

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра хімії і хімічної технології

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Антоніна КУСТОВСЬКА  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

за спеціальністю: 161 «Хімічні технології та інженерія»  
освітньо-професійної програми «Хімічні технології палива та вуглецевих  
матеріалів»

**Тема: «Порівняння інгібуючої дії синергічних сумішей нітриту та м-  
нітробензоату з силікатом і фосфатом при корозії сталі у водносолевому  
розчині»**

Виконавець: Рачок Володимир Олександрович група ХП-202М \_\_\_\_\_  
прізвище, ім'я, по-батькові підпис

Керівник: Ледовських Володимир Михайлович д.х.н., проф., \_\_\_\_\_  
прізвище, ім'я, по-батькові підпис

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_ Халмурадов Б.Д.

Консультант розділу «Охорона навколишнього  
середовища» \_\_\_\_\_ Падун А.О.

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Максимюк М.Р.

КИЇВ - 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра хімії і хімічної технології

Спеціальність: 161 «Хімічні технології та інженерія»

ОПП «Хімічні технології палива та вуглецевих матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Антоніна КУСТОВСЬКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022

## **ЗАВДАННЯ**

### **на виконання кваліфікаційної роботи**

Рачка Володимира Олександровича

1. Тема роботи: «Порівняння інгібуючої дії синергічних сумішей нітриту та м-нітробензоату з силікатом і фосфатом при корозії сталі у водносольовому розчині» затверджена наказом ректора від 22 серпня 2022 р. № 1103/ст

2. Термін виконання роботи: з 26.09. 2022 р. по 30.11.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: інгібітори оксидної і сольової пасивації , досліджувана сталь 08кп.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ.

РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КОРОЗІЯ З КИСНЕВОЮ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЄЮ.

РОЗДІЛ 2. ІНГІБІТОРНИЙ МЕТОД ЗАХИСТУ СТАЛІ ВІД КОРОЗІЇ.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

ВИСНОВКИ. СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу\_\_\_\_\_

---



---

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Одержання теми. Пошук та аналіз літератури за темою дипломної роботи.	26.09.2022	Виконано
2.	Опрацювання літературних джерел з даної теми	27.09.2022- 07.11.2022	Виконано
3.	Проведення експериментальних досліджень (масометрія, вимірювання потенціалу та рН)	27.09.2022- 04.10.2022	Виконано
4.	Обробка експериментальних даних	05.10.2022	Виконано
5.	Проведення аналізу охорони навколишнього середовища та охорони праці.	02.11.2022- 10.11.2022	Виконано
6.	Узагальнення матеріалу, оформлення дипломної роботи, підготовка доповіді та презентації.	11.11.2022	Виконано
7.	Захист дипломної роботи	24.11.2022	Виконано

7. Консультанти з окремих розділів.

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього середовища	к.ф-м.н., доц. Падун А.О.	02.11.22	10.11.22
Охорона праці	асистент Халмударов Б.Д.	08.11.22	10.11.22

Дата видачі завдання: 26 вересня 2022 р.

Керівник дипломної роботи Ледовських В.М., д.х.н., проф. \_\_\_\_\_

Завдання прийняв до виконання Рачок В.О. \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Порівняння інгібуючої дії синергічних сумішей нітриту та м-нітробензоату з силікатом і фосфатом при корозії сталі у водно-сольовому розчині»: містить 98 с., 27 рис., 14 табл., 36 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: Дослідження та порівняння інгібуючих властивостей сольових пасиваторів силікату і фосфату натрію у суміші з м-нітробензоатом та нітритом натрію проти корозійного захисту сталі.

Мета роботи: корозійна та електрохімічна поведінка сталі у водно-сольових середовищах, а також в присутності сумішей інгібіторів з м-нітробензоату та нітриту з сольовими пасиваторами та порівняння їх ефективності.

Предмет дослідження: композиція інгібіторів синергічної дії на основі оксидного пасиватора (м-нітробензоату та нітриту натрію) з сольовими пасиваторами, сталь 08кп.

Методи дослідження: метод ізомолярних серій, масометричний метод визначення швидкості корозії; вимірювання електродного потенціалу, визначення рН.

В роботі розглянуті наступні питання: кородування сталі, захист сталі від електрохімічної корозії інгібіторами, типи інгібіторів корозії, використання діаграми Пурбе, синергічні суміші інгібіторів, порівняння синергічних сумішей. Результати дипломної роботи рекомендується використовувати для введення більш ефективних синергічних сумішей інгібіторів в експлуатацію.

КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КОРОЗІЯ. ЗАХИСТ ВІД КОРОЗІЇ. ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ. ДІАГРАМА ПУРБЕ. СИНЕРГІЗМ. СИНЕРГІЧНІ СУМІШІ. ОКСАНІОНИ. СОЛЬОВІ ПАСИВАТОРИ. ПОРІВНЯННЯ ІНГІБУЮЧОЇ ДІЇ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	9
РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КОРОЗІЯ З КИСНЕВОЮ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЄЮ.....	9
1.1. Загальна характеристика електрохімічної корозії металів.....	9
1.2. Класифікація корозійних процесів.....	13
1.3. Фактори , що прискорюють швидкість корозійних процесів.....	14
1.3.1. Вплив рН середовища.....	14
1.3.2. Вплив складу і концентрації нейтральних розчинів .....	14
1.3.3. Вплив температури .....	15
1.4. Методи захисту металів від корозії.....	16
Висновки до розділу 1.....	17
РОЗДІЛ 2. ІНГІБІТОРНИЙ МЕТОД ЗАХИСТ СТАЛІ ВІД КОРОЗІЇ.....	18
2.1. Явище пасивації, процес пасивації, гальмування анодної реакції.....	18
2.2. Використання Діаграма Пурбе для створення ефективних інгібіторів....	22
2.3. Механізм дії інгібіторів.....	28
2.3.1 Нітрити.....	30
2.3.2. Фосфати.....	37
2.3.3. Силікати.....	44
2.4. Інгібітори оксидної пасивації.....	48
2.5. Захист сталі від корозії синергічними сумішами інгібіторів.....	49
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	52
3.1 Вихідні данні.....	52
3.1.1 Сталь 08кп.....	52
3.1.2 м-нітробензойна кислота.....	53
3.1.3 Силікат натрію, п'ятиводний.....	54
3.1.4 Фосфат натрію.....	54
3.2. Методика виконання роботи.....	55
3.2.1. Масометричне визначення швидкості корозії .....	55

3.2.2. Метод ізомолярних серій .....	57
3.2.3. Потенціометрія.....	58
3.3 Обговорення результатів.....	61
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	66
4.1. Водопровідна вода: джерела надходження, склад, екологічний аспект вживання .....	66
4.2. Очищення води та методи захисту .....	70
4.3. Захист водопровідної води від продуктів корозії.....	75
4.4. Висновок.....	76
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	77
5.1. Вступ.....	77
5.2. Аналіз умов праці.....	77
5.2.1. Організація робочого місця.....	77
5.2.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників.....	78
5.2.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників (що діють на робочому місці суб'єкта ДП/ДР).....	78
5.2.3.1. Природне та штучне освітлення.....	78
5.2.3.2. Шкідливі речовини в повітрі робочої зони.....	79
5.2.3.3. Виробничий шум.....	80
5.2.3.4. Небезпека ураження електричним струмом.....	80
5.3. Розробка заходів з охорони праці.....	81
5.3.1. Методи нормалізації складу повітря робочої зони.....	81
5.3.2. Захист працівників від ураження електричним струмом.....	82
5.4. Пожежна безпека.....	85
5.5. Розрахункова частина.....	87
5.6. Висновок.....	92
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95

## ВСТУП

**Актуальність теми:** Щодня у світі трапляється незліченна кількість техногенних аварій, які спричиняє корозія металів. Через це для запобігання корозії металевому обладнанню на виробництвах та підприємствах вкрай доцільно використовувати інгібуючі добавки, оскільки це один з найефективніших засобів захисту металевих покриттів. Поодинці інгібітори корозії мають помірну ефективність, і саме тому набагато продуктивніше буде використання бінарних сумішей останніх, серед яких присутній ефект синергізму. Раніше було визначено та доведено що, як інгібітор оксидної пасивації з високим рівнем синергізму у сумішах з силікатом і фосфатом є нітрит натрію ( $\text{NaNO}_2$ ), але, нажаль, його гранично допустима концентрація дорівнює  $0.1 \text{ мг/м}^3$ , через що його небажано використовувати. Внаслідок цього виникає необхідність у знаходженні інгібітору синергічної дії з меншим ГДК. Таким інгібітором виявився м-нітробензоат натрію, тож наразі стоїть питання у порівнянні дії цих двох інгібіторів, щоб визначити чи можливо замінити нітрит натрію більш екологічним аналогом, при цьому не втративши у ефективності.

**Метою роботи** є порівняння інгібуючої дії сольвих пасиваторів силікату і фосфату натрію у суміші з м-нітробензойною кислотою і нітритом натрію і знаходження найоптимальнішої конценърації компонентів проти корозійного захисту сталі.

Для досягнення мети було необхідно вирішити наступні питання:

1. Аналіз літературних джерел з данної проблеми
2. Дослідження різниці у корозії сталі за присутності різних оксоаніонів за однакових інгібіторів сольової пасивації.
3. Встановлення екстремуму ефективності інгібування сталі від корозії при використанні сумішей на основі м-нітробензоату і нітриту з силікатом і фосфатом.

4. Визначити потенціал корозії сталі і рН у середовищі з синергічними сумішами інгібіторів.
5. За допомогою діаграми Пурбе та використовуючи значення електродних потенціалів і рН середовища, підтвердити утворення ефективність кожної з композицій.

**Об'єктом дослідження** є корозійна та електрохімічна поведінка сталі у нейтральних водносолевих середовищах, а також у сумішах інгібіторів з м-нітробензоатом чи нітритом натрію та силікатом або фосфатом.

**Предметом дослідження** є синергічні композиції інгібіторів на основі м-нітробензоату чи нітриту натрію і силікату або фосфату натрію.

**Методами дослідження** є масометричний метод визначення швидкості корозії; вимірювання рН; метод ізомольних серій; вимірювання електродного потенціалу.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Для композицій на основі м-нітробензоату та нітриту з сольовими пасиваторами властиво явище синергізму.
2. Методом ізомольних серій було визначено положення синергічних екстремумів за співвідношення молярних концентрацій м-нітробензоату з силікатом, як 1:2, а нітриту з силікатом як 1:1.
3. На основі діаграми Пурбе була вказана висока ефективність синергічних композицій на основі м-нітробензоату з сольовими пасиваторами (силікатами і фосфатами), що не поступається сумішам сольових пасиваторів з. Композиції синергічної дії забезпечують такі значення корозійних потенціалів і рН, що, в свою чергу, дозволяють перейти системі Fe-H<sub>2</sub>O в область термодинамічної стійкості гідратованих оксидів Fe(III).



4. М-нітробензоат у суміші з силікатом показав кращі інгібіторні властивості ніж нітрит у суміші з силікатом

**Практичне значення одержаних результатів:** За результатами дослідження маємо високу інгібуючу ефективність м-нітробензойної кислоти під час гальмування процесів кородування сталі у нейтральних водносолевих розчинах, що може замінити суміші на основі нітриту натрію, оскільки нічим їм не поступається, маючи більшу гранично допустиму концентрацію. Доведено, що м-нітробензойна кислота збільшує свою ефективність зі збільшенням рН. Результати показали доцільність використання останніх для створення інгібіторних композицій синергічної дії для ефективного захисту сталі від електрохімічних процесів корозії.

**Особистий внесок студента у роботу.** Студент підібрав, дослідив та проаналізував наукову літературу з даної теми. разом з керівником роботи опрацював методи дослідження і самостійно провів експериментальні дослідження з визначення швидкості корозії, рН, корозійного потенціалу.

Студент самостійно побудував графічні залежності та оформив дипломну роботу.

Обговорення та інтерпретація одержаних результатів проводилася студентом спільно з науковим керівником.

# РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КОРОЗІЯ З КИСНЕВОЮ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЄЮ

## 1.1. Загальна характеристика електрохімічної корозії металів

Електрохімічна корозія є найпоширенішим типом корозії металів. По електрохімічному механізму метал кородує в контакт з розчинами електролітів (морська вода, розчини кислот, лугів, солей) . У звичайних атмосферних умовах й у землі метали кородують також по електрохімічному механізму, тому що на їхній поверхні є краплі вологи з розчиненими компонентами повітря й землі, які утворюють струмопровідні розчини електролітів.

Електрохімічна корозія є гетерогенним і багатостадійним процесом. Її причиною є термодинамічна нестійкість металів у даному корозійному середовищі.

Навчання про електрохімічну корозію порушує головне питання - питання про швидкості корозії й тих факторів, які впливають на неї. З електрохімічної точки зору корозія металу це не просто процес окиснення металу, тому що цей перехід повинен супроводжуватися спряжено з процесом відновлення деполяризатора (Д). У результаті іонізації звільняються електрони й роль другого відбудовного процесу складається в їхній віддачі підходящим окислювачем (Д), що утворить стійку сполуку. Іонізація й процес віддачі електронів являє собою електрохімічний процес.

Загальне визначення електрохімічної корозії – руйнування металів і сплавів при контакт з іншими металами та розчинами електролітів. Електролітами можуть бути пари води в повітрі, ґрунтові води, морська вода тощо. У цьому випадку відбувається перенос електронів, що зумовлює проходження окисно-відновних процесів – виникає гальванічний елемент (рис. 1.2.1).

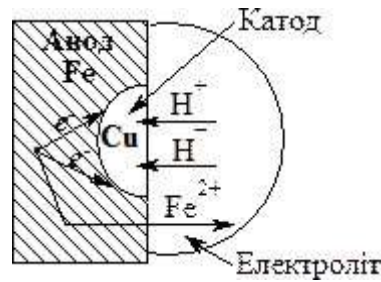


Рис. 1.1.Схема електрохімічної корозії.

Коли активніший метал (наприклад, залізо) забруднений менш активним металом (домішки міді), на його поверхні при взаємодії з електролітом відбувається окиснення активного металу (заліза) та перехід його у розчин в формі катіонів:

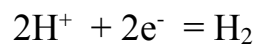


Звідси, залізо є анодом.

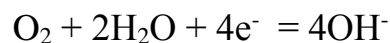
У результаті взаємодії металу з молекулами води з корозійного середовища на ньому відбуваються два процеси: окиснення металу Me (анодний процес):



та відновлення окисників — компонентів середовища (катодний процес). Зазвичай, окисниками (деполяризаторами) виступають іони гідрогену H<sup>+</sup> (корозія з водневою деполяризацією) чи розчинений у воді кисень O<sub>2</sub> (корозія з кисневою деполяризацією). У першому випадку під час катодного процесу виділяється водень:

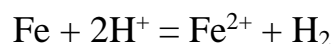
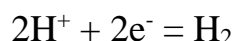


а в другому — утворюються гідроксид-іони:

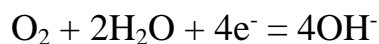


Ділянки поверхні металу, де відбуваються процеси окиснення та відновлення, називають відповідно анодними і катодними,

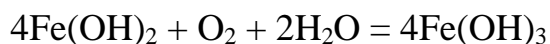
Наприклад, за електрохімічної корозії в розчині кислоти, відбуваються наступні реакції:



Корозія заліза в нейтральному чи лужному середовищі характеризується наступними реакціями:



Гідроксид феруму(II), що утворився, легко окиснюється киснем повітря:



Продукт корозії заліза — бура іржа — є сумішшю гідроксидів феруму(II) та феруму(III), продуктів їх розкладу й взаємодії з вуглекислим газом та іншими речовинами з навколишнього середовища.

Електрохімічна корозія може бути посилена, у тому випадку, коли метал містить домішки інших речовин або неметалічні включення. Як приклад, залізо забруднене домішками міді. При цьому виникають гальванічні мікроелементи (пари), схему дії яких наведено на рис. 1.1.2.

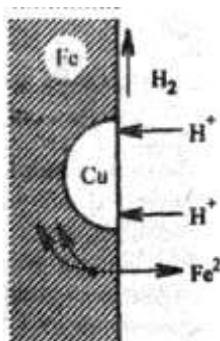


Рис. 1.2. Схема дії гальванічної пари

Метал з більшим негативним потенціалом руйнується — його іони переходять у розчин, а електрони переходять до менш активного металу, де відбувається відновлення іонів водню (воднева деполяризація) чи відновлення розчиненого у воді кисню (киснева деполяризація).

Тож, при електрохімічній корозії потік електронів направлений від більш активного металу до менш активного (провідника), а більш активний в свою чергу метал кородує. Швидкість корозії тим більша, чим далі розташовані один від одного

в ряду стандартних електродних потенціалів ті, метали, з яких утворився гальванічний елемент(гальванічна пара).

На швидкість корозії впливає і характер розчину електроліту. Чим вища його кислотність (тобто менший рН), а також чим більший вміст в ньому окисників, тим швидше відбувається корозія. Значно зростає корозія при підвищенні температури.

Деякі метали під час контакту з киснем повітря в агресивному середовищі переходять у пасивний стан, при якому різко уповільнюється корозія. Наприклад, концентрована нітратна кислота легко робить пасивним залізо, і воно практично не реагує з концентрованою нітратною кислотою. У таких випадках на поверхні металу утворюється суцільна міцна захисна оксидна плівка, яка перешкоджає контакту металу із середовищем.

Захисна плівка завжди є на поверхні алюмінію. Подібні плівки в сухому повітрі утворюються також на Ве, Cr, Zn, Ta, Ni, Си та інших металах . Кисень є найпоширенішим пасиватором.

Пасивуванням пояснюється корозійна стійкість нержавіючих сталей та сплавів.

Електрохімічна корозія посилюється при наявності контактної пари металів, які мають різні значення потенціалів.

## **1.2. Класифікація корозійних процесів**

Процеси корозії класифікуються за різноманітними ознаками, які найповніше відображають одну зі сторін корозії[4]: механізм, умови перебігу, характер корозійних руйнувань, швидкість корозії.

За механізмом процесу розрізняють хімічну, електрохімічну корозію та біокорозію металів.

Хімічна корозія є хімічним процесом взаємодії матеріалу з корозійним середовищем, (рідким неелектролітом, перегрітою парою чи сухим газом), де окиснення матеріалу і відновлення окиснювача відбувається (в єдиному акті)[2]

водночас. Це сухе газове кородування матеріалів під час їх реакції з киснем повітря за підвищених температур, високотемпературна корозія матеріалів в сольових розплавах і рідких металевих теплоносіях, корозія матеріалів в неелектролітах, тощо. Швидкість перебігу хімічної корозії не залежить від електродного потенціалу матеріалу.

Електрохімічна корозія це хімічний процес взаємодії металу з кородивним середовищем, де іонізація атомів металу (анодний процес) та відновлення окисника (катодний процес) протікають окремо у двох або декількох актах. Вона відбувається в електролітах, та її швидкість залежна від електродного потенціалу матеріалу. За електрохімічним механізмом відбувається корозія металів і сплавів, які знаходяться у середовищі вологого повітря (атмосферна корозія), в розчинах електролітів, у ґрунті (ґрунтова корозія), за надходження зовнішнього електричного струму(електрокорозія)[5].

Біокорозія, чи мікробна корозія обумовлена життєдіяльністю мікроорганізмів, що використовують метал в якості живильного середовища чи знищують його продуктами. Найчастіше, така корозія також може розглядатися в якості електрохімічного процесу, що ініціюють та каталізують мікроорганізми.

