалу, в якому проявляється його ефективність, гідродинамічних умов переміщення потоків [4, с. 71; 5, с. 94; 6, с. 102; 7, с.51; 8, с. 67; 9, с. 232].

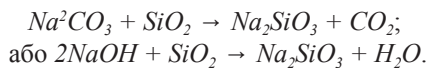
Відомими є два типи інгібіторів. Анодними вважаються інгібітори, які пригнічують анодну реакцію. Такі інгібітори реагують з первинними продуктами корозії з утворенням плівки, що важко розчиняється, міцно адгезійно пов'язаної з металевою поверхнею. Плівка перешкоджає безпосередньому контакту агресивного розчину з поверхнею металу, тим самим припиняючи його розчинення [10, с. 45; 11, с. 21].

Навпаки, катодні інгібітори пригнічують катодні реакції. При цьому з'являються опади, що покривають поверхню катодних ділянок і таким чином припиняють катодні реакції. Захист у цьому випадку є непрямим, тоді як анодні інгібітори безпосередньо запобігають корозії металу. Бувають також інгібітори змішаної дії [12, с. 63; 13, с. 4].

**Мета статті.** Авторами досліджено вплив температур на стабільність дії окремих компонентів інгібітору корозії та комбінованого інгібітору. Також досліджувалась ефективність синергетичних композицій ІГК-1 та ІГК-2, та вплив температурних градієнтів на їх стабільність та самого механізму інгібування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як інгібітори корозії для теплоносіїв у харчовій промисловості досліджувалися речовини, які нетоксичні та безпечні для навколишнього середовища. У ряді випадків, як компоненти інгібованих систем, служили відходи промислових підприємств. Тим самим переслідуються дві мети, з одного боку утилізація відходів, а з іншого використання їх для захисту від корозії технологічних систем харчової та переробної промисловості. Характеристика речовин для створення інгібованих систем для тепло та холодоносіїв виглядає наступним чином.

Метасилікат натрію ( $Na_2O \rightarrow SiO_2$ ) являє собою натрієву сіль метакремнієвої кислоти ( $MeSiO_3$ ), отриману одним із способів:



Інгібітор КІ-1 – суміш, яка складається, %: катапіна 25, уротропіна 25, концентрованої соляної кислоти 25, води 25. Оптимальна концентрація КІ-1 – 1,2 г/л.

$ZnOEDF$  – кристалічний порошок білого кольору, легко розчинний у воді, є цинковим комплексом 1 – оксиетілідендіфосфонової кислоти. Застосовується в теплоенергетиці, як засіб проти утворення накипі.

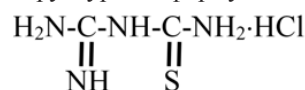
Гідроксид кальцію  $Ca(OH)_2$  – у звичайних умовах білий порошок із щільністю 2,078 г/см<sup>3</sup>, не втрачає гідратної води при нагріванні до 373К, погано розчинний у воді, на повітрі поглинає діоксид вуглецю.

Діамонійфосфат (ДМФ) утворюється з поліфосфорної кислоти, містить 25–40% поліфосфатів, які спільно

з продуктами корозії створюють щільніші кристалічні шари з рівномірною упаковкою.

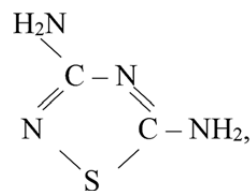
Приклади використання рослинних інгібіторів корозії були відомі і раніше [2]. Як об'єкти досліджень використані також розроблені нами нетоксичні екологічні інгібітори корозії на основі відходів пивоварного виробництва: ІГК-1, містить 0,2% мас. білкового відстою та 0,2% мас.  $NaOH$ , ІГК-2 – 0,1% мас. пивної дробини та 0,2% мас.  $NaOH$ ; ІГК-3 – 0,2% мас. білкового відстою і 0,13% мас. гідроксиду кальцію.