### **1.3. Фактори , що прискорюють швидкість корозійних процесів**

Характер та швидкість процесу електрохімічної корозії металів залежать від багатьох факторів, таких як: температура, тиск, рух розчину, рН і т.д. Знання даних факторів і визначення контролюючого фактору може мати значений вплив на корозійну стійкість матеріалів і знизити до мінімуму їх швидкість кородування.

#### **1.3.1. Вплив рН середовища**

Зменшення рН розчину, тим самим збільшення активності йонів  $H^+$  приведе до зростання корозії, оскільки потенціали кисневого і водневого електродів стають більш додатніми, тож катодні процеси кисневої та водневої диполяризації

полегшуються. В свою чергу розчини з високим значенням рН розчиняють метали гідрати оксидів яких амфотерні, або просто розчинні як в кислотах, так і в основах. Цими металами є Al, Zn, Sn, Pb та інші. В цей час у кислотах утворюються йони розчинених металів, а комплексні йони утворилися в лужних розчинах.

Залізо це один з металів, що розчиняються у основах тільки за високих концентрацій  $\text{OH}^-$ . При малих значеннях рН швидкість розчинення заліза велика. Тоді, коли за середніх значень рН (4-9) швидкість процесу кородування заліза не залежить від величини рН. За  $\text{pH} > 10$  швидкість корозії стрімко падає з утворенням нерозчинних гідратів окису заліза, хоча за  $\text{pH} > 14$  утворюються розчинні гідроферити ( $\text{Na}_2\text{FeO}_2$ ) і ферити ( $\text{NaFeO}_2$ ) заліза і корозійна швидкість збільшується.

Найчастіше кожному матеріалу відповідає характерне значення рН електроліту, при якому швидкість розчинення мінімальна[6].

### **1.3.2. Вплив складу і концентрації нейтральних розчинів**

За середніх значень рН швидкість протікання корозії матеріалів слабо залежить від величини рН. Значущим фактором обмежуючим швидкість процесу корозії серед цієї області є розчинність продуктів корозії матеріалів. Таким чином, хлористі, азотнокислі та сірчанокислі солі лужних металів під час дії на деякі метали (наприклад залізо) утворюють розчинні катодні й анодні продукти. Утворення нерозчинних продуктів процесу корозії на катодних або анодних ділянках призводить до зменшення швидкості корозії. Солі, наприклад, фосфорнокислі й вуглекислі солі калію і натрію утворюють на анодних (позитивно заряджених) ділянках заліза нерозчинні захисні плівки кислого та фосфорнокислого заліза. Схожий ефект спостерігається й в сульфатів з цинком та свинцем. Пасиватори утворюють на поверхні металу оксидні захисні плівки.[7]

### **1.3.3. Вплив температури**

Температура впливає на протікання дифузії, напругу електродних потенціалів та розчинність продуктів корозії, що в свою чергу пришвидшує процес корозійного

руйнування матеріалу[8].

За розчинення металу в мінеральній кислоті швидкість корозії  $K$  від температури виражається за допомогою рівняння виду:

$$K = A * e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (1.1)$$

де  $A$  – константа швидкості реакції;

$e$  – основа натурального логарифму;

$R$  – газова постійна;

$T$  – температура, К.

Після того як рівняння прологарифмують воно отримає вигляд:

$$\ln K = \ln A - \frac{Q}{RT} \quad (1.2)$$

Розглядаючи рівняння 1.1 і 1.2 ми маємо змогу побудувати наступну залежність швидкості корозії від температури[9]:

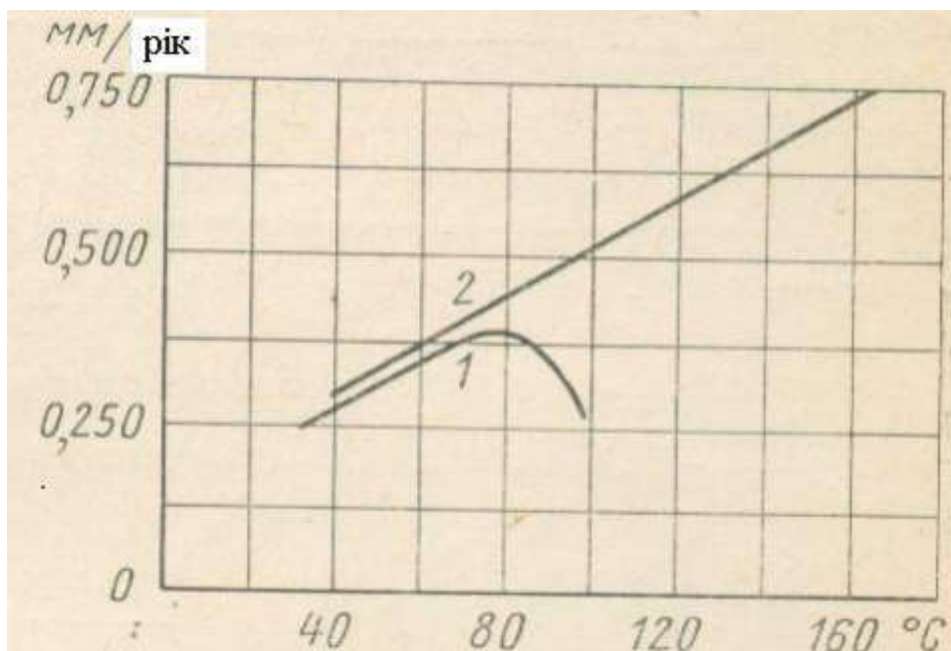


Рис. 1.3. Залежність швидкості корозії сталі у воді від температури:

1 – у відкритій системі;

2 – у закритій системі.



#### 1.4. Методи захисту металів від корозії

Існує декілька основних методів захисту матеріалів від корозії:

Збільшити хімічний склад металу для підвищення його антикорозійних властивостей;

Утеплити металеву поверхню антикорозійними матеріалами;

Зменшити корозійну агресивність виробничого та експлуатаційного середовища металевих виробів;

Подати зовнішній струм для забезпечення електрохімічного захисту для запобігання корозії.

Найпростіший спосіб - використовувати спеціалізоване металеве захисне покриття. Отож, використання анодного покриття максимізує негативний електрохімічний потенціал металу й виключає можливість перебігу корозії. Ефект катодного покриття не очевидний, тому потрібно більш товсте покриття, але це значно покращує твердість і зносостійкість виробу.

Якщо ми розглядатимемо тип покриття з виробничої точки зору, ми можемо розрізнити хімічне та електролітичне осадження, гаряче та холодне нанесення та розпилення металу.

Одним з дуже популярних методів захисту металу від процесу корозії є використання неметалевих композицій. Це може бути пластик, кераміка, гума, бітум, поліуретан, фарби та інші.

З метою полегшення корозійного середовища в нього можна вводити невелику кількість інгібіторів, що призводять до нейтралізації чи розкислення середовища і створюють адсорбційну плівку, що захищає поверхню металу. Фольга може певною мірою змінювати електрохімічні параметри металів.

Електрохімічний захист металів від корозії базується на катодній або ж анодній поляризації (вплив зовнішнього струму). Це також можна зробити, прикріпивши до металевого виробу антикорозійний захист [10].

## 1.5.Висновки до розділу 1

Електрохімічна корозія є поширеним та небезпечним видом металевої корозії. Вона перебігає у тій частині, де є струм між катодом і анодом.

Негативними наслідками корозії металів є: втрата металів, забруднення навколишнього середовища, погіршення стану нафтопродуктів, техногенні аварії та підвищений ризик металевого обладнання.

За механізмом дії електрохімічну корозію поділяють на: кисневу, водневу та деполяризаційну і металоїонну.

Найважливішими показниками швидкості корозійного процесу є: масометричний, глибинний, струмовий, об'ємний. Ці показники взаємопов'язані, знаючи один з них, можна також розрахувати інші показники.

Одними із найважливіших методів захисту металів від корозії є: захист зовнішнім струмом, протекторний захист та захист лакофарбовими покриттями.

## РОЗДІЛ 2. ІНГІБІТОРНИЙ МЕТОД ЗАХИСТУ СТАЛІ ВІД КОРОЗІЇ

### 2.1. Явище пасивації, процес пасивації, гальмування анодної реакції

Суть інгібіторного методу протикорозійного захисту полягає у створенні захисних плівок на внутрішній поверхні металевої споруди внаслідок адсорбційної здатності інгібітора корозії, що дозовано вводиться в агресивне середовище. Ефективність інгібітора корозії визначається його природою та природою кородуючого металу. Окрім того, вона суттєво залежить від умов корозії, а тобто: складу, властивостей і температури корозійного середовища і оцінюється ступенем захисту. Застосування інгібіторів для захисту металу від корозійного руйнування можливе та доцільне тоді, коли інгібітори задовольняють сукупність певних конкретних вимог:

- забезпечення необхідного ступеня захисту металу від корозії чи необхідного значення коефіцієнта гальмування корозії;
- відсутність шкідливого впливу на хід технологічного процесу та основні робочі властивості металу;
- реальна технологічність застосування інгібітора та контроль за його вмістом;
- стабільність промислового виробництва інгібіторів і їх властивостей незалежно від часу випуску і партії;
- виражений захисний ефект;
- відповідність санітарно-гігієнічним нормам та правилам охорони праці і техніки безпеки.

Інгібітори поділяються:

- за механізмом дії: на катодні, анодні і змішані;
- за хімічною природою: на неорганічні, органічні і леткі;
- за сферою впливу: в кислому, лужному і нейтральному середовищах.

Інгібітори можуть діяти двома шляхами: зменшувати площу активної поверхні або змінювати енергію активності корозійного процесу. В результаті адсорбції

інгібітора відбувається зміна структури подвійного електричного шару, в тому числі і величина адсорбційного стрибка потенціалу. Екранування частини поверхні суцільною плівкою інгібітора виключає її з корозійного процесу. Катодні та анодні інгібітори гальмують відповідні електродні реакції, змішані інгібітори змінюють швидкість обох реакцій. Адсорбція та формування на металі захисних плівок обумовлені зарядом частинок інгібітора та його властивістю утворювати з поверхнею хімічні зв'язки. Анодні інгібітори зазвичай називають пасиваторами, тому що їхня дія полягає у пасивуванні анодних ділянок кородуючої поверхні. Частіше всього в якості таких інгібіторів використовують неорганічні окислювачі і хромати, нітрати, молібдати, вольфрамати. До анодних інгібіторів відносять також і деякі сполуки з лужними властивостями: фосфати, поліфосфати, силікати, борати тощо. Катодні інгібітори зменшують швидкість корозії за рахунок пониження ефективності катодного процесу або зменшення площі катодних ділянок. Катодні інгібітори менш ефективні, ніж анодні, зате вони абсолютно безпечні, оскільки не викликають посилення корозії. Неорганічні катодні інгібітори утворюють на поверхні металу тонкі плівки, які гальмують перехід металу у розчин. Неорганічні катодні та анодні інгібітори ефективні в нейтральних та лужних середовищах, але не виявляють захисної дії у сильноокислих розчинах, де відбувається корозія з водневою деполаризацією. Багато органічних сполук здатні сповільнювати корозію металу. Органічні сполуки – це інгібітори змішаної дії, можна сказати, вони впливають на швидкість як катодної, так і анодної реакцій. Органічні інгібітори адсорбуються тільки на поверхні металу. Частіше всього до цих інгібіторів відносяться аліфатичні і ароматичні сполуки, що мають у собі атоми азоту, сірки і кисню. Леткі інгібітори – це засоби захисту від атмосферної корозії металевих напівфабрикатів. Принцип дії цих інгібіторів полягає в утворенні парів, які дифундують через шар повітря до поверхні металу і захищають її. При підборі інгібіторів враховується їхній високий захисний ефект при мінімальному дозуванні, тривалий час дії, доступність розчинників, зручність приготування робочих розчинів і мінімальні затрати на проведення додаткових заходів при їх дозуванні.

## 2.2. Використання Діаграма Пурбе для створення ефективних інгібіторів

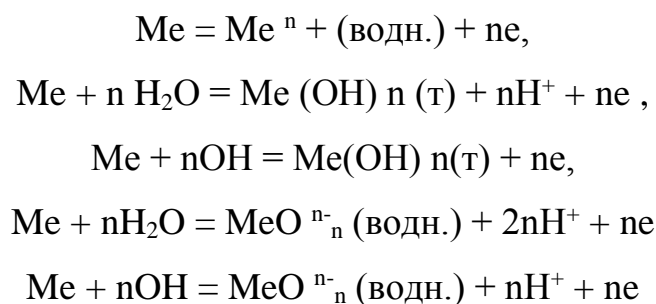
З часом з'являється необхідність пошуку простого методу визначення умов перебігу корозії та форм сполук, що утворюються в наслідок неї.

Таким методом є побудова E-pH діаграми (діаграми Пурбе). Здатність ізотермічної середовища до корозійного впливу точно визначається значеннями pH і E. Тобто, знаючи температуру, pH і E можна сказати в якій формі буде знаходитися той чи інший метал при контакті з водою. До того ж, важливим є розгляд питання про межі стійкості води, тобто визначення області, в якій вода не розкладається на молекулярний водень і кисень. Для цього потрібно окрім значення температури знати, також, і парціальний тиск газів.

Для електрохімічної корозії металу необхідна присутність в розчині окисника (деполяризатора), окисно-відновний потенціал якого позитивнооберненого потенціалу металу в даних умовах.

Для практики найбільше значення мають катодні реакції відновлення водню та кисню.

Анодні реакції окиснення металу у водних розчинах можливо представити у вигляді одного із наступних рівнянь :



\*де  $\text{Me}^n + (\text{водн.})$  та  $\text{MeO}^{n-}_n(\text{водн.})$  – розчинні у воді іони,  $\text{Me}(\text{OH})_n(\tau)$  – слабо розчинні гідроксид.

Кінцеві продукти реакції залежать від потенціалу та pH середовища. Межі термодинамічної можливості протікання електрохімічної реакції, склад продуктів корозії визначаються з діаграми стану систем метал – вода (діаграми Пурбе).

Корозія під дією розчиненого у водних середовищах кисню — найпоширеніший вид руйнування металів [1–3]. Вона полягає в переході атомів металу з його кристалічної ґратки у термодинамічно більш стійкі сполуки з компонентами середовища, тобто відбувається за рахунок перебігу спряженої реакції відновлення кисню. Корозії з кисневою деполяризацією зазнають метали, які контактують з вологим повітрям, водою й розчинами електrolітів. Корозія призводить до втрати маси металів і погіршення їх експлуатаційних властивостей. Корозія металів у водних електропровідних середовищах належить до електрохімічних процесів та підпорядкована їх загальним термодинамічним і кінетичним закономірностям.

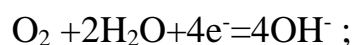
Якщо метал помістити в розчин, де знаходяться тільки його катіони, то на межі поділу фаз виникає рівновага між окисненою та відновленою формами речовини, яка характеризується рівними швидкостями процесів іонізації металу та відновлення іонів:



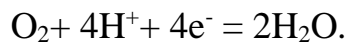
За незмінних складу системи та умов рівноважний потенціал металевого електрода зберігається сталим. При цьому маса металу залишається незмінною, його корозійного руйнування не відбувається. Однак зазначена електродна рівновага порушується, коли в розчині разом з анодною реакцією іонізації металу і катодною (відновлення його власних катіонів) стає термодинамічно можливим перебіг також іншого катодного процесу відновлення інших частинок, крім іонів  $M^{n+}$  з асиміляцією електронів (рис. 2.2.1).

Оскільки в розчині одночасно є два окисники  $M(H_2O)_m^{n+}$  та окисник 2, то відновлюватися на поверхні металу і забирати електрони в катодному процесі буде насамперед найсильніший з них, якому відповідають більші значення електродних потенціалів. У разі електрохімічної корозії металів з кисневою деполяризацією таким окисником 2 є розчинений молекулярний кисень, відновлення якого відповідає загальним рівнянням:

– для лужного середовища



– для кислого середовища:



Самочинний перебіг корозії металів з кисневою деполяризацією стає термодинамічно можливим, якщо величина рівноважного потенціалу кисневого електрода більша за потенціал металевого за таких умов:

$$E_{\text{O}_2} > E_{\text{M}}$$

або

$$E_{\text{O}_2} - E_{\text{M}} > 0$$

Критерій виправдовується для багатьох металів у водних розчинах електролітів, які контактують з повітрям. Такої корозії зазнають навіть ті метали, які нерозчиняються в кислотах і розташовані в ряду напруг після водню, наприклад, Ag, Cu. Це пояснить тим, що величини рівноважних потенціалів кисневого електрода є більшими, ніж потенціали водневого за однакових умов.

Унаслідок суміщення на поверхні металів двох зазначених електродних процесів анодна реакція корозії полягає, переважно, в окисненні металу, а катодна – у відновленні деполяризатора – кисню. За рахунок цього відбувається необоротне корозійне руйнування металу, що призводить до зменшення його маси.

Застосування інгібіторів для захисту металів від корозії належить до ефективних та економічних методів [2–4]. Їх додавання в корозійне середовище в малих кількостях дає змогу значно знижувати швидкість руйнівного процесу.

Захисна дія інгібіторів пов'язана зі змінами у стані поверхні металу та в кінетиці реакцій, які спричиняють корозію. Уповільнення корозії металів інгібіторами може відбуватися внаслідок зменшення швидкості катодних, анодних або одночасно обох цих процесів. Для визначення умов термодинамічної можливості перебігу електрохімічної корозії сталі у водних середовищах, областей її стійкості та можливої пасивації в цій роботі застосовано діаграму стану системи Fe — H<sub>2</sub>O (діаграма Пурбе [1-2]).

Можливі рівноваги в системі Fe — H<sub>2</sub>O, в яких беруть участь метал, його іони, кисень, водень, вода, її іони та відповідні їм рівняння зв'язку подані в таблиці.

Результати побудови діаграми стану для системи

Fe-H<sub>2</sub>O у вигляді графічних залежностей електродних потенціалів можливих рівноваг від рН розчину показано на рис. 2.2.1.

Рівноважний потенціал залізного електрода (1) не залежить від рН середовища, оскільки немає участі іонів Н<sup>+</sup> або ОН<sup>-</sup>. Тому лінія 1 розташована паралельно осі рН і для вибраної активності іонів Fe<sup>2+</sup> ( $a_{\text{Fe}^{2+}} = 1 \cdot 10^{-6}$  моль/л) лежить при  $E = -0,618\text{В}$ . Зі збільшенням рН до лужного середовища лінія 1 рівноваги Fe – Fe<sup>2+</sup> переходить у похилу лінію 2, яка відповідає електродній рівновазі Fe – Fe(OH)<sub>2</sub>, що відбувається за участю електронів та іонів Н<sup>+</sup>. З подальшим підвищенням рН внаслідок деякої амфотерності сполук заліза (II) утворюються іони HFeO<sub>2</sub><sup>-</sup>, які існують у рівновазі з Fe (3). Щодо усіх зазначених рівноваг за збільшенням потенціалів від рівноважних значень відбувається їх зміщення в бік окиснених форм заліза відповідно Fe<sup>2+</sup>, Fe(OH)<sub>2</sub> та HFeO<sub>2</sub><sup>-</sup> і, навпаки, за зменшенням потенціалів – перехід системи у стан термодинамічної стійкості металевого заліза. В області середніх значень потенціалів і рН у системі Fe – H<sub>2</sub>O виникає рівновага між Fe<sup>2+</sup> і Fe(OH)<sub>3</sub> (лінія 4), яка переходить у лінію 5 рівноваги між Fe(OH)<sub>2</sub> і Fe(OH)<sub>3</sub>.

Лінія 6 відповідає рівновазі Fe(OH)<sub>3</sub> – HFeO<sub>2</sub><sup>-</sup> без участі електронів, тому вона проходить паралельно осі рН.

Вертикальні лінії 7, 8, 10 відображають рівноваги з утворенням важкорозчинних гідроксидів заліза (II) та заліза (III).

На діаграмі розглянуто гідроксиди заліза, проте в реальних системах зазвичай утворюються різні форми гідратованих оксидів. Горизонтальна пряма 9 стосується рівноваги між Fe<sup>3+</sup> і Fe<sup>2+</sup> за  $a_{\text{Fe}^{3+}} = a_{\text{Fe}^{2+}} = 1 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Лінії на діаграмі розмежовують області електродних потенціалів та рН, кожна з яких характеризується одним термодинамічно стійким станом системи Fe – H<sub>2</sub>O, якому відповідає переважання певних компонентів і фаз (рис. 2.2.1).

Так у межах зони, яка відокремлюється лініями 1, 2 і 3 та координатними осями, термодинамічно стійким є металічний стан заліза. Якщо потенціали і рН відповідають цій області, металічне залізо термодинамічно стійке і не зазнає



корозії. У зоні, обмеженій рівноважними лініями 1, 7, 4, 9, термодинамічно стійкими є гідратовані іони  $\text{Fe}^{2+}$  у розчині. Метал за цих умов нестійкий і піддається корозії з утворенням зазначених своїх іонів. Подібне відбувається також у зоні між лініями 9 і 10, де при більших потенціалах процес корозії призводить до утворення іонів  $\text{Fe}^{3+}$ . При потенціалах  $\text{pH}$  зони між лініями 3, 8, 6 залізо зазнає корозії з утворенням у розчині аніонів  $\text{HFeO}_2^-$ , які є термодинамічно стійкою формою системи  $\text{Fe} - \text{H}_2\text{O}$  за цих умов.

Зона між лініями 2, 7, 5, 8 відповідає стійкості твердого гідроксиду заліза (II), а зона, яка розташована вище ламаної лінії 10, 4, 5, 6 – твердому гідроксиду заліза (III). Металічний стан заліза за цих умов є термодинамічно нестійким, але внаслідок корозії на поверхні металу у першому випадку виникає захисна плівка  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , а у другому – ще більш стійка захисна плівка  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , які здатні гальмувати подальший перебіг процесу за рахунок пасивації поверхні металу.

Діаграма (рис. 2.2.1) дає можливість визначити, зарахунок яких спряжених реакцій деполяризаторів – відновлення іонів водню  $\text{H}^+$  чи розчинених молекул кисню  $\text{O}_2$  відбуваються процеси корозійного окиснення металу. Оскільки розглядаються процеси, що відбуваються у водних розчинах, то важливо знати положення певного електрода щодо водневого та кисневого електродів за таких самих умов. На рис. 2.2.1 лінії відображають зв'язок між рівноважними потенціалами  $E$  і  $\text{pH}$  водневого (а) та кисневого (в) електродів. Корозія металів з водневою деполяризацією перебігає в розчинах, які контактують з атмосферою, де парціальний тиск водню становить

$$P_{\text{H}_2} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ атм.}$$

З урахуванням цього для визначення термодинамічної можливості корозії металів з водневою деполяризацією потенціали водневого електрода за різних  $\text{pH}$  обчислювали за рівнянням Нернста:

$$E_{\text{H}} = E_{\text{H}^0} + 2,303RT/2F \cdot \lg \cdot a_{\text{H}^+}^2 / P_{\text{H}_2}$$

З рис. 2.2.1 випливає, що у зоні потенціалів, менших за потенціал рівноважного водневого електрода (нижче лінії „а”) його рівновага зміщується у бік відновлення іонів  $H^+$  з гідратованого стану та з молекул води з асиміляції електронів від спряженої реакції окиснення металевого заліза до іонів  $Fe^{2+}$ . Навпаки, при потенціалах вище лінії а електродна рівновага зміщується у зворотному напрямку з вивільненням електронів. За цих умов окиснення заліза з водневою деполаризацією у розчині стає неможливим.

Значення рівноважного потенціалу кисневого електрода за різних рН обчислювали з урахуванням величини парціального тиску кисню в атмосфері

$$E_{O_2} = 0,21 \text{ атм.}$$

$$E_{O_2} = E^0_{O_2} + 2,303 \cdot RT/4F \cdot \lg \cdot a_{H^+}/P_{O_2} \text{ або}$$

$$E_{O_2} = 1,218 - 0,0592 \text{ рН}$$

де  $E^0_{O_2}$  – стандартний потенціал кисневого електрода:

$$E^0_{O_2} = 1,229 \text{ В}$$

Подібно до лінії а, лінія b відображає залежність  $O_2E - \text{рН}$  для оборотного кисневого електрода і поділяє поле графіка на дві зони: при потенціалах

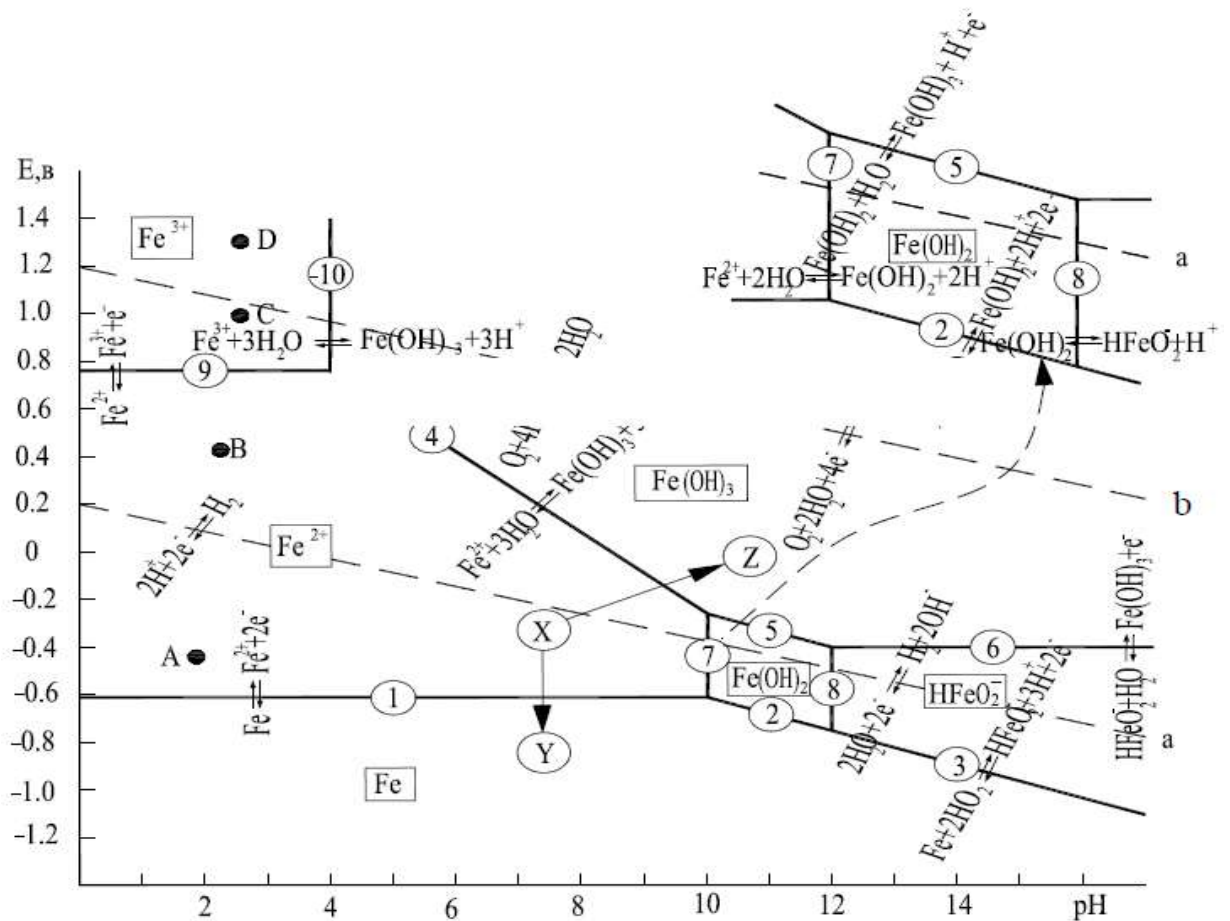


Рис. 2.2.1 Діаграма рівноважного потенціалу рН системи Fe – H<sub>2</sub>O

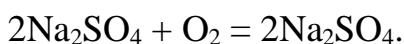
нижче лінії *b* електродна рівновага зміщується у бік продуктів відновлення молекулярного кисню асиміляцією електронів, кисень за цих умов здатний виступати окисником металу. Навпаки, при потенціалах вище рівноважних – вище лінії *b* спостерігається зсув електродної рівноваги у протилежному напрямку з вивільненням електронів та утворенням O<sub>2</sub>, окиснення металу не відбувається.

Таким чином, на підставі діаграми *E* – рН системи Fe – H<sub>2</sub>O можна оцінювати термодинамічно ймовірну поведінку металу у водних розчинах, встановлювати межі потенціалів і рН, за яких метал буде стійким або нестійким та з'ясовувати природу продуктів корозії. Діаграма визначає корозійну реакцію, за якої відбувається розчинення металу – відновлення іонів водню чи відновлення молекул кисню. Наприклад, якщо точка *A* знаходиться між лініями *l* і *a*, то можливе корозійне розчинення заліза до іонів Fe<sup>2+</sup> за рахунок як реакції відновлення іонів H<sup>+</sup>, так і за рахунок відновлення O<sub>2</sub>. Якщо точка *B* розташована вище лінії *a*, але нижче

лінії  $b$ , то корозія заліза можлива за рахунок кисневої деполяризації. У точці  $C$ , що лежить між лініями  $a$  і  $b$ , корозія відбувається внаслідок відновлення кисню і продуктом будуть іони  $Fe^{3+}$ .

У точці  $D$ , яка розташована вище лінії  $b$ , відновлення кисню неможливо, а іони  $Fe^{3+}$  утворюються при сильному зміщенні потенціалу у позитивному напрямку. Особливість корозії заліза у водно-сольових середовищах полягає у тому, що вона лімітується катодним процесом дифузії окисника-кисню до поверхні металу, а анодний процес зазвичай перебігає в активній області іонізації заліза. Унаслідок здатності молекулярного кисню до бокового підводу до металевої поверхні гальмування катодного відновлення деполяризатора  $O_2$  є складним завданням навіть у разі значного її покриття абсорбованими частинками інгібітора. Тому для створення інгібіторних методів захисту сталі в цій роботі основну увагу було приділено здатності системи  $Fe - H_2O$  за певних умов переходити у стан утворення і термодинамічної стійкості нових твердих неметалічних фаз, які виникають на поверхні металу, за рахунок чого можна очікувати захисних ефектів.

З рис. 2.2.1 видно, що пасивного стану сталі можна очікувати у зоні утворення на її поверхні гідратованих оксидів заліза (III). Цього можна досягти, наприклад, переводячи систему  $Fe - H_2O$  від вихідної точки  $X$  до точки  $Z$ . Діаграма дає підстави для обґрунтування можливих методів захисту сталі від корозії. Так, у разі зрушення потенціалу системи  $Fe - H_2O$  у негативний бік, наприклад, від точки  $X$  до  $Y$  (рис. 2.2.1), відбувається її перехід у зону термодинамічної стійкості металічного заліза. На такому принципі ґрунтується поширений метод катодного захисту металу. У точці  $X$  залізо зазнає корозії з кисневою деполяризацією. Тому процес можна значно загальмувати, якщо зменшити концентрацію кисню у розчині, чого можна досягти за рахунок деаерації розчинів та застосування сильних відновників, наприклад, сульфїту натрію:



Такий підхід послаблення корозійної агресивності водних середовищ став поширеним у замкнених циркуляційних системах, наприклад, у контурах парових котлів.[6]

### **2.3. Механізм дії інгібіторів.**

У більшості випадків механізм дії інгібіторів у рідких середовищах складається з катодних і анодних процесів, які пригнічують електрохімічну корозію, спричинену захисними пасивними плівками. За кількістю інгібітори можна розділити на анодні і катодні.

Органічний інгібітор корозії.

До органічних інгібіторів корозії відносяться органічні колоїди (агар, желатин, декстрин, тваринний клей та ін.), органічні речовини (аміни та їх солі), що містять у своїх молекулах полярні групи, альдегіди, гетероциклічні сполуки та ін.

Механізм дії органічних інгібіторів корозії в основному пояснюється їх адсорбцією в катодній області корозійного металу та збільшенням перенапруги водню, що ускладнює процес катодної корозії. Деякі органічні інгібітори корозії адсорбуються на анодній ділянці корозійного металу, уповільнюючи процес анодної корозії. Сповільнювачі корозії застосовуються в якості присадок при кислотному травленні сталі, при бурінні нафтових свердловин з метою захисту металічного обладнання від дії соляної кислоти, а також при очистці парових котлів від накипу.

Анодний інгібітор корозії.

Інгібітори анодної корозії, які є переважно окислювачами, мають переважно пасивуючі властивості. Принцип інгібування корозії анодними сповільнювачами зводиться до того, що вони зменшують анодну площу поверхні металу або за рахунок уповільнення міграції іонів металу в розчин, або за рахунок секвестрації утвореною нерозчинною захисною плівкою.

Однак інгібітори корозії (окислювачі, що гальмують анодні процеси) іноді можуть стимулювати корозійні процеси та є прискорювачами катодної корозії. Наприклад,  $O_2$  і  $H_2O_2$  є інгібіторами корозії у значних концентраціях тільки

відсутність активаторів (Cl-, Br-, J-), що забезпечують хороше формування пасивуючої плівки. Тому інгібітори анодної корозії (сильні окислювачі) вважатимуться небезпечними інгібіторами корозії, особливо коли у розчині присутні прискорювачі корозії. В останньому випадку поверхня металу лише частково пасивується, зменшуючи площу анода та одночасно збільшуючи площу катодної області.

У зв'язку з цим інгібітори корозії часто поділяють на безпечні та небезпечні, які не можуть прискорити швидкість корозії та можуть призвести до посилення корозії. Такі окислювачі, як хромати і біхромати є поганими катодними деполаризаторами і в той же час сильно пасивують практично важливі метали (Fe, Al, Zn, Cu). Достатньо додати у водопровідну воду 0,1%  $K_2Cr_2O_7$ , щоб різко знизити швидкість корозії вуглецевої сталі і алюмінію. При вмісті у воді сильних активаторів корозії (наприклад хлористих солей) концентрацію  $K_2Cr_2O_7$  треба збільшити до 2-3%.

Анодні сповільнювачі також включають нітрити та нітрати. Наприклад,  $NaNO_2$  значно знижує швидкість корозії сталі та деяких кольорових металів у багатьох розчинах солей, у тому числі у морській воді.

Силікати лужних металів ( $Na_2SiO_3$ ) є інгібіторами корозії у нейтральних водних розчинах. Захисний ефект  $Na_2SiO_3$  обумовлений утворенням захисної плівки на металу.

Катодний інгібітор корозії.

Зниження швидкості корозії металів катодними інгібіторами відбувається одним із наступних способів:

1. Гальмування окремих стадій катодних процесів;
2. За рахунок зменшення площі катодної області.

Гальмування катодного процесу засноване або на обезкисненні розчину електроліта з метою зменшення швидкості корозії металів з кисневою деполаризацією, або на підвищенні перенапруги катодного процесу. Характерними

прикладом обезкиснення агресивного середовища є способи обробки котлової води різними поглиначами кисню.

В процесах корозії металів, які протікають з водневою деполяризацією, гальмування катодної реакції відновлення водню досягається шляхом підвищення перенапруги воднею добавкою в розчин солей деяких важких металів ( $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$ ), катіони яких відновлюються на мікро катодах і підвищують перенапругу водню.

Зменшення площі катодної області зниження швидкості корозії досягається тим, що такі інгібітори корозії утворюють нерозчинні сполуки на мікрокатоді, нанесені у вигляді конформного шару. Тому бікарбонат кальцію ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) у лужному середовищі (поблизу катодної області поверхні металу) утворює нерозчинну сполуку  $\text{CaCO}_3$ , яка осідає на поверхні металу та ізолює його від дії електроліту.

### 2.3.1. Нітрити

Інгібуючі властивості нітриту натрію сильно залежать від концентрації агресивних іонів в електроліті. В зв'язку з цим були вивчені його захисні властивості як в розчинних електролітах ( $30 \text{ мг/л NaCl} + 70 \text{ мг/л Na}_2\text{SO}_4$ ), що імітують прісні води, так і в концентрованих електролітах ( $0,1 \text{ н. Na}_2\text{SO}_4$ ).

На рис. 2.3.1.1. представлена залежність загальної швидкості корозії сталі в розбавленому електроліті від концентрації нітрату натрію. Криві, як видно, проходять через максимум, що вказує на те, що малі концентрації стимулюють корозійний процес. При деяких концентраціях, яку можна назвати критичною, корозіє досягає максимального значення і далі починає падати. При певній концентрації, яка називається захисною, корозійний процес повністю призупиняється. Як видно, нітрит натрію, може підсилюватись не тільки істину швидкість корозії, але і загальну швидкість корозії.

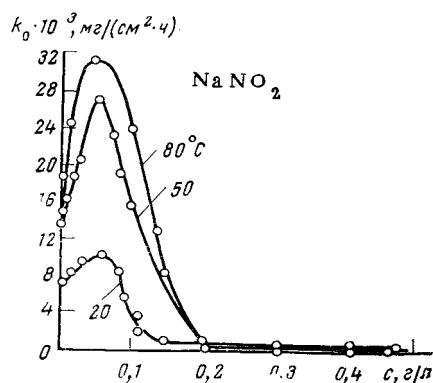


Рис. 2.3.1.1. Вплив нітриту натрію на корозію сталі в електроліті 30 мг/л NaCl + 70 мг/л Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Пояснюється це тим, що нітрит натрію здатен при не повному захисті виводить більш значну частину поверхні зі сфери анодної реакції і завдяки цьому сильніше зміщати потенціал до позитивних значень ніж інші інгібітори. Швидкість корозії на тій невеликій частині електрода, що залишилась в активному стані, буде сильно збільшуватись.

Це добре ілюструє рис. 2.3.1.2.. Як видно залежність істинної швидкості корозії від концентрації NaNO<sub>2</sub> характеризується кривою з більш різко вираженим максимумом: при повному заповненні поверхні пасивуючими іонами інгібітор виступає в якості стимулятора, збільшуючи істину швидкість корозії майже на два порядки. При концентраціях інгібітору вище критичної швидкість корозії починає різко падати. Механізм підсилення корозії малими концентраціями нітриту натрію такий самий як і у інших розглянутих вище анодних інгібіторів. Електродний потенціал сталі зі зміною концентрації інгібітора змінюється наступним чином : малі концентрації інгібітора слабо змінюють значення потенціалу; при  $\sim 5 \cdot 10^{-2}$  моль/л відмічається різке зміщення потенціалу в позитивну сторону, що супроводжується збільшенням істинної швидкості корозії. Подальше збільшення концентрації інгібітору викликає зсув потенціалу в позитивну сторону, проте не такий сильний як малі і середні концентрації. Якщо по даним рис. 2.3.1.2 побудувати криву залежності істинної швидкості розчинності сталі від потенціалу, отримаємо поляризаційну криву з трьома характерними ділянками (рис. 2.3.1.3.). На першій ділянці, що



простирається від стандартного потенціалу до  $\phi = 0,0$  В (потенціал часткової пасивації) електрод знаходиться в активному стані; зміщення інгібітором потенціалу в позитивну сторону у відповідності з законами електрохімічної кінетики приводить до збільшення швидкості корозії. На другій ділянці кривої метал знаходиться в активно-пасивному стані і зміщення потенціалу в позитивну сторону призводить вже до падіння швидкості корозії починаючи с потенціалу, що дорівнює приблизно  $+0,022$  В, сталь стає повністю пасивною (третя ділянка).