Досліджено також і інші компоненти інгібіторних композицій, а саме: агрімус – відхід виробництва гідролізно-фурфурольного цеху, що працює за схемою «Агріфуран»; гідроксид цинка – відходи поліграфічного виробництва, жовтуватий дрібнодисперсний розчин; гутімін зі структурною формулою:



Температура його плавлення 446-449 К, важкорозчинний у воді.

Амтізол (3,5 – діаміно – 1,2,4 – тіадиазол), який отриманий окисленням гутіміна з наступною структурною формулою:



Температура плавлення 439-442 К, гранично допустима концентрація ГДК – 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

Інгібітор ТДА – кубовий залишок толуолдіаміна (ТДА), отриманий при дистиляції 2,4 і 2,6 толуолдіаміна. Склад кубового залишку ТДА наступний, %: несиметричні ізомери – 2,0; толуолдіамін – 0,6; тринітротолуол – 0,2; неорганічні сполуки нікелю – 14,0; високомолекулярні органічні сполуки – 83,2.

Інгібітор ХОСП-10 призначений для корозійного захисту, наводнювання та корозійно-механичних руйнувань вуглецевих сталей в технологічних розчинах сірчаної, соляної та органічних кислот.

Інгібітор пасибіт, являє собою суміш органічних з'єднань, дуже добре розчинний у водних розчинах кислот та виробляється в Угорщині.

**Дослідна частина.** Дослідження інгібіторів проводились у питній та дистильованій воді.

Для сумішей інгібіторів нами було встановлено три ефекту взаємодії: ефект синергізму – взаємного підсилення захисних властивостей, ефект адеативності, ефект антагонізму – взаємного послаблення.

В рамках гравіметричних досліджень корозійної стійкості вуглецевих сталей визначені найбільш ефективні інгібітори для питної води:  $Ca(OH)_2$ , ІГК-1, ІГК-2, ІГК-3; для конденсату: ІГК-1, ІГК-2, ІГК-3. Розом з цими інгібіторами та різноманітними інгібіючими добавками були проведені дослідження на вза-



емний вплив. В якості інгібуючих домішок використовували агрімус, гутимін, амтізол, ДМФ, ZnOEDФ, Zn(OH)<sub>2</sub>, білковий відстій.

При дослідженні впливу гутиміну на захисні властивості інгібіторів в питній воді встановлено, що сама взаємодія з Ca(OH)<sub>2</sub> концентраціями до 0,3% мас. ярко виражений антагонізм; при концентрації 0,4% мас. виявляється процес синергізму, при збільшенні концентрації інгібуючої добавки вище за 0,4% мас. Ступінь захисту знижується. З іншими інгібіторами (ІГК-2, ІГК-3) швидкість корозії збільшується, особливо це спостерігається з інгібітором ІГК-3.

Вивчався також вплив гутиміна на ступень захисту інгібіторів в конденсаті. При додаванні гутиміна в ІГК-1 був виявлений антагонізм, особливо за концентрації 0,1% мас. При взаємодії з інгібітором ІГК-3 відбувається поступове часткове зниження ступеню захисту. Найбільше збільшення швидкості корозії спостерігалось нами при концентрації гутиміну від 0,4% до 0,5% мас. Характер взаємодії ІГК-2 з гутиміном суттєво може різнитись та залежить від концентрації інгібуючої добавки. При концентрації 0,2% мас. У суміші інгібіторів спостерігається синергетичний ефект ( $Z = 84\%$ ). При підвищенні концентрації гутиміна спостерігається зниження ступіню захисту.

**Лабораторні дослідження впливу ZnOEDФ на захисні властивості в питній воді.** Ca(OH)<sub>2</sub> має синергетичні властивості в композиції з ZnOEDФ. При концентрації ZnOEDФ 0,5% мас. Ступінь захисту складає 91%, що вже більше захисного ефекту Ca(OH)<sub>2</sub> без інгібіторної добавки, який складає 89%. ZnOEDФ у суміші з інгібіторами ІГК-2, ІГК-3 значно знижує ступінь їх захисту. Цей ефект найбільш сильно виражений у суміші з ІГК-2 (при концентрації 0,1 і 0,2% мас. захисний ефект складає всього 4–9%).