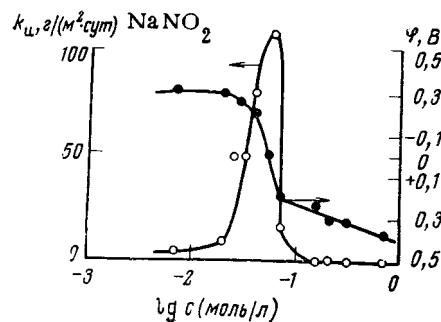


Рис. 2.3.1.2. Вплив нітриту натрію на істинну швидкість корозії і потенціал сталі в 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Ця закономірність в електрохімічному доказі пояснювалася тим, що зрушення потенціалу сталі від інгібітором, що спочиває до часткового пасивування, відбувався в основному за рахунок прискорення катодної реакції. Імовірність часткової пасивації порівняно з повною пасивацією багато в чому обумовлена гальмуванням анодної реакції. В області потенціалів, характерної для активного розчинення, прискорення катодної реакції не настільки велике, щоб усунути потенціал металу у бік повної пасивації (тут кисень є основним катодним деполаризатором, а струм відновлення невеликий). Тож метал залишається активним. У міру усунення потенціалу металу за межі потенціалу часткової пасивації все більше починають проявлятися пасивні властивості нітрит-іонів, пов'язані з анодною реакцією, полегшуючи перехід металу до пасивації. На користь цього механізму говорить той факт, що ступінь заповнення поверхні інгібітором, що виключає її із сфери анодної реакції, лише збільшує можливість часткової пасивації. У діапазоні характеристик потенціалу активно пасивного стану заповнення поверхні

гальмівними іонами не змінюється. Це означає, що ефективність катодного процесу залишається незмінною. Уповільнення анодних процесів при зрушенні потенціалу в позитивну сторону є результатом розвитку пасивуючих властивостей аніонів стосовно анодним реакцій. За даними різних авторів захисні концентрації нітриту натрію становлять від  $10^{-5}$  до  $10^{-4}$  моль/л за відсутності агресивних іонів (дистильована вода).

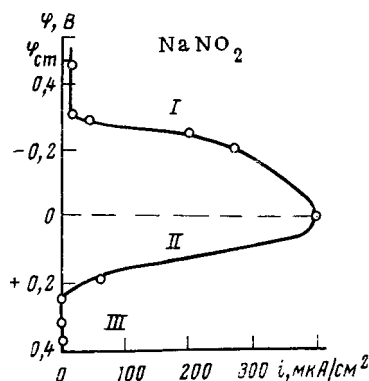


Рис. 2.3.1.3. залежність істинної швидкості розчинення сталі від потенціалу в присутності нітриту натрію в 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Захисні концентрації нітриту натрію залежать від температури. Зміни корозії в залежності від концентрації при високих температурах ( $50\text{—}80^\circ\text{C}$ ) такий самий як і при кімнатній. Проте стимулюючий вплив малих концентрацій при підвищених температурах більш різко виражено (див. рис. 2.3.1.1.).

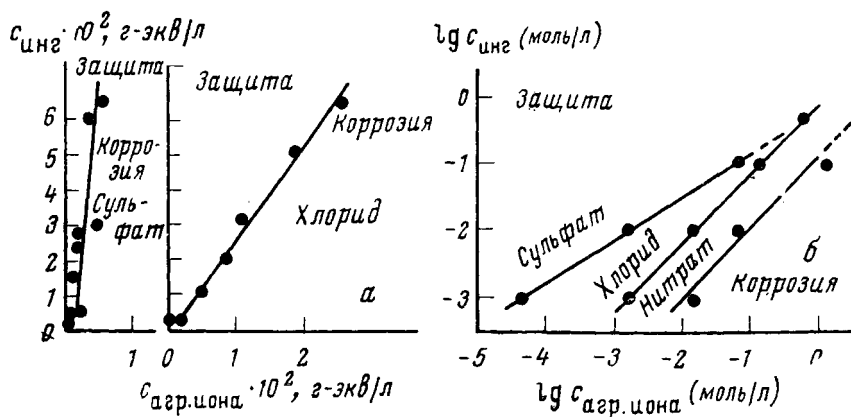


Рис. 2.3.1.4. Залежність захисної концентрації нітро-з'єднань для сталі від концентрації іонів ( $T = 25^{\circ}C$ ); а – 3,5-динітробензоат гексаметиламіна; б – нітрит натрію.

За законом, за відсутності інгібіторів, швидкість корозії чавуну змінюється з підвищенням температури, про що неодноразово згадувалося в літературі, при підвищенні температури до  $50 - 60^{\circ}C$  корозія буде продовжувати посилюватися, з подальшому підвищенні температури швидкість корозії зменшується через зменшення розчинності кисню. При введенні в електроліт нітриту натрію ситуація змінюється: при низьких концентраціях, недостатніх для повного гальмування процесу, корозія безперервно зростає з підвищенням температури. При підвищених температурах перенапряга реакції відновлення нітриту натрію може зменшитися; інгібітор корозії починає відновлюватися з низькою швидкістю, тому обмежена розчинність кисню більше не є фактором, що обмежує швидкість корозії.

Однак навіть при підвищених температурах збільшення концентрації нітриту натрію призводить до зниження швидкості корозії, яка при певних концентраціях повністю послаблюється. Про захисні властивості нітриту натрію при високій температурі можна судити за такими даними: при  $25^{\circ}C$  захист в дистильованій воді досягає  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л, при  $70^{\circ}C$  -  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Сталь Захисна концентрація нітросполук безпосередньо залежить від концентрації агресивних іонів. Встановлено лінійну залежність між концентраціями сульфат- і хлорид-іонів і концентрацією захисту гексаметиленамін-3,5-динітробензоату. Співвідношення концентрації агресивного іона до концентрації динітробензиламіну становить приблизно 1:1 для сульфату та 1:3 для хлориду (рисунок 2.3.1.4.а). У роботі встановлено, що логарифмічна залежність захисної концентрації нітриту натрію від агресивної концентрації представлена прямою лінією, а корозійна та захисна зони окреслені (рис. 2.3.1.4 б). Нахил кривих визначається характером аніону. Для одновалентних іонів (хлорид і нітрат) він дорівнює  $\sim 1,0$ , а для двувалентного(сульфат)  $\sim 0,6$ . Сильніше всього захисні властивості нітрит іону приглушаються сульфат іонами, слабше – нітрат іонами. В зв'язку з цим для однієї і

тієї ж концентрації агресивного іону при наявності сульфату потребується більш висока концентрація нітриту натрію, чим при наявності нітриту. Нижча концентрація нітриту натрію потрібна для запобігання корозії в присутності хлориду, ніж у присутності сульфату. Зі збільшенням концентрації агресивних іонів різниця в ефектах сульфату і хлориду зменшується, а різниця між хлоридом і нітратом зберігається. Якщо виключити високі концентрації іонів, то порядок їх агресивності наступний: сульфат > хлорид > нітрат. Подібні залежності були отримані і в інших роботах, хоча співвідношення гальмівного та атакуючого компонентів було дещо іншим. (Таблиця 2.3.1.1.). Видно, що захисний ефект не спостерігається при концентраційному відношенні прехлоратного інгібітора, що дорівнює 0,4. Повний захист досягається при коефіцієнтах більше 0,7. У разі попереднього консервування сталі в хлориді натрію і подальшого видалення нітрату натрію захист не може бути досягнутий навіть при співвідношенні 0,7-2,0. Витіснення нітрит-іона з поверхні електрода складніше, замінивши його, а не запобігаючи його адсорбції

Таблиця 2.3.1.1.

Залежність захисних властивостей нітрату натрію від концентрації хлористого натрію.

C NaCl, % (масс.)	C NaNO <sub>2</sub> , % (масс.)	C NaNO <sub>2</sub> /C NaCl	t, г	φ, мВ	Стан поверхні металу
0,5	0,20	0,4	20,5	-11	Корозія
0,5	0,35	0,7	49,5	+271	Захист
0,5	0,45	0,9	43,0	+285	>>
0,5	1,00	2,0	122,0	+300	>>

В користь цього припущення свідчать значення потенціалів, які без сумніву пов'язані з кількістю адсорбованого пасиватора. Коли перед пасивацією нітритом натрію попередньо адсорбуються агресивні іони, значення потенціалу не перевищують +0,16 В. Це значення характерно для сталі, що знаходиться на межі активно-пасивного стану. Захист досягається при агресивних концентраціях іонів у

присутності в електроліті різноманітних агресивних іонів, таких як хлориди та сульфати. Корозія спостерігається при відношенні концентрації інгібітора до загальної концентрації агресивних іонів менше 1.  $[\text{NaNO}_2]/[\text{NaCl}] = 0,4$  достатньо для чистих розчинів хлоридів і металів з невидаленою оксидною плівкою, для зразків з видаленою оксидною плівкою співвідношення становить приблизно 0,7. Вищі концентрації нітриту натрію необхідні для захисту сталі від корозії в присутності як сульфату, так і хлориду, ніж необхідні для захисту від одного агресивного іона, пояснюють автори через підвищену іонну силу розчину прискорюється гідроліз. . Захисна здатність нітриту натрію (10-2 моль/л). Також було відзначено, що нітрат натрію більш ефективно пригнічує агресивність хлоридів, ніж бензоати та хромати. По відношенню до нітрит іонам ефективність різних інгібіторів підвищується в наступному ряду: хромат>бензоат> нітрит. З інших з'єднань що включають в себе групу  $\text{NO}_2$  тих що використовуються в якості інгібіторів корозії, відомі нітрит дициклогексиламін (НДА) і солі нітробензойних кислот. Залежність швидкості корозії сталі від концентрації нітробензоата піперидину представлена на рис. 2.3.4.5. При малих концентраціях інгібітору швидкість загальної корозії збільшується; істина швидкість корозії збільшується ще в більшому степені. Починаючи з концентрації 0,01 моль/л корозія падає і при  $\sim 0,1$  моль/л повністю зупиняється. Зі збільшенням концентрації агресивних іонів захисна концентрація всіх солей нітробензойних кислот збільшується Так, для 1 н.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  захисна концентрація нітробензоатагексаметиламіну дорівнює 0,5 моль/л при наявності на поверхні сталі повітроподібної плівки. В тих же випадках, коли плівка з електроду видаляється методом травлення, повний захист сталі від корозії в цьому ж електроліті досягається при 3 — 5 моль/л нітробензоатугексаметиламіні. Це вказує на певну роль в пасивації фазових окисних шарів.

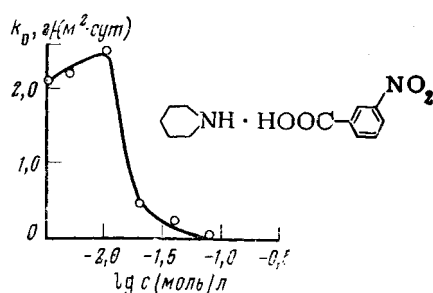


Рис. 2.3.1.5. Вплив нітробензоату піперидину на швидкість загальної корозії сталі в електроліті 30 мг/л NaCl + 70 мг/л Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Анодна розчинність сталі в присутності нітрит іонів протікає з великою перенапругою, яка помітно збільшується по мірі збільшення концентрації інгібітора. При малій густині струму спостерігається аномальна поведінка електроду, що обумовлено руйнуванням природної окисної плівки. Вона зникає, коли концентрація інгібітора стає сумірною з концентрацією агресивних іонів. Великі концентрації допомагають збереженню природної окисної плівки на залізі.

### 2.3.2. Фосфати

Фосфати широко застосовуються як інгібіторів корозії, особливо у водопостачанні, охолоджувальних системах та енергетичних установках. Однозаміщений фосфат натрію NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> є слабким інгібітором, а при великих концентраціях він перетворюється в стимулятор корозії.

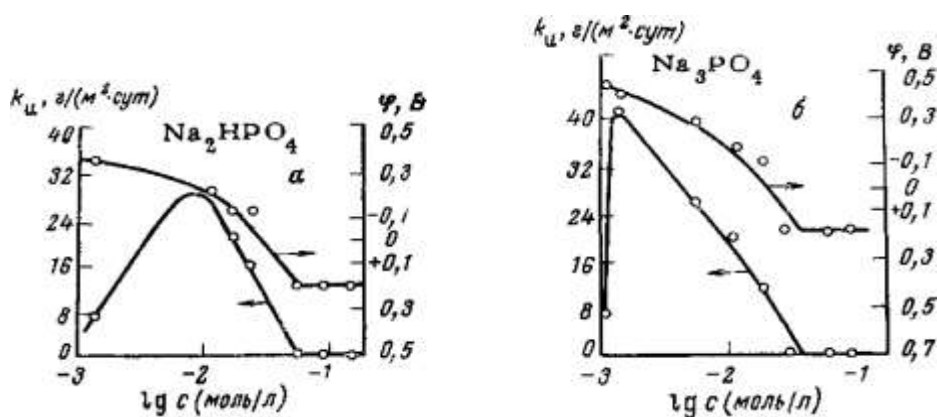


Рис. 2.3.2.1. Вплив добавок фосфатів до 0,1 н. Ca<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на швидкість електродного потенціалу металу

Захисні властивості фосфатів знаходяться в прямій залежності від рН, яке вони створюють: три-натрійфосфат, що має найбільш лужну реакцію, краще захищає сталь від корозії, ніж двозаміщений фосфат.

Слабкі захисні властивості однозаміщеного фосфату обумовлені підкислюванням середовища в результаті його гідролізу.

Фосфати  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  і  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , як показали наші досліджень, здатні при концентраціях, що не забезпечують повний захист, збільшувати справжню швидкість корозії (рис. 2.3.2.2.), що пов'язано з частковою пасивацією електрода, що приводить до зміщення потенціалу електрода в позитивну сторону. Однак це зміщення потенціалу не таке велике, щоб вивести потенціал стали за потенціал повною пасивації, тому реальна швидкість корозії збільшується. При достатніх концентраціях фосфатів корозія повністю пригнічується.

Дослідження складу захисних плівок, що утворюються на сталі у присутності фосфату, методом електронної дифракції показало, що плівки, що утворюються з  $\text{u-Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{FePO}_4$ -, складаються із суміші  $2\text{H}_2\text{O}$ . При використанні  $\text{NaPO}_4$ .

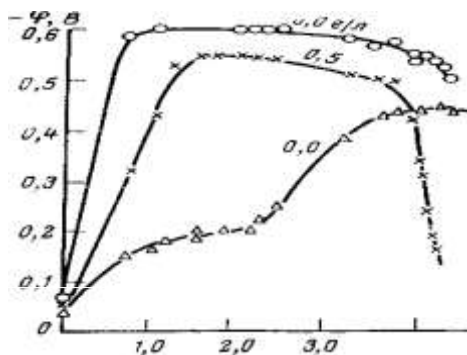
В останні роки поліфосфати широко використовуються як інгібітори, а також застосовуються в США для обробки природних вод, а також для захисту циркуляційних систем охолодження від корозії та відкладення солей кальцію. Поліфосфат одержують у результаті термічної дегідратації  $\text{NaH}_2\text{HPO}_4$  та, як вважають, мають склад гексаметафосфату натрію  $(\text{NaPO}_3)_6$ .

Розенфельд першим виявив, що додавання до води незначних концентрацій поліфосфатів запобігає осаду карбонатів кальцію з природних вод, а вже в 1956 р. більше 200 муніципалітетів в США віддали перевагу в комунальному водопостачанні застосовувати поліфосфати для запобігання корозії, карбонатних відкладень, а також для стабілізації розчинних у залізо-марганцева вода. Мінімальна концентрація поліфосфату, необхідна для запобігання корозії низьковуглецевих сталей, залежить від складу води та швидкості її міграції. Від 0,5 до 100 мг/л зазвичай використовуються для обробки прісної води та води, що містить хлориди, але в більшості випадків вони обмежені концентраціями 10 мг/л або навіть нижче.

Поліфосфати також ефективно захищають сталь від корозії у морській воді (> 4000 мг/л).

Більшість дослідників вважають, що поліфосфати найбільш ефективні в рухомій воді. Проте в роботі повідомляється, що вдалося захистити від корозії сталь в нерухомому електроліті (2500 мг / л NaCl), ввівши до його складу 140 мг / л гексаметафосфата натрію (ГМФ) і 100 мг / л солей кальцію в розрахунку на кальцій. Для електроліту, що містив 25000 мг / л NaCl, знадобилося 210 мг / л гексаметафосфата (у перерахунку на  $\text{NaPO}_3$ ) і 500 мг / л кальцію.

Іони двовалентних металів, особливо кальцію, забезпечують ефективніший захист поліфосфатів. Кальцій завжди присутній у природних водах і зазвичай не потребує додавання. Відношення концентрації іонів кальцію до поліфосфату має бути не менше 0,2, переважно 0,5. Додавання солей кальцію необхідно лише для конденсованої чи м'якої води. Останній все ж таки потрібен, але цинк ефективніший, ніж кальцій. Також потрібна певна концентрація кисню у воді. За відсутності кальцію мінімальний вміст кисню у воді має бути 1 мл/л, за наявності кальцію концентрація кисню може знижуватися до 0,15. мілілітр/літр. Оптимальний  $\text{pH} = 5/7$ . У лужних середовищах поліфосфати можуть викликати піттинг або



точкову корозію.

Рис. 2.3.2.2. Вплив добавок гексамета-фосфату натрію на електродний потенціал заліза

Переваги поліфосфатів перед іншими інгібіторами в тому, що вони нетоксичні і забезпечують захист при малих концентраціях. До недоліків поліфосфатів слід віднести здатність до перетворення в ортофосфат, який сприяє карбонатним відкладенням. Однак у дистильованій воді при кімнатній температурі протягом 30



діб перетворюється на ортофосфат лише 10% поліфосфату. При 85 ° С і рН = 7/9 захисна дія поліфосфатів зберігається протягом 24 год. При 99 °С максимальну кількість поліфосфатів, що перетворюється в ортофосфат, досягає за 6 год 40%. Стабільність поліфосфатів падає із зменшенням рН і в присутності кальцію.

Механізм дії поліфосфатів дуже складний і служить двом цілям: захищає метал від корозії та запобігає відкладенню карбонату кальцію. Коли ми досліджували вплив гексаметафосфату натрію (ГМФ) на електродний потенціал сталі, виявили, що потенціал значно зміщується в негативну сторону. Експериментально підтверджено, що цей поліфосфат здебільшого уповільнює катодну реакцію. Певний позитивний зсув потенціалу спостерігається з часом. Очевидно, це пов'язано з підвищеною міцністю захисної плівки, яка частково уповільнює анодну реакцію.

Гексаметафосфат натрію має здатність створювати з іонами кальцію та іншими іонами металів розчинні комплекси, в результаті чого іони кальцію, а також заліза утримуються в розчині. Саме це запобігає утворенню карбонатних відкладень кальцію і заліза, що погіршують теплопередачу. При надлишку іонів кальцію утворюється важкорозчинних сполук  $\text{Ca}_5(\text{P}_3\text{O}_{10})_2$ , тому необхідно суворо притримуватись співвідношення концентрацій поліфосфатів та іонів кальцію.

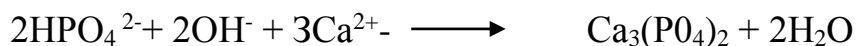
Для запобігання утворення накипу і випадання заліза у вигляді карбонатів найбільш ефективними поліфосфатами являються гексаметафосфат натрію і метатріполіфосфат  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ . При їх взаємодії з солями кальцію утворюються розчинні комплексні сполуки



Для повного комплексо утворення необхідний деякий надлишок поліфосфату. Призначення останнього - зрушити дисоціацію комплексу настільки, щоб утримати якомога більшу кількість іонів кальцію в комплексі. Деякі автори пояснюють зменшення накипоутворення адсорбцією поліфосфатів на кристалічних площинах, що викликає припинення росту кристалів. Поліфосфати частково входять до складу плівок, виникаючих на поверхні металу, і покращують їх захисні властивості. Ці

плівки складаються в основному з  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , тому не погіршують теплопередачу і захищають метал від корозії.

Шклярська-Смяловська з співр. вважає, що навіть у присутності кисню та іонів кальцію поліфосфати безпосередньо не є інгібіторами. Захисні властивості проявляють лише продукти гідролізу ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), які разом з іонами гідроксилу, що виникають на електроді при відновленні кисню, сприяють відкладенню фосфату кальцію на металі по реакції :



Як видно, цей інгібітор значно уповільнює корозію як у розчинах з низькою концентрацією хлоридів (25 мг/л NaCl), так і в розчинах з високою концентрацією хлоридів (2500 мг/л NaCl), ефект посилюється за наявності іонів кальцію в електроліті та цинку, а також зі збільшенням швидкості перемішування електроліту. За відсутності двовалентних іонів швидкість корозії стали збільшується у присутності  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .

Це представляє великий інтерес, тому що ортофосфат є продуктом перетворення гексаметафосфату. У присутності іонів двовалентних металів негативний вплив ортофосфату послаблюється та знижуються концентрації, необхідні для захисту сталі від корозії. Особливої уваги заслуговують результати, отримані в кон-центрованих розчинах хлоридів (близьких до морської води). При підвищенні концентрації іонів кальцію від 100 до 500 мг / л швидкість корозії, рівна -3 мг / (дм<sup>2</sup>-сут), досягається при зниженні концентрацій поліфосфатів з 400 до 140 мг / л. Мінімальне ставлення кальцію до фосфору дорівнювало 0,8-М, 0, що близько до раніше знайденим значенням 0,7 і відповідає відношенню кальцію до гексаметафосфатом не менше .

Вища швидкість руху води збільшує захисний ефект гексаметафосфату у поєднанні з іонами кальцію. У розведеному розчині хлориду (25 мг/л) за підтримки концентрації гексаметафосфату на рівні 12 мг/л і концентрації кальцію на рівні 8 мг/л швидкість міграції електроліту склала 200 см/л. s дає 93% захисту. При однаковій швидкості міграції електроліту концентрованому розчині хлориду (2500

мг/л) швидкість корозії сталі становить від 2000 мг/(дм<sup>2</sup>\*сут) до 100 мг/(дм<sup>2</sup>\*сут). А також кальцій та цинк.

При ефективному захисті (у присутності відповідних концентрацій гексаметафосфату та іонів кальцію чи цинку) поверхня сталі покривається тонкою в'язкою плівкою. Склад плівки, що утворилася на металі протягом 84 діб в електrolіті, що містить 2500 мг/л NaCl, 100 мг/л HMF і 60 мг/л кальцію, був метафосфат натрію (NaH) FeCa(P<sub>03</sub>)<sub>5</sub>.8H<sub>2</sub>O.

Дослідження Бутлера показали, що за допомогою гексаметафосфата натрію і солей кальцію можна призупинити і почалася корозію (рис. 2.4). При цьому сформувалася на поверхні сталі плівка зберігає свої захисні властивості протягом певного часу (14 діб) і в тому випадку, коли зразок переноситься в не інгібований електrolіт. Це означає, що фосфати забезпечують ефект післядії, тобто немає необхідності в постійній подачі інгібітору. Досліди (1', 2', 3', рис. 2.3.2.4.) були поставлені таким чином, що з 27 дібзразки перебували 13 діб в електrolіті з інгібітором і 14 діб в електrolіті без інгібітору.

Щодо можливого механізму посилення корозії поліфосфатами було висловлено такі точки зору. За відсутності іонів двовалентних металів (Ca, Zn) гексаметафосфат може діяти як інгібітор корозії, так і активатор. При малих швидкостях міграції в електrolіті та малих концентраціях інгібітора в переважних комплексах проявляються комплексоутворюючі властивості гексаметафосфату. Це прискорює анодну реакцію і прискорює корозію. У міру збільшення концентрації гексаметафосфату межа розчинності комплексу може бути перевищена, що призводить до осідання плівки на поверхні металу та уповільнення анодної реакції.

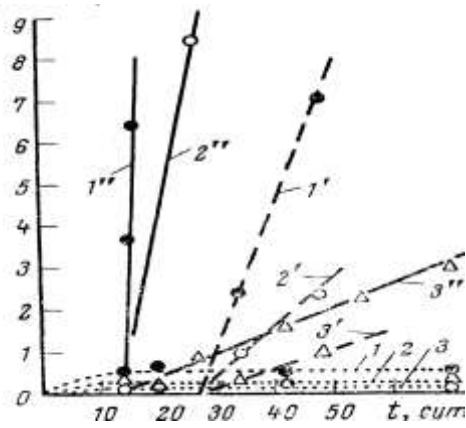


Рис. 2.3.2.4. Зміна корозії маловуглецевої сталі в часі в розчині, що містить 2500 мг / л NaCl, при різних швидкостях руху розчину (1-200; 2-20; 3-1,2 см / с) в присутності 100 мг / л ГМФ + 60 мг / л Са (1',2',3') і без інгібітору (1'', 2'', 3'').

Порівнюючи захисні властивості поліфосфатів (ГМФ) з хроматами і нітритами, Бутлер приходять до висновку, що поліфосфати мають значні переваги. Хоча в чистій воді захисні концентрації хромату і нітриту натрію нижче, ніж у гексаметафосфата, в розчинах хлоридів становище змінюється (табл. 2.3.2.1.).

Як видно, при використанні гексаметафосфату натрію у поєднанні з кальцієм можна отримати захист навіть за набагато нижчих сумарних концентрацій цих інгібіторів у порівнянні з хроматом натрію та нітритом.

На закінчення наведемо таблицю (табл. 2.3.2.1.), що узагальнює дані про захисні концентрації досліджених неорганічних інгібіторів.

Привертають увагу низькі значення захисних концентрацій для інгібіторів, що утворюють важкорозчинні сполуки, і майже однакові значення для інгібіторів, що містять звичайні аніони, крім метаванадату. [3]

Таблиця 2.3.2.1.

Захисні концентрації хромату, нітриту та гексаметафосфату натрію для заліза в розчині NaCl

C NaCl, мг\л	C зах, мг\л			
	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	NaNO <sub>2</sub>	(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> + Ca	
			(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	Ca
0	40	14	110	24

2500	3300	1400	170	100
25 000	170 000	15000	210	50

Таблиця 2.3.2.2

Захисні концентрації інгібіторів в 0,1 н. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> для заліза

Інгібітор	С зах., моль\л	Інгібітор	С зах., моль\л
Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	0.062	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.075
LiCrO <sub>4</sub>	0.046	Na <sub>2</sub> HCO <sub>3</sub>	0.357
NH <sub>4</sub> CrO <sub>4</sub>	0.052	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0.26
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0.068	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.055
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0.060	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	не захищає
NaVO <sub>3</sub>	0.245	NaBO <sub>3</sub>	0,0314
NH <sub>4</sub> VO <sub>2</sub>	0.427	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,021
Na <sub>3</sub> VO <sub>4</sub>	0.100	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	0,060
KMnO <sub>4</sub>	0.126	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COONa	0,210
NaNO <sub>2</sub>	0.145		

### 2.3.3. Силікати

Силікати, представляють собою з'єднання змінного складу  $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ , утворюють у водних розчинах складні колоїдні системи, що володіють специфічними фізико-хімічними властивостями. Знання цих властивостей багато в чому визначає успішність захисту металів від корозії силікатами. Розчини високомодульних натрієвих силікатів містять такі частинки:

- 1) іони  $\text{Na}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ ,  $n\text{SiO}_3^{2-}$ ;
- 2) молекули  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{NaOH}$ ;
- 3) комплексні утворення  $(\text{SiO}_3)_x$ ,  $(\text{H}_2\text{SiO}_3)_x$ ,  $(\text{SiO}_2)_x$ ,  $[(m\text{SiO}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O})]^{2-}$ ,  $(\text{SiO}_2)_x \cdot n\text{H}_2\text{O} \cdot y\text{SiO}_3$

Зважаючи на складний склад таких колоїдних систем захисні властивості силікатів сильно залежать від рН середовища, температури і вмісту солей в електроліті, що сприяють осадженню колоїдних частинок. Стійкість золів  $\text{SiO}_2$  в сильному ступені залежить від концентрації водневих іонів. Певні значення рН розчину сприяють надмірному укрупненню частинок кремнезему і випадання гелю.

Останнє часто призводить до нерівномірного покриття поверхні, що захищається і розвитку місцевої корозії.

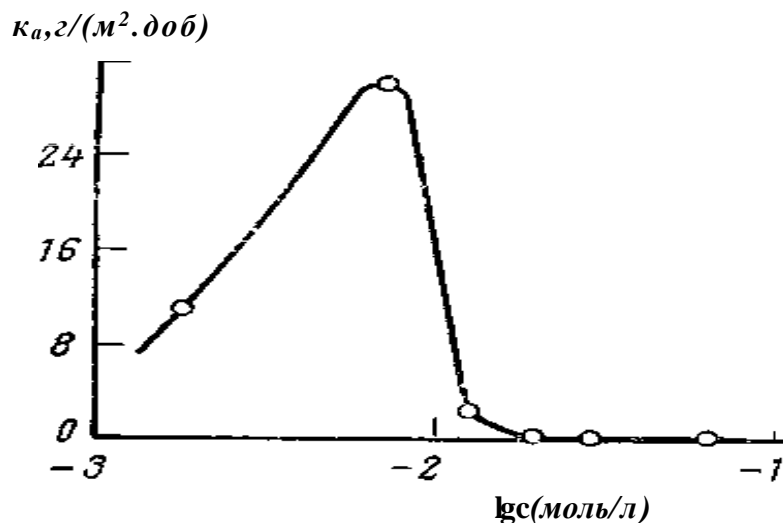


Рис. 2.3.3.1. Залежність чинної швидкості корозії металів від концентрації силікату натрію в 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Тому надзвичайно важливо встановити межі рН, при яких коагуляція не спостерігається. Кислі та лужні розчини, як правило, сприяють стабільному станом золю  $\text{SiO}_2$ .

Через нестабільність колоїдних систем силікати є малоефективними інгібіторами в середовищах, де концентрація солей велика. Останні викликають швидку коагуляцію силікатів і осадження їх у вигляді пластівчасті осаду.

Силікати вельми ефективно сповільнюють корозію лише в середовищах, що містять невеликі концентрації солей (100-500 мг / л).

При захисті від корозії велике значення має і модуль силікату, який представляє відношення числа молекул кремнезему до числа молекул лужногооксиду ( $m / n$ ). Для сталі, як показали наші дослідження, найбільш ефективними є силікати з модулем 2,4. Для алюмінієвих сплавів - силікати з більш високим модулем.

Залежність істинної швидкості корозії від концентрації силікату натрію в 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  показаний малюнку 1. 2.3.3.1 Низькі концентрації інгібітора збільшують швидкість корозії. Високі концентрації чудово захищають сталь. Аналогічна

залежність спостерігається при більш розведеному електроліті (30 мг/л NaCl + 70 мг/л Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Було виявлено, що концентрації силікатів (10-100 мг/л), ефективні для захисту від корозії в проточних системах, значно не знижують корозію в закритих системах, що містять статичні кількості електроліту. Для ефективного захисту таких систем потрібні набагато вищі концентрації силікатів. Низькі концентрації силікатів зазвичай збільшують швидкість корозії. Однак ця корозія відрізняється від корозії, що спостерігається при низьких концентраціях хроматів та нітритів. Місцеві ознаки менш виражені, і замість ямок та виразок локальні осередки корозії займають відносно великі площі. Цей вид локальної корозії менш небезпечний, ніж виразкова, і в цьому відношенні силікати перевершують хромати та нітриту натрію.

Як згадувалося, захисні властивості силікатів залежить від температури. З підвищенням температури захисна концентрація інгібітора зростає. Однак у присутності нітриту натрію ми спостерігаємо безперервне зростання корозії з підвищенням температури, тоді як у присутності силікату корозія змінюється з підвищенням температури за тим самим законом, що у вихідному електроліті. Вона підвищується до 50 ° C, а потім починає знижуватися. Це тим, що силікат неспроможна виступати ролі катодного деполяризатора. Проте часткова пасивація електродів може призвести до посилення корозії через збільшення швидкості нормальних процесів катодного відновлення кисню.

При додаванні силікату електродний потенціал сталі в розведеному електроліті зміщується в негативну сторону і поступово стає все більш негативним. Це свідчить про придушення катодних процесів. При високих концентраціях силікату поблизу захисного шару потенціал сталі зміщується у позитивну сторону. Здатність силікатів зрушувати потенціал заліза як у негативну, і у позитивну бік залежно від концентрації свідчить про те, що це інгібітор втручається як і анодні, і у катодні реакції. Вивчення кінетики електродної реакції підтвердило цей висновок. Катодна поляризація заліза у присутності силікату значно зростає та зникає ділянку

кривої, характерну для реакції відновлення кисню. Електроди відразу починають працювати у дифузійному режимі.

При малих концентраціях силікату в електролітах, що не змішуються, анодна поляризація заліза змінюється слабо. При високих концентраціях збільшується перенапряга анодного процесу, що ускладнює анодне розчинення.

Щодо молекулярного механізму дії силікатів ми маємо такі припущення: Як уже згадувалося, силікатні розчини містять складні колоїдні частинки з негативно зарядженими іонами або негативними зарядами. Позитивно заряджені іони заліза, які накопичуються там, де починаються корозійні процеси, взаємодіють із іонами силікатів із заснуванням феросилікатів. Останній швидко осідає та уповільнює анодний процес. Подальша адсорбція колоїдних міцел відбувається вже на нових ділянках, де починається корозія, поки на металі не утворюється суцільна захисна плівка.

За іншим механізмом передбачається, що захист досягається за рахунок утворення плівки, що складається з гелю аморфного кремнію і гідрату оксиду заліза, нанесених на поверхню металу. плівки на металі разом із гідратом оксиду заліза. .

Силікат також захищає свинець, олово та алюміній від корозії. Їх вводять у спеціальні препарати, що використовуються для захисту свинцевих та алюмінієвих оболонок кабелів. Захист алюмінію в процесі виробництва та пакування косметичних засобів забезпечується введенням невеликих кількостей високоеластичних силікатів, що в основному мають лужні властивості. Високоеластичні силікати зменшують корозію алюмінію в содових розчинах. До 1 н достатньо. Додайте до  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,025%  $\text{SiO}_2$ , щоб практично зупинити корозію алюмінію. Силікати широко використовуються для травлення алюмінієвих сплавів лугом перед анодуванням. Просочення анодного покриття розчином високоеластичного силікату ( $m/n = 3,2$ ) підвищує захисні властивості покриття на анодованих алюмінієвих сплавах у кілька разів.



Силікати знижують корозійну дію води на залізобетонні конструкції. Силікатизація ґрунту, що здійснюється шляхом нагнітання силікатного розчину в шар ґрунту, що примикає до залізобетону, захищає арматурну сталь від корозії [3].

## 2.4. Інгібітори оксидної пасивації

Хлорати та нітрити зазвичай визначаються як інгібітори пасивації оксидів хромату, бензоати та ванати натрію та калію.

Найбільш поширеним інгібітором оксидної пасивації є нітрит натрію ( $\text{NaNO}_2$ ). Однак  $\text{NO}_2^-$  є аніоном, тому його шлях до катода складний, як час перебування в катодній зоні.

Коли сильні акцептори електронів (такі як карбоксильні або нітрогрупи) приєднані до бензольного кільця, заміщення  $\pi$ -електронів на ці групи знижує загальну електронну щільність бензольного кільця. Це викликано тим, що у цих групах вуглець і азот, що утворюють зв'язок з вуглецем бензольного кільця, заряджені позитивно і можуть утворити зв'язок тільки за рахунок атома вуглецю.

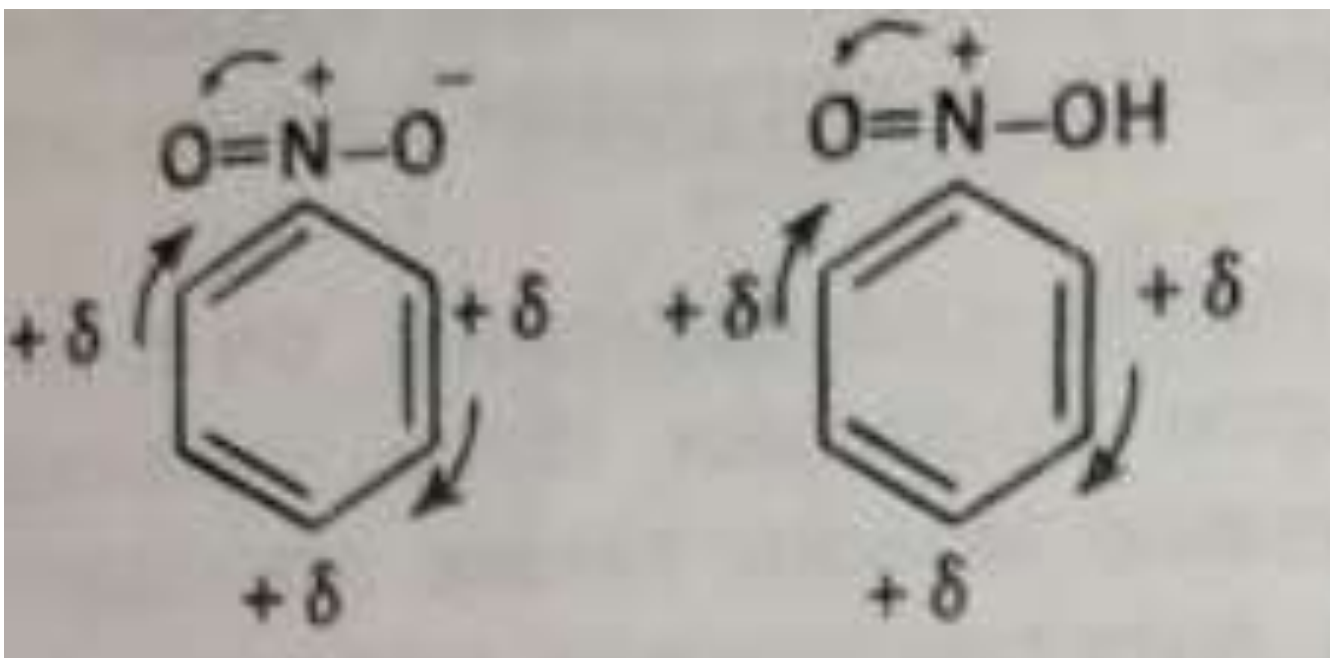


Рис.2.1. Введення нітро-групи у бензольне кільце

При введенні в бензольне кільце як нітро, так і карбоксильної групи розподіл електронної щільності та вплив на  $\pi$ -електрони залежать від їхнього взаємного розташування. Нітробензоат-аніон має великі розміри та здатність до трансформації. Тому він підходить для катода. Дослідження [12] показують, що облік цих міркувань дозволяє створювати сполуки, що легко відновлюються у багатьох металах при корозії, потенціал зміщується в зону пасивації. Таким чином, механізм дії метанітробензойної кислоти полягає у промотуванні реакції, що протікає на катоді [13].