**Вивчено також вплив ZnOEDФ на захисні властивості інгібіторів в конденсатах.** З інгібітором ІГК-2 визначається антагонізм, причому зі збільшенням концентрації інгібуючої добавки спостерігається лінійна залежність зниження ступеня захисту. З ІГК-1 та ІГК-3 нами виявлено деяке збільшення захисного ефекту, але воно є незначним.

При введенні амтізолу в питну воду синергізм проявляється лише у суміші амтізолу з інгібітором ІГК-2 при концентрації 0,4% мас. ( $Z = 88\%$ ). При взаємодії з іншими інгібіторами відбувається пониження ступені захисту і відповідно збільшення швидкості корозії. В конденсаті синергізм проявляється у суміші з інгібітором ІГК-3 при концентрації 0,1% мас ( $Z = 96\%$ ), а з підвищенням його вмісту ступінь захисту знижується. З інгібітором ІГК-1 проявляється антагонізм.

При дослідженні впливу Zn(OH)<sub>2</sub> на захисні властивості інгібіторів корозії у питній воді встановлено, що ефект синергізму проявляється при впливі Zn(OH)<sub>2</sub> разом з Ca(OH)<sub>2</sub>, коли концентрація Zn(OH)<sub>2</sub> складає 0,2% мас. ( $Z = 91\%$ ). При взаємодії з інгібіторами ІГК-2 і ІГК-3 був виявлений антагонізм. В конденсаті Zn(OH)<sub>2</sub> в суміші зі всіма інгібіторами

знижує ступінь захисту, особливо при концентрації 0,1%, 0,3% мас. Та вище. При взаємодії з ІГК-1 зі збільшенням концентрації відбувається деяке збільшення ступені захисту, але воно є незначним.

Дослідження взаємодії з білковим відстоєм проведено у питній воді з інгібіторами Ca(OH)<sub>2</sub> і ІГК-2, в конденсаті з інгібітором ІГК-2. З рештою інгібіторів дослідження не походилися, оскільки до складу цих інгібіторів входить білковий відстій. Аналізуючи результати дослідження у середовищах можна дійти невтішного висновку, що з інгібітором Ca(OH)<sub>2</sub> проявляється ефект синергізму при концентрації білкового відстою 0,2%.

При збільшенні концентрації ступінь захисту суттєво знижується. При дослідженнях з інгібітором ІГК-2 у питній воді ефект синергізму спостерігається при концентраціях 0,3% – 0,5% мас. У суміші з інгібітором ІГК-2 у конденсаті при вмісті білкового відстою 0,1% мас. захисний ефект знижується, але зі збільшенням концентрації ступінь захисту збільшується і проявляється ефект синергізму.

Соляна кислота є найефективнішим реагентом для приготування кислот промивних розчинів для теплоенергетичного обладнання. З використанням водневого корозиметра вивчено вплив інгібованої соляної кислоти на стійкість корозійної сталі. При цьому використовувалися такі інгібітори: ТДА (0,2% мас.), KI-1 (0,15%), пасибіт (0,3%), ХОСП-10 (0,025% мас.).

Найкращі результати показали інгібітори ТДА і KI-1 у суміші з 5%-ою соляною кислотою. Протягом 1 години після занурення зразків на них формується захисна плівка, яка стабілізує корозію сталі. Інгібітори ХОСП-10 та пасибіт також показали позитивні результати – на зразках утворюються захисні плівки протягом 2 год (рис. 2).

У 5%-му розчині соляної кислоти швидкість корозії сталі 20 збільшується лінійно, що свідчить про недоцільність застосування неінгібованих розчинів соляної кислоти для промивання котлів, трубопроводів та теплообмінних апаратів харчових та переробних підприємств.

У холодильно-компресорних установках підприємств у якості як холодоносіїв використовують розчини солей хлориду натрію або хлориду кальцію. Ці розчини піддають сольовій корозії розсільні трубопроводи, насоси, батареї охолодження, випарники, запірну арматуру. Швидкість сольової корозії знижується із зменшенням кислотності розсолу та вмісту в ньому кисню. Проведено дослідження для пошуку ефективних інгібіторів, що знижують корозійні руйнування в цих середовищах.

Корозійними середовищами служили 15% розчини хлоридів кальцію та натрію. Як інгібітори досліджено гідроксид натрію та дворомовокислий кальцій. У табл. 2 наведено експериментальні дані щодо вивчення захисної дії гідроксиду натрію та дворомовокислого кальцію при витримці зразків у розчині протягом 24-х годин за температури 293 К.

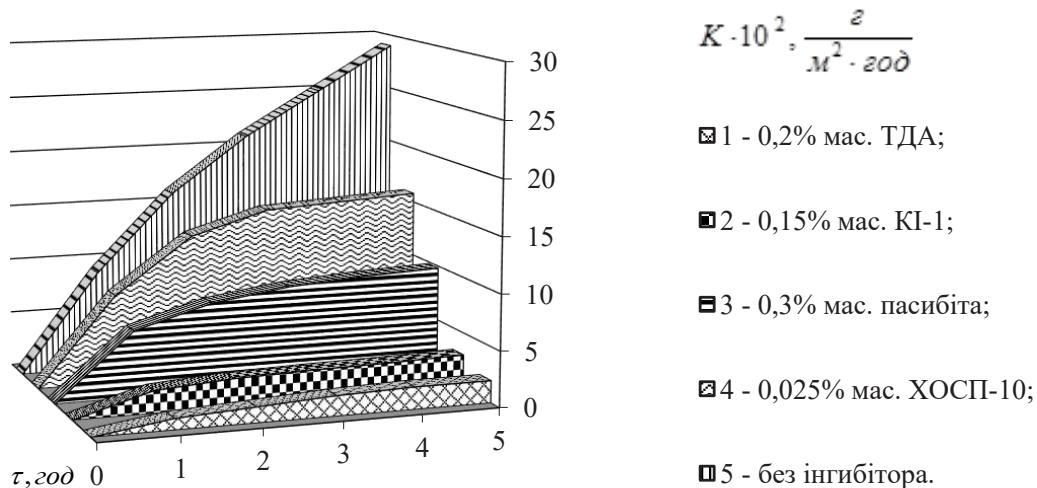


Рисунок 2 – Вплив інгібіторів на корозію сталі 20 ( $K=102, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) в залежності від часу витримки ( $\tau$ , год) в 5%-вій соляній кислоті

Таблиця 1 – Вплив інгібіторів на корозію сталі Ст 3 в 15%-их розчинах  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaCl}$

Середовище	Інгібітор	C, г/л	$Dm_{inc}$ , г	K, г/( $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ )	Z, %
15% розчин $\text{CaCl}_2$	Двохромовокислий кальцій	0,1	0,000220	0,0135	61,4
		0,2	0,000150	0,0092	72,7
		0,5	0,000350	0,0214	36,5
		0,8	0,000400	0,0245	27,3
		1,0	0,000300	0,0184	45,4
		1,5	0,000775	0,0475	0
		2,0	0,000850	0,0520	0
Те ж	Гідроксид натрію	0,2	-0,000150	0	100
		0,5	-0,000350	0	100
		0,8	-0,000175	0	100
		1,0	0,000375	0,0230	32,4
		1,5	0,000575	0,0350	0
Те ж	Без інгібітора	-	0,000550	0,0337	-
	Двохромовокислий кальцій	0,2	0,007580	0,4640	0
		0,5	0,006675	0,4090	0
		0,8	0,012050	0,7380	0
		1,0	0,012750	0,7810	0
		1,5	0,013730	0,8410	0
		2,0	0,012700	0,7780	0
15% розчин $\text{NaCl}$	Гідроксид натрію	0,2	0,009750	0,5970	0
		0,5	0,009550	0,5900	0
		0,8	0,006050	0,3700	0
		1,0	0,003375	0,2100	19,2
		1,5	0,005675	0,3477	0
		2,0	0,004400	0,2696	0
		2,5	-0,002175	0	100
		3,0	-0,001100	0	100
	Без інгібітора	-	0,004250	0,260	-

З таблиці 2 видно, що найбільш ефективним у досліджених розсолах є гідроксид натрію. В 15%-му розчині  $\text{CaCl}_2$  при додаванні 0,2 – 0,5 г/л  $\text{NaOH}$  утворюється важкорозчинна плівка, що захищає метал від корозії. В 15%-му розчині  $\text{NaCl}$  захисна плівка утворюється при введенні інгібітору  $\text{NaOH}$  з концентрацією 2,5–3,0 %.