## 2.5. Захист сталі від корозії синергічними сумішами інгібіторів

Синергізм - це сумарний ефект, який полягає у тому, що при взаємодії двох або більше компонентів їхня дія суттєво переважає ефект кожного окремого компонента у вигляді простої їхньої суми

Органічний луг може придушити корозію заліза в нейтральному середовищі. У дистильованій воді піридинова основа ( $C_{10}H_{13}N$   $10^{-1}$  –  $10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>) < аліфатичний амін ( $1,5 \cdot 10^{-2}$  –  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>) посилюється. ) <діаміну ( $7 \cdot 10^{-3}$  –  $2,5 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>). У агресивніших водних розчинах хлоридів у більшості випадків навіть добавка окремих лугів не забезпечує повного захисту сталі, навіть у значних кількостях у розчині. Так, для сталі 08кп 0,1 М NaCl захисні концентрації більш ефективних інгібіторів - аліфатичних діамінів (гексаметилендіамін, етилендіамін) становлять 0,2 - 0,3 моль/дм<sup>3</sup>. Приблизно від 0,12 до 0,13 моль/дм<sup>3</sup> нітриту натрію потрібно для постійного повного захисту у розчинах хлориду.

При сумісному застосуванні взаємне посилення (синергізм) захисних властивостей у композиціях амін- $NaNO_2$  притаманно всіх реакційних рядів органічних лугів. Досяжний захисний ефект значно перевершує інгібуючий ефект окремих речовин суміші та дозволяє багаторазово знизити дію захисної концентрації компонентів комбінації. Наприклад, у сумішах з гексаметиленом або етилендіаміном концентрація  $NaNO_2$  може бути знижена до  $1,45 \cdot 10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup> (1

г/дм<sup>3</sup>), а самого аміну - з  $2 \cdot 10^{-1}$  до  $1,1 \cdot 10^{-1}$  відповідно при  $7$  і  $10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>, повністю захищаючи метал в  $0,1$  М розчині NaCl. Це важливо не тільки з економічного погляду, але й з екологічного. Можна зменшити концентрацію одного компонента та збільшити вміст іншого. Використання комбінованих інгібіторів дозволяє уникнути швидкого виникнення локальної корозії через несподіване падіння концентрації або підвищений вміст активуючих аніонів в агресивних середовищах. Синергічні композиції характеризуються вираженою післядією.

Як видно із рис. 2.4.1, введення невеликих кількостей чистих амінів в  $0,1$  М NaCl зрушує початковий корозійний потенціал і область активного розчинення сталі в позитивну сторону за рахунок гальмування анодної реакції. Швидкість відновлення кисню мало змінюється. Концентрація NaNO<sub>2</sub>, що дорівнює  $1$  г/дм<sup>3</sup>, далека від захисної та не забезпечує ефективного інгібування корозії. У присутності сумішей NaNO<sub>2</sub> та амінів, що містять компоненти у захисних концентраціях, відбувається різка зміна кінетики анодного процесу. Застосування інгібуючих складів пригнічує активну дію іона Cl<sup>-</sup> і забезпечує стабільний пасивний стан металу, що досягається в часі (рис. 2.4.1, анодні криві 3', 4').

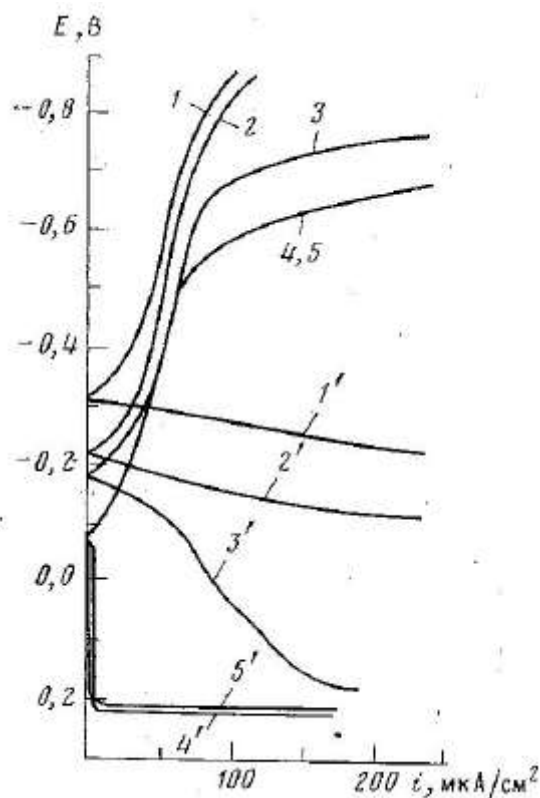


Рис. 2.4.1. Поляризаційні криві сталі 08кп в 0,1М NaCl чистому (1,1') та з добавками (моль/л): 2,2' – 0,01 морфоліну; 3,4 – 3',4' – 0,01 морфоліну + 1г/л NaNO<sub>2</sub>; 5,5' – 0,0085 диетаноламіну + 1 г/дм<sup>3</sup> NaNO<sub>2</sub>.

Суміш нітриту натрію та аміну практично не впливає на граничний струм відновлення кисню. При негативних значеннях потенціалу -0,6 спостерігається характерне відновлення нітриту до аміаку. Зважаючи на передбачуваний механізм інгібуючої дії солей амінів з неорганічними кислотами-окислювачами, можна припустити, що синергетичний ефект у сумішах амінів з низьким вмістом NaNO<sub>2</sub>-компонентів обумовлений адсорбцією луку на активних ділянках. Зменшення активної поверхні металів та посилення пасивації при специфічній одночасній адсорбції нітриту. Відповідно, можна варіювати співвідношення компонентів захисної суміші аміну та пасиватора, тим самим зменшуючи концентрацію одного компонента і збільшуючи концентрацію іншого присутнього компонента, або навпаки. При розгляді механізму захисної дії сумішей слід враховувати здатність амінів адсорбуватися на своїх органічних складових - оксидних плівках. Слід зазначити, що можливість зміни сполук синергетичного складу важлива не лише з погляду екології та доступності сировини, а й з теоретичної точки зору – залежно від агресивності докільця та корозійно-агресивних умов. електрохімічна поведінка металу, що захищається.

### РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.

Експериментальна частина присвячена дослідженню електрохімічної поведінки сталі 08кп у водно-сольовому розчині (по 0.3 г/дм<sup>3</sup> NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>) у присутності інгібіторів сольової і оксидної пасивації. Під час дослідження були використанні методи знаття потенціостатичних кривих (для пояснення інгібуючої дії інгібіторів), масометричний метод (визначення швидкості корозії).

#### 3.1. Вихідні данні.

##### 3.1.1. Сталь 08кп.

Характеристика, хімічний склад, властивості, твердість.

Хімічний склад

Хімічний елемент	%
Кремній (Si), не більше	0.03
Мідь (Cu), не більше	0.25
Арсен (As), не більше	0.08
Манган (Mn)	0.25-0.50
Нікель (Ni), не більше	0.25
Фосфор (P), не більше	0.035
Хром (Cr), не більше	0.10
Сірка (S), не більше	0.04

Температура критичних точок

Критичні точки	°C
Ac1	732
Ac3	874
Ar3	854

Ar1	680
-----	-----

Фізичні властивості сталі 08кп

Температура випробовування, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Модуль нормальної пружності, Е, ГПа	203	207	182	153	141					
Густина, $\rho$ , кг/см <sup>3</sup>	7871	7846	7814	7781	7745	7708	7668	7628	7598	7602
Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м · °С)	63	60	56	51	47	41	37	34	30	27
Питомий електроопір ( $\rho$ , НОм · м)	147	178	252	341	448	575	725	898	1073	1124
Температура випробовування, °С	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000
Коефіцієнт лінійного опору ( $\alpha$ , 10 <sup>-6</sup> 1/°С)	12.5	13.4	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3	14.7	12.7	13.8
Питома теплоємність (С, Дж/(кг · °С))	482	498	514	533	555	584	626	695	703	695

**3.1.2 м-нітробензойна кислота (Таблиця 3.4)**

Назва показника	Показники якості	Результати аналізу
Масова доля основної речивинни	99,5	99,6
Температура плавлення, °С	140-142	141

### 3.1.3 Силікат натрію, п'ятиводний (Таблиця 3.5)

№	Показник	Норматив/Результати аналізу
1	Масова частка оксиду натрію (Na <sub>2</sub> O), %, не менш ніж	29,10
2	Масова частка діоксиду кремнію (SiO <sub>2</sub> ), %, не менш ніж	28,49
3	Зовнішній вигляд	Білий порошок
4	Залізо, %	0,01
5	Домішки, нерозчинні у воді, %	0,08
6	Білизна, %	93,46

### 3.1.4 Фосфат натрію (Таблиця 3.6)

Найменування продукції	Натрій фосфорнокислий 3-заміщений б/в (PRAYON S.A.)		
Хімічна формула	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		
Кваліфікація	чда		
Стандарт якості	НТД		
Дата виготовлення	05.2017 г		
Гарантійний термін зберігання	3 роки		
Партія	1000622		
Виробник	Франція		
№	ПОКАЗАТЕЛЬ	НОРМАТИВ	Випробування

п/п			
1.	рН	8,4...9,3	9,0
2.	Масова частка основної речовини, %	$\geq 98,0$	99,9
3.	P2O5, %	49,0...51,0	50,0
4.	Нерозчинні продукти, %	$< 0,20$	$< 0,05$
5.	Втрати, %	$< 5,0$	0,12
6.	Густина, г/см <sup>3</sup>	0,70...1,10	0,82
7.	Фториди, ppm	$< 10$	10
8.	Важкі метали, ppm	$< 10$	10
9.	Арсен (As), ppm	$< 2,0$	2,0
10.	Свинець (Pb), ppm	$< 2,0$	2,0
11.	Ртуть (Hg), ppm	$< 1,0$	1,0
12.	Кадмій (Cd), ppm	$< 1,0$	1,0

## 3.2 Методика виконання роботи

### 3.2.1 Масометричне визначення швидкості корозії

Швидкість перебігу корозії сталі марки 08кп у нейтральному фоновому водносолевому розчині й у розчинах з інгібуючими добавками визначалася масометричним методом за ГОСТ 9.506-87 протягом 168 годин за температури 17°C.

В якості зразків сталі використовували тонкі сталеві пластинки, із загальною площею поверхні 10см<sup>2</sup>. Підготовка зразків до зважування виконувалася за допомогою наждакового паперу зі зменшенням зернистості Р240, Р500, Р800. Після обробки наждаковим папером сталеві зразки ретельно промивали почергово стічною водою, концентрованим розчином С<sub>2</sub>Н<sub>5</sub>ОН і дистильованою водою. Після чого

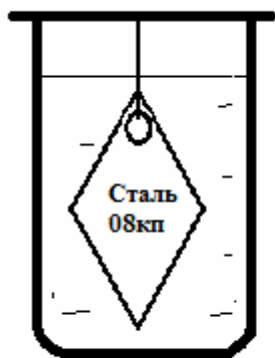


зразки сталі складали на фільтрувальний папір і ставили у сушильну шафу марки , за температури 65°C на 8 хв.

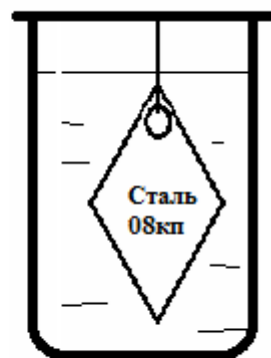
Після попередньої обробки сталевих зразків марки 08кп, відбувалося зважування останніх на лабораторних аналітичних терезах («OHAUS»® «Pioneer»™) з точністю до четвертого знаку. Далі ми провели підвішування зразків за допомогою жилки ( $\varnothing=1$  мм.) на скляні стрижні, які були поміщені в хімічні стакани місткістю 250мл. Зразки сталі 08кп розміщувались таким чином, щоб від стінок та дна була дистанція, приблизно 1 см.

Розчини інгібіторів і композицій були підготовані на основі фонового розчину моделі водопровідної води (МВВ) наступного складу: 0,3г/дм<sup>3</sup>, NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, NaNO<sub>2</sub>.

Стакани зі зразками досліджуваної сталі, що підвішені на жилці, заповнювали попередньо підготовленими розчинами інгібіторів об'ємом 100см<sup>3</sup>, співвідношення об'єму розчину до площі зразка становило 10:1. Випробування проводили протягом 168 годин за температури 17°C. Після закінчення тривалості випробування зразки промивали під стічною водою, протирали м'яркою губкою і висушували у сушильній шафі. Потому, після висушування відбувалося зважування випробуваних зразків на електронних терезах. Надалі обраховували почергово масометричний показник ( $K_m$ ), коефіцієнт гальмування ( $\gamma$ ), ступінь захисту ( $Z$ ).



**Фоновий розчин МВВ**



**Фоновий рочин + Інгібітор**

### Рис 3.1. Випробування

#### 3.2.2 Метод ізомолярних серій

##### Поняття

Щоб визначити синергічні екстремуми ефективності застосування бінарних композицій інгібуючих речовин на основі м-нітробенової кислоти, нітриту натрію та силікату і фосфату використовувався метод ізомолярних серій. Сутність методу полягає у експлуатації розчинів з різним співвідношенням молярних концентрацій компонентів між собою з концентрацією, яка є сталою у бінарних сумішах розчинів.

##### Таблиці приготування розчинів

Таблиця 3.7. Серія 1. Силікат натрію та м-нітробензоат натрію (сумарна концентрація 0,01 моль/дм<sup>3</sup> та рН 11,8)

№ Стакану	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (моль/дм <sup>3</sup> )	М-нітробензоат натрію (моль/дм <sup>3</sup> )
1	0,0100	0,0000
2	0,0067	0,0033
3	0,0050	0,0050
4	0,0033	0,0067
5	0,0000	0,0100

Таблиця 3.7. Серія 2 моноетаноламін та м-нітробензойна кислота (сумарна концентрація 0,01 моль/дм<sup>3</sup> та рН 11,6)

№ Стакану	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (моль/дм <sup>3</sup> )	NaNO <sub>2</sub> (моль/дм <sup>3</sup> )
1	0,0100	0,0000
2	0,0067	0,0033
3	0,0050	0,0050

4	0,0033	0,0067
5	0,0000	0,0100

### 3.2.3 Потенціометрія

Для вимірювання рН середовища користуються метод прямого потенціометричного аналізу. Для визначення активності  $H^+$ -іонів використовують електроди-індикатори, які у широких областях рН підпорядковні лінійному рівнянню виду:

$$E = E^0 + b_0 \log a_{H^+} \text{ або } E = const - b_0 pH$$

$$\text{Де } b_0 = \frac{2,303 \cdot RT}{F}$$

Створені йоноселективні електроди відносно  $H^+$ -іонів, що дозволяють вибірково визначати активність цього йону (водневий, скляний, комбінований, хінгідродний тощо) та здійснювати різноманітні експериментальні заміри або вчислення на їх основі.

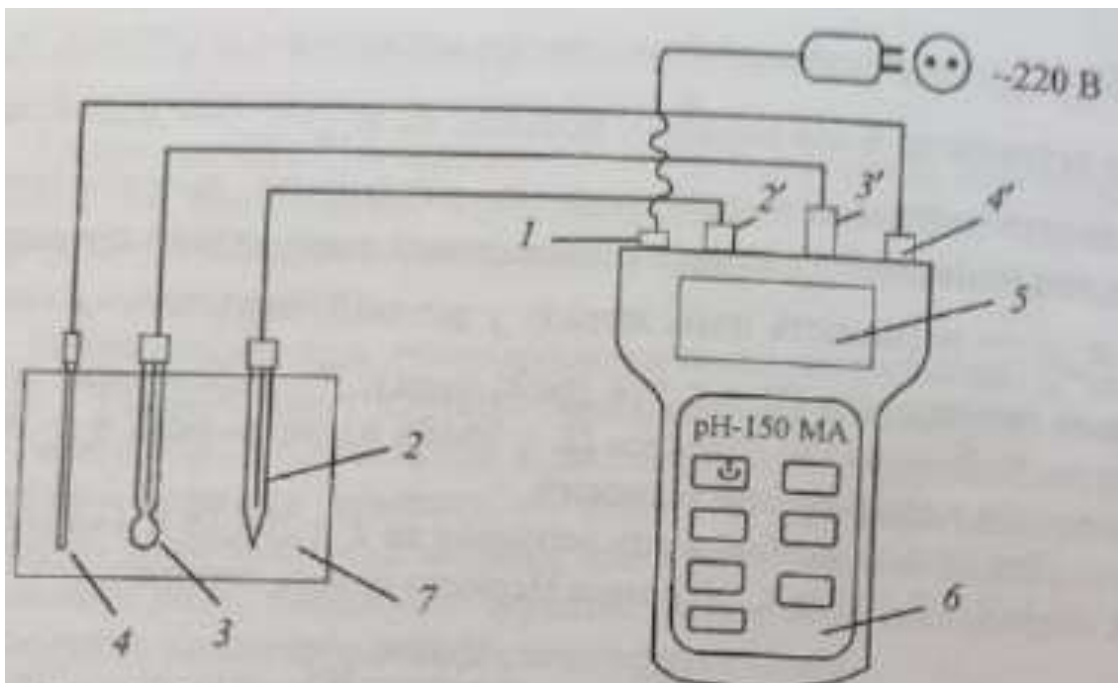


Рис 3.2. Схема устаткування для потенціостатичних вимірювань:

1 – гніздо підключення блоку мережевого електричного живлення; 2,2' - електрод порівняння та роз'єм для його під'єднання до приладу; 3,3' - скляний або комбінований індикаторний електрод та роз'єм для його під'єднання до приладу; 4,4' - датчик температури та роз'єм для його під'єднання до приладу; 5 – рідкокристалічний дисплей; 6 – панель керування; 7 – досліджуваний розчин.

Для визначення значення рН розчинів застосовують скляний індикаторний електрод з хлорсрібним порівняльним електродом. Нами був використаний комбінований електрод, що уособлює у собі обидва ці електроди. При зануренні у досліджуваний розчин електрод починає створювати електрорушійну силу (ЕРС), яка пропорційна рН або співвідношенню концентрацій окисненої та відновленої форм речовини. Значення ЕРС пари або рН відображається на дисплей.

Корозійний потенціал зазвичай визначають використовуючи високоомний вольтметр. Вимірювання відбуваються допоки, доки вольтметр не починає показувати стабільні значення (як правило, 20-30 хв), що значить про урівноваження катодної та анодної реакції. Оскільки корозійний потенціал не є рівноважним потенціалом, то його неможливо розрахувати, використовуючи рівняння Нернста.

Зважаючи на те, що під час вимірювання електродного потенціалу (рис 3.3) ми були неспроможні використовувати водневий електрод, замість нього ми користувалися хлорсрібним електродом. Потенціал хлорсрібного електроду відносно водневого нам відомий й становить  $+0,201 \pm 3\text{В}$ . Щоб було зручніше використаємо  $+0,2\text{В}$ . Перерахунок на водневу шкалу використовує наступне просте правило: в тому випадку, коли електродний потенціал відносно хлорсрібного електроду позитивний, тоді щоб перерахувати його на водневу шкалу віднімаємо  $0,2\text{В}$ ; в тому випадку, коли електродний потенціал відносно хлорсрібного електроду негативний, тоді щоб перерахувати його на водневий додаємо  $0,2\text{В}$ .

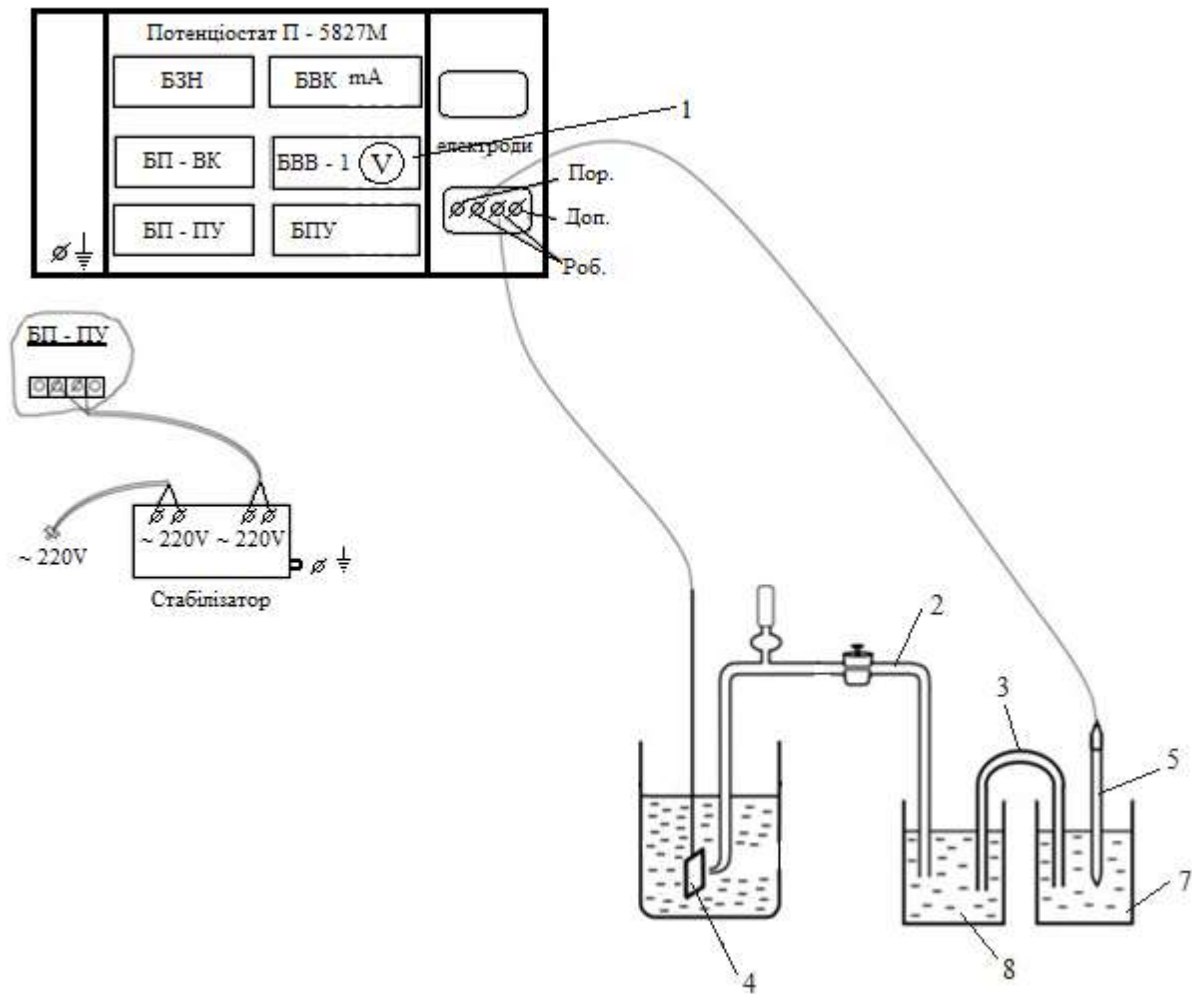
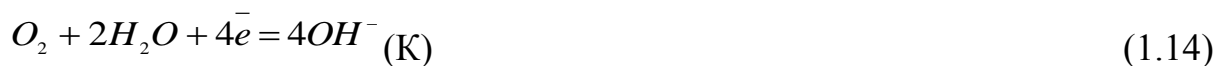


Рис 3.3. Установа для вимірювання корозійного потенціалу: 1 – високоомний вольтметр; 2 – капіляр Лугіна; 3 – агар-агаровий місток; 4 – робочий електрод, занурений у досліджуваний розчин; 5 – хлорсрібний електрод порівняння; 7 – ємність з розчином KCl; 8 – допоміжна ємність.

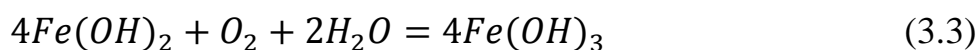
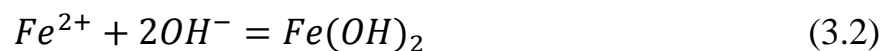
### 3.3. Обговорення результатів

Для нейтрально-водносолевих середовищ характерні корозійні процеси саме з кисневою деполаризацією. Реакція корозії на аноді полягає в окисненні заліза до іонів  $Fe^{2+}$ , а на катоді реакцією є відновлення розчиненого у воді кисню до іонів  $OH^-$ .





У розчині електроліту перебігають також і вторинні реакції корозії, продуктами яких є гідроксиди феруму (II і III).



Для захисту металів від їх електрохімічної корозії часто застосовують інгібітори корозії металів. Інгібіторами вважаються речовини, котрі гальмують швидкість перебігу корозійних процесів за рахунок утворення на поверхні металу захисних фазових плівок. За механізмом дії інгібітори поділяються на: адсорбційні, оксоаніони та інгібітори сольової пасивації. Дослідження показують, що бінарні композиції інгібіторів різного механізму дії зазвичай мають більш високі значення ефективності протикорозійного захисту, порівняно з інгібуючою дією індивідуальних складових. Раніше було показано високе значення захисних ефектів бінарних інгібіторних композицій на основі оксоаніонів і сольових пасиваторів, а саме: в сумішах нітриту з силікатом і фосфатом, а також м-нітробензоату з силікатом і фосфатом. За методом ізомолярних серій було встановлено, що наявність екстремумів протикорозійного захисту таких інгібуючих композицій спостерігається за співвідношенням молярних концентрацій нітриту та силікату або фосфату як 1:2, у м-нітробензоату та силікату як 1:2, а у м-нітробензоату і фосфату як 1:1. Результати потенціостатичних поляризаційних досліджень показали наявність області пасивації на анодній поляризаційній кривій в широкому діапазоні потенціалів (1В), а мінімальні значення густини струму повної пасивації (1-3 мкА/см<sup>2</sup>) свідчать про повний захист сталі від корозії. Суттєвим недоліком таких композицій є екологічні обмеження використання нітриту натрію, особливо у порівнянні його з м-нітробензоатом натрію. Тому виникла необхідність заміни на менш токсичний оксоаніон м-нітробензоату і порівняння їх інгібуючої ефективності,

як під час індивідуального використання так і у складі бінарних композицій інгібіторів. Метою даної роботи було дослідження та порівняння ефективності дії метанітробензоату і нітриту натрію.

Механізм інгібуючої дії оксоаніонів (у тому числі м-нітробензоату та нітриту) полягає у прискоренні тієї реакції, яка відбувається на катоді. Це відбувається за рахунок того що аніон інгібітору краще підходить до негативного катіону.

Силікати й фосфати є інгібіторами сольової пасивації. Їх захисна дія полягає в тому, що вони адсорбуються на поверхні сталі і блокують поверхні важкорозчинними солями силікатів і фосфатів з катіонами  $Fe^{2+}$ , що утворюються на початкових стадіях кородування. Гідроліз силікатів та фосфатів, що є солями сильної основи й слабкої кислоти, перебігає за аніоном з утворенням лужного середовища. Також високі концентрації гідроксид йонів полегшують пасивацію сталі та підвищують захисні ефекти. Однією з задач дослідження було визначення положення екстремумів протикорозійного захисту в композиціях досліджуваних оксоаніонів з силікатом або фосфатом. Підходящим методом для розв'язання цього завдання є метод ізомолярних серій. Він полягає у застосуванні розчинів з різними співвідношеннями молярних концентрацій компонентів у багатокомпонентній суміші зі збереженням їх однакової сумарної концентрації.

Наступним етапом дослідження було визначення областей електродних потенціалів і рН, котрі, відповідно до діаграми Пурбе дозволяють забезпечити ефективну пасивацію сталі. В нейтральному водносольовому розчині моделі водопровідної води продуктом корозії заліза є гідратовані катіони  $Fe^{2+}$ . Для забезпечення ефективного протикорозійного захисту сталі інгібіторним методом необхідно змістити електродний потенціал сталі в бік позитивних значень і Рн до 10-12. Внаслідок таких змін, система  $Fe-H_2O$  переходить в область термодинамічної стійкості гідроксиду феруму (III) за рівнянням:

Експериментальні дослідження визначення електродного потенціалу сталі і рН

розчинів в присутності інгібіторних композицій показали потенціал  $E = -0,051V_0$  і  $pH = 10,2$ . За таких електродних потенціалів і  $pH$  термодинамічно стійкою формою заліза є гідроксид феруму (III).

З графіку (рис 3.4.) можна бачити наявність синергічного екстремуму гальмування корозії за співвідношення молярних концентрацій м-нітробензоату натрію та силікату натрію як два до одного. З цього ж графіку видно відносно високу ефективність під час використання самого м-нітробензоату натрію. Це можна пояснити його подвійною дією. Карбоксильна група у м-нітробензоаті натрію надає йому властивості інгібітора сольової пасивації схожого на бензойну кислоту, а нітро-група виступає поглиначем електронів, що надає оксоаніонну дію.

З графіку (рис 3.5.) можна побачити наявність синергічного екстремуму гальмування корозії за співвідношення молярних концентрацій нітриту натрію та силікату натрію як один до одного. З цього ж графіку можна побачити високий коефіцієнт гальмування корозії з використанням чистого нітриту, однак як показали дослідження, використання чистого нітриту призводить до пітінгової корозії, під час якої продукти вторинних реакцій корозії осідають у недоступному для видалення місці, тому вони впливають на масу зразку, що не дозволяє використовувати результати вимірювання масометрії.

Для визначення значень електродних потенціалів та  $pH$ , де відбувається пасивація сталі використовували діаграму Пурбе. Ця діаграма представляє собою залежність електродних потенціалів від  $pH$  всіх рівноваг, які можливі у системі  $Fe-H_2O$ . Області, які відповідають термодинамічній стійкості певних форм заліза (сполукам або іонам) розділені лініями. У фоновому розчині, за  $pH 7,3$  і потенціалу корозії  $-0,44V$  система  $Fe-H_2O$  знаходиться у зоні гідратованих  $Fe^{2+}$ , що призводить до розчинення металу. Переведення системи  $Fe-H_2O$  у зону стійкості гідратованих оксидів феруму(III) ( $Fe(OH)_3$ ) призводить до пасивації металу – це відбувається через те, що гідроксид феруму(III) утворюючись на поверхні сталі не розчиняється у воді, блокуючи поверхню металу від доступу кисню, що зупиняє корозію.



Необхідними умовами для такого переходу є рН середовища 9 та більше, та зміщення корозійного потенціалу сталі у бік позитивних значень. За співвідношення концентрацій нітриту натрію та моноетаноламіну як один до одного, за їх сумарної концентрації в 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, рН середовища 10,2, що призводить до переходу системи Fe-H<sub>2</sub>O у зону термодинамічної стійкості гідратованих оксидів феруму(III). Використання м-нітробензоату калію за рН середовища в 10,2 та електродного потенціалу -0,0036В, чого достатньо для переведення системи Fe-H<sub>2</sub>O у область термодинамічної стійкості гідратованих оксидів феруму(III).

Відповідно до результатів досліджень оксоаніон - м-нітробензоат так само, як і нітрит натрію виявляє явище синергізму у суміші з силікатом натрію проти зупинення корозії сталі 08кп.

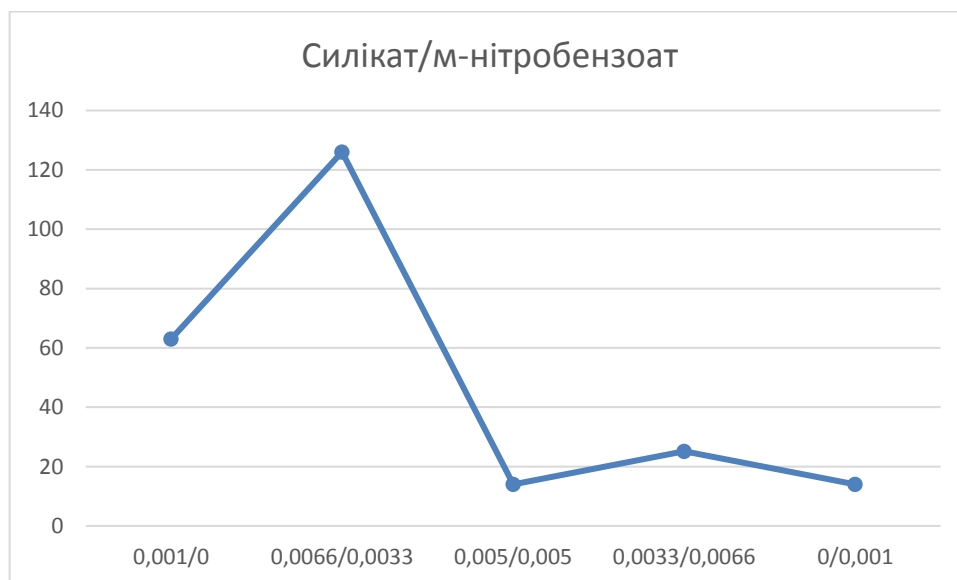


Рис. 3.4. Графік залежності коефіцієнту гальмування від співвідношення концентрацій силікату натрію та нітриту натрію.

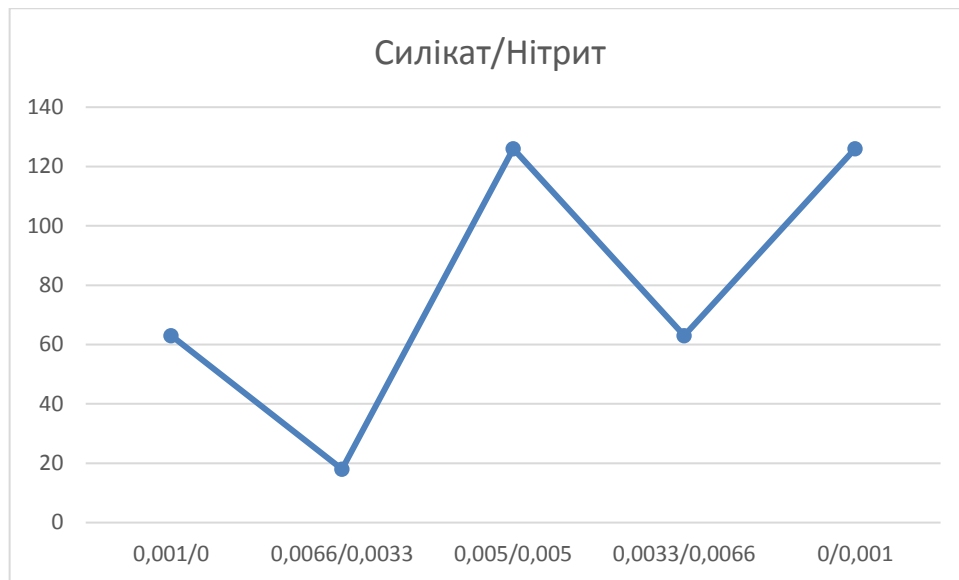


Рис. 3.5. Графік залежності коефіцієнту гальмування від співвідношення концентрацій силікату натрію та м-нітробензоату.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1. Водопровідна вода: джерела надходження, склад, екологічний аспект вживання

Водопровідна вода (проточна вода, вода з міського водопроводу, міського водопостачання) — це вода, яка доправляється в будинки за допомогою комунальних підприємств з водопостачання. Вона стала доступною у містах розвиненого світу наприкінці XIX століття, і загальнодоступною — у другій половині XX століття. Як правило її отримують з річкових водозаборів.

Водопровідна вода очищують від шкідливих речовин за допомогою водоочисних споруд. Тверда вода часто містить розчинені у собі солі кальцію, магнію, заліза та інших елементів, через що вона є складнішою у використанні, наприклад, для прання одягу.

Водопровідна вода інколи може виглядати каламутною і це зачасту сприймають, як мінеральні домішки у воді, однак, зазвичай, цей ефект викликають бульбашки повітря, що виходять з води внаслідок перепаду температури або тиску. Через те, що холодна вода утримує у собі більше повітря, ніж тепла, у водопровідній воді з'являються невеликі бульбашки.[4.1]

Водопровідна вода має певний хімічний склад. Хімічні речовини, що можуть міститися у воді, поділяються на декілька груп.

Перша група поєднує у собі речовини, що найчастіше зустрічаються у природній воді. До них відносяться фтор (F), залізо (Fe), мідь (Cu), марганець (Mn), цинк (Zn), ртуть (Hg), селен (Se), свинець (Pb), молібден (Mo), нітрати, сірководень (H<sub>2</sub>S) та ін.

До другої великої групи входять речовини, які залишаються у водопровідній воді після реагентної обробки: коагулянти (сульфат алюмінію), флокулянти (поліакриламід), інгібітори корозії (залишкові триполіфосфати) та залишковий хлор.

До третьої групи входять хімічні речовини, що потрапляють у водойми зі стічними водами (побутові, промислові відходи, поверхневі стоки сільськогосподарських угідь, що були оброблені хімічними засобами захисту рослин: гербіцидами і мінеральними добривами). До них належать пестициди, важкі метали, детергенти, мінеральні добрива та ін.

До четвертої групи відносять речовини, що можуть потрапляти у воду з водопровідних труб, перехідників, з'єднань, зварювальних швів та ін. (Мідь, залізо, свинець).

Рівень міді (Cu) у підземних водах достатньо низький, однак використання міді у складових водопроводів може сприяти на підвищення її концентрації у водопровідній воді.

Концентрація міді більше 3 мг/л викликає гостре порушення функції шлунково-кишкового тракту, що супроводжуватиметься нудотою, блювотою, діареєю. У людей, що страждають або перенесли захворювання печінки (наприклад, вірусний гепатит), власний обмін міді в організмі порушений, саме тому тривалий період її вживання з водою може спричинити за собою розвиток цирозу печінки.

Найчутливіші до підвищеної концентрації міді у воді немовлята, які знаходяться на штучному вигодовуванні. В них ще у дитячому віці при вживанні даної води виникає реальна загроза розвитку цирозу печінки.

Безпечна добова доза міді становить 0,5 мг/кг маси тіла. Виходячи з цієї дози можна розрахувати гранично допустиму концентрацію міді в питній воді: 1-2 мг/л.

Сірководень (H<sub>2</sub>S) - це газ, що в концентрації більше ніж 0,05 мг/л надає водопровідній воді неприємний запах, який нагадує запах тухлих яєць.

У воді, що добре збагачена киснем, сірководень окиснюється і запах зникає.

При вживанні всередину сірководень не небезпечний. Небезпечними можуть бути сполуки сірки, наприклад, такі як сульфіді, що пошкоджують слизову оболонку травного тракту, викликають нудоту, блювоту, болі в животі. Смертельно небезпечна доза сульфіді натрію для дорослої людини становить 10-15 г.