**Висновки.** Запропоновані інгібітори можна рекомендувати захист розсілювальних систем харчових та переробних підприємств. Наприклад, інгібітори корозії ІГК-1 і ІГК-2 мають не тільки стабільність захисних властивостей при зміні температури, але й забезпечують стабільність інгібування вуглецевих сталей у питній воді протягом 600 годин без додаткового дозу-

вання інгібітора в середовище. Позитивним напрямком дослідження є і те, що розроблені нами нетоксичні та екологічні інгібітори корозії на основі відходів пивоварного виробництва: ІГК-1, які у своєму складі містять 0,2% мас. білкового відстою та 0,2% мас. *NaOH*,

а також інгібітор ІГК-2 – 0,1% мас. пивної дробини та 0,2% мас. *NaOH*; ІГК-3 – 0,2% мас. білкового відстою і 0,13% мас. гідроксиду кальцію, що сприяє при їх використанні відсутністю негативного впливу на навколишнє середовище.

**Список використаних джерел:**

1. A Theoretical Model for Metal Corrosion Degradation David V. Svintradze1, Ramana M. Pidaparti Volume 2010 Hindawi Publishing Corporation. *International Journal of Corrosion*. Volume 2010, Article ID 279540, 7 pages DOI: <https://doi.org/10.1155/2010/279540>.
2. Sukhenko, Y.; Sukhenko, V.; Mushtruk, M.; Litvinenko, A. Mathematical model of corrosive-mechanic wear materials in technological medium of food industry. *Lecture Notes in Mechanical Engineering Pages*. 2019. P. 507–514. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_53).
3. Сухенко В. Ю. Науково-технічні основи м'ясопобірювальних процесів переробних підприємств АПК: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.18.12/ Націон. ун.-т харч. технологій. Київ, 2015. С. 47. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.
4. Тищенко Г., Лещинский И., Коптиль А., Сухенко В. Исследование экологических свойств ингибированных средств противокоррозионной защиты. *Материалы международного симпозиума «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке»*. Днепропетровск, 29–31 января. 2001. С. 71–72.
5. Роменский Н. П., Шелист П. А., Хелемский С. М. Противокоррозионная защита оборудования пищевой промышленности: Справочник. Киев : Урожай, 1986. 160 с.
6. Сухенко В. Ю., Таран В. М. Забезпечення корозійної стійкості алюмінієвих сплавів для виготовлення харчового обладнання. *Матеріали міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів*. Київ : НУХТ, 2002. С. 102.
7. Сухенко В. Ю., Таран В. М. Застосування інгібіторів для захисту обладнання харчових виробництв від корозії. *Матеріали міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів*. Київ : НУХТ, 2002. С. 50–52.
8. Сухенко В. Ю., Таран В. М., Сухенко Ю. Г. Дослідження інгібіторів корозії для теплообмінників. *Наукові праці УДУХТ*. 2001. № 10, ч. III. С. 67–68.
9. Сухенко В. Ю., Таран В. М., Сухенко Ю. Г. Застосування плазмового напилення для підвищення довговічності м'ясорізальних вовчків. *Харчова промисловість. Міжвідомчий тематичн. наук. збірник*. 2000. Вип. 45. С. 229–234.
10. Сухенко В. Ю., Таран В. М., Сухенко Ю. Г. Прогнозування надійності і довговічності обладнання харчових виробництв за інтенсивністю корозії. *Цукор України: Наук.-практ. галузев. журнал*. 2006. № 1–2 (45) С. 44–46.
11. Сухенко Ю. Г. Науково-прикладні основи підвищення довговічності деталей обладнання харчових і переробних галузей АПК: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.09 / Націон. ун.-т харч. технологій. Київ, 1999. 35 с. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.
12. Сухенко Ю. Г., Некоз О. І., Стечишин М. С. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості. Київ : Елерон, 1993. 107 с.
13. Сухенко Ю. Г., Сухенко В. Ю. Досвід організації дільниць зміцнювальних та відновлювальних технологій в харчовій і переробних галузях АПК. *Експрес-новини: наука, техніка, виробництво*. 1999. № 5–6. С. 3–6.

**References:**

1. A Theoretical Model for Metal Corrosion Degradation David V. Svintradze1, Ramana M. Pidaparti Volume 2010 Hindawi Publishing Corporation. *International Journal of Corrosion*. Volume 2010, Article ID 279540, 7 pages. DOI: <https://doi.org/10.1155/2010/279540>
2. Sukhenko, Y.; Sukhenko, V.; Mushtruk, M.; Litvinenko A. (2019) Mathematical model of corrosive-mechanic wear materials in technological medium of food industry. *Lecture Notes in Mechanical Engineering Pages*, pp. 507–514 DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_53).
3. Sukhenko V. Yu. (2015) *Naukovo-tekhnichni osnovy m'iasopodribniuvalnykh protsesiv pererobnykh pidpriemstv APK* [Scientific and technical basis of meat-grinding processes of agricultural processing enterprises] (PhD Thesis), Kyiv: Natsion. un.-t kharch. tekhnolohii, 47 p. Available at: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.
4. Tyshchenko H., Leshchynskiy Y., Koptyl' A., Sukhenko V. (2001) *Yssledovanye ekolohycheskykh svoistv ynhybyrovannikh sredstv protyvkorrozyonnoi zashchyti* [Research on ecological properties of inhibited means of anti-corrosion protection]. *Proceedings of the Bezopasnost zhyznediatelnosti v XXI veke* (January 29–31, 2001). Dnepropetrovsk, pp. 71–72.
5. Romenskiy N. P., Shelyst P. A., Khelemskiy S. M. (1986) *Protyvokorrozyonnaia zashchyta oborudovaniya pyshchevoi promyshlennosti: Spravochnyk* [Anti-corrosion protection of food industry equipment: Handbook]. Kyiv: Urozhai, 160 p.
6. Sukhenko V. Yu., Taran V. M. (2002) *Zabezpechennia korozii noi stii kosti aliuminiievykh splaviv dlia vyhotovlennia kharchovoho obladdnannia* [Ensuring the corrosion resistance of aluminum alloys for the production of food equipment]. *Materialy mizhnarodnoi naukovoii konferentsii molodykh vchenykh, aspirantiv i studentiv*. Kyiv: NUKhT, p. 102
7. Sukhenko V. Yu., Taran V. M. (2002) *Zastosuvannia inhibitoriv dlia zakhystu obladdnannia kharchovykh vyrobnytstv vid korozii* [Application of inhibitors to protect food industry equipment from corrosion]. *Materialy mizhnarodnoi naukovoii konferentsii molodykh vchenykh, aspirantiv i studentiv*. Kyiv: NUKhT, 2002, pp. 50–52.

8. Sukhenko V. Yu., Taran V. M., Sukhenko Yu. H. (2001) Doslidzhennia inhibitoriv korozii dlia teploobminnykiv [Research of corrosion inhibitors for heat exchangers]. *Naukovi pratsi UDUKht*, no. 10, ch. III, pp. 67–68.
9. Sukhenko V. Yu., Taran V. M., Sukhenko Yu. H. (2000) Zastosuvannia plazmovoho napylennia dlia pidvyshchennia dovhovichnosti m'iasorizalnykh vovchkiiv [The use of plasma spraying to increase the durability of meat-cutting wolves]. *Kharchova promyslovist. Mizhvidomchyi tematychn. nauk. zbirnyk*, vol. 45, pp. 229–234.
10. Sukhenko V. Yu., Taran V. M., Sukhenko Yu. H. (2006) Prohnozuvannia nadiinosti i dovhovichnosti obladnannia kharchovykh vyrobnytstv za intensyvniuiu korozii [Forecasting the reliability and durability of food production equipment based on the intensity of corrosion]. *Tsukor Ukrainy: Nauk.-prakt. haluzev. zhurnal*, no. 1–2 (45), pp. 44–46.
11. Sukhenko Yu. H. (1999) Naukovo-prykladni osnovy pidvyshchennia dovhovichnosti detalei obladnannia kharchovykh i pererobnykh haluzei APK [Scientific and applied foundations of increasing the durability of equipment parts of the food and processing industries of the agricultural industry]: (PhD Thesis), Kyiv, 35 p. Available at: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.
12. Sukhenko Yu. H., Nekoz O. I., Stechyshyn M. S. (1993) Tekhnolohichni metody zabezpechennia dovhovichnosti obladnannia kharchovoi promyslovosti [Technological methods of ensuring the durability of food industry equipment]. Kyiv: Eleron, 107 p.
13. Sukhenko Yu. H., Sukhenko V. Yu. (1999) Dosvid orhanizatsii dilnyts zmitsniuvalnykh ta vidnovliuvalnykh tekhnolohii v kharchovii i pererobnykh haluziakh APK [Experience in the organization of areas of strengthening and restorative technologies in the food and processing sectors of the agro-industrial complex]. *Ekspres-novyny: nauka, tekhnika, vyrobnytstvo*, no. 5–6, pp. 3–6.

**Vladyslav Sukhenko, Iryna Osypenkova, Yuliia Kurylenko**

Cherkasy State Technological University

**Lesia Avdieieva**

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

### **PROTECTION OF RESOURCE SYSTEMS OF FOOD ENTERPRISES AND FAULT OF ENVIRONMENTAL CORROSION INHIBITORS**

*The object of the research is oil systems, which have been widely used in industrial and commercial enterprises, in refrigerators at food enterprises for the production of ice cream, in the fermentation, brewing and dairy industries. Also, this equipment is widely used in the meat, wine, liquor and other branches of the food industry. In these systems, seamless pipes made of steel grades St.3 and Steel 20 are used for the production of pipelines of ammonia and freon refrigerating machines of high and medium productivity, water and oil pipelines. One of the most problematic areas is the low service life of this technological equipment. For example, the time of appearance of end-to-end destruction under the influence of cooling oil ranges from 0.5 to 3 years. And even the wide use of «stainless» steels such as 12X18H9T in the food industry sometimes does not give us the desired results, because they are subject to corrosion cracking and cannot fully fulfill the technological tasks assigned to them. In the course of the study, methods of gravimetric studies of the corrosion resistance of carbon steels were used. Gravimetric (weight) analysis was used in the determination of quantitative chemical analysis, which was based on accurate measurement of the mass of the substance we used and its constituent parts, used in a chemically pure state or in the form of compounds of constant composition. This is one of the most important methods of quantitative analysis, which played a significant role in establishing the laws of constancy of the composition of chemical substances and its application in determining the chemical composition of a wide variety of natural and technical objects, in our case, minerals, metals, alloys, inorganic and organic substances. The proposed method allows, among other things, to use it as an arbitration method of analysis, if others give questionable results. The method of evaluating the effectiveness of inhibition in corrosion systems is based on the measurement of the instantaneous rate of metal corrosion by polarization resistance using a corrosion-measuring device consisting of sensors located on the appropriate sections of communications or in samples of the inhibited medium, and a corrosion measurement. The obtained results of approbation of the research method allow us to consider it an effective tool for obtaining objective information. This is due to the fact that single-component inhibitors often do not have sufficient effectiveness. For example, tests of synergistic inhibitory compositions based on urotropin and sodium hydroxide with additions of sodium nitrate and protein broth showed that the synergism of the main component and the additive is not observed for all studied compositions. When adding up to 1 g/l of NaOH to the protein solution, the degree of protection in drinking water increases to 99.2%, while the degree of protection of pure NaOH is 98.8%*

**Key words:** protection, corrosion, inhibitor, brine system, eating establishments, ecology, heat exchange.

*Статтю подано до редакції 29.11.2022*