У звичайних умовах неорганічна ртуть (Hg) присутня у природній воді в концентраціях менше ніж 0,5 мг/л. Рівень ртуті у воді може підвищуватися в результаті техногенних та інших забруднень систем водопостачання, що знаходяться неподалік. Негативний вплив ртуті на організм людини полягає у пошкодженні будь-якої тканини, з котрою вона контактує, але найбільшу шкоду ртуть завдає нервовій системі і ниркам.

Вживання всередину дози ртуті, яка перевищує гранично допустиму, викликає порушення психіки, втрату чутливості шкіри, слуху, зору, мови, клонічні судоми, серцево-судинний колапс і шок.

Також відбувається послаблення серцевої діяльності і розширення судин, яке, в свою чергу, призводить до падіння тиску в артеріях до настільки низького рівня, при якому надавати підтримку життєвих функцій організму неможливо.

Сполуки ртуті провокують розвиток гострої ниркової недостатності та важких захворювань травного тракту.

Летальний результат може наступити при прийомі всередину більш ніж 500 мг ртуті. При вживанні малих доз ртуті вагітними жінками у новонароджених дітей виявляють каліцтва розвитку та вроджені важкі захворювання головного мозку.

Гранично допустима концентрація ртуті в водопровідній питній воді становить 0,0005 мг/л.

Хлор (Cl), а точніше, хлоровмісні сполуки, - це один із основних реагентів, що використовуються на водоочисних станціях для знезараження та освітлення води, яка надходить до будівель користувачів.

У воді хлор утворює гіпохлорну кислоту та гіпохлорид натрію. Ці хімічні сполуки, що є похідними хлору, можуть бути небезпечні для здоров'я за їх високих концентрацій у воді.

Особливо чутливими до дії хлору є діти. Невеликі дози хлору можуть сприяти розвитку запалення слизової оболонки порожнини рота, глотки, стравоходу та викликати спонтанну блювоту.

Вода, що містить велику кількість хлору, токсично діє на організм людини, провокуючи виникнення бронхіальної астми, різноманітних запальних процесів на шкірі, сприяє підвищенню рівня холестерину в крові та провокує виникнення лейкозу.

Гранично допустима концентрація залишкового хлору у водопровідній питній воді становить 0,1-0,3 мг/л.

Селен (Se) в питній воді, як правило, міститься в дозі приблизно 0,01 мг/л.

Кальцій (Ca), який надходить в організм, володіє сприятливою для людини здатністю ущільнювати клітинні та міжклітинні колоїди, а також впливати на процеси утворення клітинної оболонки.

Виявлено здатність іонів кальцію ущільнювати клітинну оболонку і знижувати клітинну проникність, яка призводить до зниження кров'яного тиску, а за недостатньої концентрації іонів кальцію відбувається розчинення міжклітинних спайок, розпушення стінок кровоносних капілярів та збільшення клітинної проникності, яке призводить до підвищення кров'яного тиску.

Відома позитивна роль кальцію у процесі згортання крові.

Магній (Mg) необхідний людському організму, він міститься у кожній клітині тіла людини та постійно вводиться в організм разом із їжею і водою.

Однак, виявлено також і негативний вплив підвищеного вмісту магнію на нервову систему людини, здатність цього елемента викликати оборотне пригнічення центральної нервової системи, так званий магнієвий наркоз.

Спочатку магній, який надходить в організм людини за більш високих концентрацій, ніж це передбачено гігієнічними нормативами, вражає рухові нервові закінчення, а за більш високих концентрацій впливає й на центральну нервову систему.

Наркотичний вплив магнієвих солей пригнічується іонами кальцію.[4.2]

#### **4.2. Очищення води та методи захисту**

Вода для центральної системи водопостачання зазвичай береться з двох джерел — поверхневих водойм і свердловин. Але інколи використовують і суміш цих вод. Як

приклад, Київводоканал постачає людям різну воду — з Дніпра, Десни та 363 підземних свердловин, а от невелике місто Бровари Київської області отримує для використання лише підземну воду.

Варто розібратися у різниці в початковому складі цих вод та які в них недоліки та переваги.

Для річкової чи озерної води зачасту характерний ряд специфічних проблем, що варто вирішувати:

- каламутність, яку спричиняє мул, утворений мікроорганізмами та зважені частинки глинистих порід;
- кольоровість і запахи, що зазвичай викликані природними органічними речовинами;
- мікробіологічне забруднення патогенними мікроорганізмами;

Залежно від регіону можна спостерігати підвищену твердість води, залізо, наявність важких металів (промислові регіони), нітратів і пестицидів (сільськогосподарські угіддя).

Щодо свердловинної води, у неї зовсім інші характерні проблеми. До них відносять: твердість, підвищений вміст заліза та марганцю, а також сірководню. Зрідка можна спостерігати специфічні забруднення, наприклад, навіть артезіанські води східного регіону, що вважаються найчистішими завдяки великій глибині залягання, можуть бути забруднені йонами важких металів. Історично склалося так, що підземні води ігноруються навіть там, де вони можуть забезпечити достатні об'єми, оскільки за радянських часів вважали за краще прокладення довгих трубопроводів, замість використання підземних вод.

Тобто, процеси визначаються в першу чергу джерелом води. Склад і концентрації забруднюючих компонентів частіше впливають на кількість внесених реагентів, режими відстоювання та фільтрації.

З переліку типових проблем води впливає власне послідовність обладнання систем водопідготовки. Тож розгляньмо окремо традиційні системи очистки води в Україні.

Традиційні системи водоочистки на території України взагалому ідентичні, тому, у якості прикладу наведена Дніпровська станція водопідготовки. Вона була побудована у 1939 році. Її паспортна продуктивність вказує на потужність у 600 тис.м<sup>3</sup>/добу, однак фактично станція забезпечує приблизно третини цього об'єму - 200 тис.м<sup>3</sup>/добу. Дніпровська станція водопідготовки подає воду для районів — Оболонь, Поділ, Виноградар та частини вулиць повздож кільцевої дороги.



Рис. 4.1 Схема водоочистки на Дніпровській станції очистки води

Вода береться за допомогою водозабірних ковшів насосною станцією першого підйому напряму з Дніпра. Водозабір знаходиться біля острова "Великий", що розташований в місці сполучення Дніпра і Десни в Оболонському районі міста Києва.

Для того, щоб в систему не потрапляло велике сміття, на вході встановлені спеціальні решітки.





Рис. 4.2 Водозабірний ківш Дніпровської водоочисної станції

Додатковими опціями є ультразвукові випромінювачі для відлякування риби та особлива система вентиляції, що "відштовхує" масляні плями чи великі згустки водоростей.

Ці станції виконують функцію відкачування води на очисні споруди. Самі насоси знаходяться під землею, а їх двигуни — великі та шумні машини, що розташовані на поверхні. На сьогоднішній день на станції встановлені нові насоси, однак устаткування 1939 року усе ще може працювати. Заміна насосів була обгрунтована низькою енергоефективністю старих.



Рис. 4.3 Насосна станція першого підйому

На етапі першого підйому відбувається хлорування води, що дозволяє знезаразити воду перед її подачею у систему, зруйнувати частину органічних речовин та запобігати заростанню ємнісного обладнання водоочисних систем.

Спочатку вода надходить у блок змішування, де до неї додають спеціальні реагенти — коагулянти, що викликають електростатичне притягання зважених часток забруднень. Найпоширенішим коагулянтом є неорганічні сполуки алюмінію (гідроксихлорид та сульфат). Маса коагулянтів, що застосовуються, досягає 40 тонн на добу. Саме через це інколи спостерігається перевищення ГДК алюмінію у водопровідній воді отриманій з поверхневих джерел.

Також в воду вводять ще одні речовини — флокулянти — полімерні акрилати (30-40 кг/добу) та кремнієву кислоту (до 2 т/добу). Вони виконують ту саму роль зваження частинок, але вже не електростатичним шляхом, а утворенням полімерних містків. Це дозволяє зібрати й органічні речовини —фульвокислоти, які викликають кольоровість води.

У результаті роботи доданих речовин відбувається "склеювання" дрібних колоїдних (зважених) часток, і тому, збільшення їх маси та швидкості осідання.

Після змішування вода прямує до горизонтальних відстійників. Конструкційно вони являють собою прямокутні басейни.

Дніпровській водоочисній станції їх 9, кількість визначається продуктивністю системи та розмірами самих відстійників.



Рис. 4.4 Горизонтальні відстійники

Далі йде блок швидких фільтрів, що являють собою резервуари заповнені піском, в отворах, що формуються їх гранулами, вони затримують частинки розміром понад 10 - 30 мкм.

Потім вода потрапляє на блок озонування, який складається з барботажних камер, де вода насичується бульбашками кисню та озону. Він дуже сильний окисник, що руйнує молекули органічних речовин і мікроорганізмів, чим забезпечує освітлення та знезараження води.



Рис. 4.5 Барботажна камера

Також варто зазначити, що цей етап на Дніпровській станції з 1972 року був унікальним елементом схеми. На сьогоднішній день він став використовуватися частіше, але все ще недостатньо часто.

Після барботажної камери вода прямує в резервуар-накопичувач, де відбувається її хлорування, після чого насосною станцією другого підйому вода подається в мережу.

Щодо знезараження, то у 2020 році Дніпровська станція перейшла зі знезараження хлорною водою до діоксиду хлору. Його будуть виробляють безпосередньо на станції шляхом електролізу. Цей реагент - найефективніший на сьогодні та забезпечує високу безпеку, оскільки сховища хлору на сьогодні можуть стати об'єктом техногенної катастрофи в місті Києві.

Також варто відзначити, що на Дніпровській та Деснянській станціях очистки води лабораторія водоканалу веде постійний контроль якості води.[4.3]

## **4.2. Захист водопровідної води від продуктів корозії**

Запобігають потраплянню продуктів корозії у водопровідну воду зазвичай двома способами: додаванням інгібіторів корозії у невеликих концентраціях для

запобігання перебігу корозійних процесів за участі води та за допомогою використання труб, що не піддаються дії корозії. Інгібіторний метод захисту був детально описаний у 2 розділі, тому варто детальніше зупинитися на матеріалах, з яких виготовляють корозієвитривалі труби. Ними є пластик та метал, а саме -

Пластик:

- полібутилен (PB)
- зшитий поліетилен високої щільності (PE-X)
- блок-кополімер поліпропілену (PP-B)
- поліпропіленовий кополімер (PP-H)
- випадковий кополімер поліпропілену (статистичний) (PP-R)
- металопластик: зшитий поліетилен / алюміній / поліетилен високої щільності (PE-X / Al / PE-HD)
- металопластик: зшитий поліетилен / алюміній / зшитий поліетилен (PE-X / Al / PE-X)
- шаровий кополімер випадкового поліпропілену / алюмінію / поліпропіленового статистичного кополімеру (PP-R / Al / PP-R)
- полівінілхлорид хлорований (PVC-C)
- полівінілхлорид — не пом'якшений (лише для холодної води) (PVC-U)

Метал:

- вуглецева сталь, зазвичай оцинкована
- нержавіюча сталь
- розкиснена мідь з високим вмістом фосфору (Cu-DHP)
- свинець (більше не використовується для нових водогонів через його отруйність)[4.4]

### **4.3. Висновки**

- У воді можуть знаходитися речовини, що негативно впливають на організм людини;

- На водоочисних станціях, завдяки багатокроковій очистці з води прибирають усі небажані речовини та мікроорганізми;

- Для попереднього захисту води від продуктів корозії варто користуватися інгібіторами корозії або використовувати труби з матеріалів, що не піддаються корозії.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Вступ

Найголовнішим завданням охорони праці є утворення на підприємствах здорових і безпечних умов праці, які виключають виробничий травматизм та профзахворювання. Основними засобами вирішення даного завдання є забезпечення безпеки обладнання та технологічних процесів, комплексна механізація виробництва і його автоматизація, ліквідація важкої фізичної праці.

Охорона праці викриває і вивчає можливі причини виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів та вимог з метою усунення даних причин та створення, безпечних і сприятливих умов праці для працівників.

Оскільки головним об'єктом охорони праці є людина в процесі праці, то під час розробки вимог до виробничої санітарії використовуються результати досліджень серед ряду медичних і біологічних дисциплін.

В лабораторіях постійно проводять наукові дослідження із застосуванням хімічних речовин. При неправильному поводженні з реактивами можливе отруєння працівників, хімічні опіки, розвиток професійних захворювань [1]. Міністерство надзвичайних ситуацій України наказом від 11 вересня 2012 року №1192 затвердило нові „Правила охорони праці під час роботи у хімічних лабораторіях” [2].

### 5.2. Аналіз умов праці

#### 5.2.1. Організація робочого місця.

Приміщення, яке використовують як лабораторію, перебуває на 1 поверсі двоповерхової будівлі, його розміри:  $l_1=10$  м;  $l_2=7$  м;  $h=3,2$  м;  $S=70$  м<sup>2</sup>;  $V=224$  м<sup>3</sup>. Відповідно затверджених норм на кожного працівника:  $h_{\text{мін}} - 3,2$  м;  $S_{\text{мін}} - 4,5$  м<sup>2</sup>;  $V_{\text{мін}} - 15$  м<sup>3</sup>[3].

Необхідна мінімальна площа приміщення (на 4 людей) становить 18 м<sup>2</sup>, що з загальної площі - 70м<sup>2</sup>, відповідає вимогам. Для даної кількості працівників обсяг може бути не менше ніж 60м<sup>3</sup>, що відповідає вимогам.

У лабораторії підлога рівна, не слизька, із зручною для очищення поверхнею, виконаною з матеріалів, тривких до кислот, лугів, розчинників та інших хімічних речовин. Стіни лабораторних приміщень виконані з вогнестійких матеріалів, із поверхнею що легко можна мити. Лабораторії обладнують лабораторними столами з полицями завдовжки 1,8- 2,7 м у розрахунку на кожного працівника. Ширина проходів між обладнанням лабораторії повинна бути же не менше ніж 1,4 м. Біля робочих місць на видному місці вивішують інструкції з охорони праці і пожежної безпеки.

### **5.2.2.Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників.**

Присутні наступні шкідливі виробничі чинники:

- виробниче освітлення;
- параметри повітря робочої зони;
- виробничий шум;
- можливе враження електричним струмом;
- підвищена пожежна небезпека.
- 

**5.2.3.Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, (що діють на робочому місці суб'єкта ДП/ДР).**

#### ***5.2.3.1. Природне та штучне освітлення***

Приміщення хімічних лабораторій забезпечують природним, штучним і суміщеним освітленням залежно від характеристики зорової роботи. Місцеве освітлення повинно застосовуватись у комбінації з загальним освітленням. Застосування тільки місцевого освітлення заборонено. Світильники місцевого освітлення за своїм обладнанням повинні відповідати категорії та групі



вибухонебезпечних речовин, а також бути влаштовані так, щоб працівник міг за бажанням змінити напрям світлового потоку[4].

У даному виробничому приміщенні наявне:

1. Природне освітлення – здійснюється через бічні світлові прорізи у стінах;
2. Штучне електричне освітлення – застосоване комбіноване освітлення для створення досить високих рівнів освітленості на робочих поверхнях завдяки одночасному використанню систем загального та місцевого освітлення. Місцеве освітлення встановлено стаціонарно. Штучне електричне освітлення є робочим, котре забезпечує нормовану освітленість робочих місць за звичайних умов виробництва. Безумовно, передбачено аварійне освітлення, котре забезпечує 5% робочого освітлення.

Недостатня освітленість робочої зони, причиною якої є широкий діапазон зміни і мінливість природного світла. Цей чинник викликає стомлення очей, зниження працездатності, можуть призвести до патологічному погіршення зору людини. Через це стан освітлення в лабораторії вкрай важливий.

### ***5.2.3.2. Шкідливі речовини в повітрі робочої зони***

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони є обов'язковою санітарною нормою для використання при проектуванні технологічних процесів і вентиляції.

ГДК у повітрі робочої зони - це кількість шкідливих речовин, що при щоденній роботі протягом 8 год. або іншої тривалості (40 годин у тиждень) протягом всього робочого стажу не викликать захворювань чи відхилень у стані здоров'я та не надаватиме вплив на здоров'я майбутніх поколінь.

За ступенем небезпеки усі шкідливі речовини поділяються на 4 класи небезпеки:

- Надзвичайно небезпечні ГДК  $< 0,1$  мг/м<sup>3</sup> (свинець, ртуть);
- Високо небезпечні ГДК  $0,1 \dots 1$  мг/м<sup>3</sup> (хлор, бром, йод);
- Помірно небезпечні ГДК  $1,1 \dots 10$  мг/м<sup>3</sup> (оксид цинку);

– Малонебезпечні ГДК > 10 мг/м<sup>3</sup> (пари спирту, бензину, ацетону).

Повітря, що надходить у приміщення, повинно мати концентрацію не більше 0,3 ГДК шкідливих речовин.

Контроль за концентрацією шкідливих речовин проводиться для 1 класу небезпеки - 1 раз у 10 днів; 2 - 1 раз у місяць; 3, 4 - 1 раз у квартал [5].

Джерелами з можливістю викидів небезпечних речовин з перевищенням ГДК у лабораторії наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

№ п/п	Найменування речовини	Значення ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки
1	Бензин	100	IV
2	Бензол	15	II
3	Кислота оцтова	5	III
4	Нафта	10	III

### **5.2.3.3. Виробничий шум**

Рівень шуму в хімічних лабораторіях не має перевищувати норми у 60 дБА, встановленої державними санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [6].

Шум, спричинений механічною вентиляцією. Вплив шуму на організм людини призводить до зниження гостроти зору, зорової адаптації, порушує сприйняття зорової інформації та зменшує продуктивність праці на 30-60%.

За результатами вимірювання рівень шуму в лабораторії під час роботи механічної вентиляції складав 60 дБА.

### **5.2.3.4. Небезпека ураження електричним струмом**

Підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися у зв'язку з людським фактором. Це може призвести до удару електричним струмом людини, що поділяється на біологічний (роздратування і порушення нервових і м'язових тканин) і механічний (розриви шкірного покриву, вивихи).

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом всі приміщення поділяються на три категорії: приміщення без підвищеної небезпеки; приміщення з підвищеною небезпекою; особливо небезпечні приміщення[7].

Дана лабораторія відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою у зв'язку з характеристикою однією із п'яти ознак, що створюють небезпеку ураження струмом, а саме – струмопровідною бетонною підлогою.

### **5.3. Розробка заходів з охорони праці**

#### ***5.3.1. Методи нормалізації складу повітря робочої зони***

Існує немало різних способів та заходів, що призначені для підтримання чистоти повітря виробничих приміщень відповідно до вимог санітарних норм. Усі вони зводяться до конкретних заходів:

- Запобігання проникнення шкідливих речовин у повітрі робочої зони за рахунок герметизації обладнання, ущільнення з'єднань, люків та отворів, удосконалення технологічного процесу.
- Видалення шкідливих речовин, що потрапляють в повітря робочої зони, за допомогою вентиляції, аспірації чи очищення та нормалізації повітря за допомогою кондиціонерів.
- Застосування засобів захисту людиною

Герметизація й ущільнення - основні заходи з вдосконалення технологічних процесів, у яких використовуються чи утворюються шкідливі речовини. Удосконалення технологічних процесів дозволяє замінювати шкідливі речовини менш шкідливими, відмовлятися від застосування пило-утворюючих процесів, замінювати тверде паливо на рідке або газоподібне, встановлювати газ/пилословлювачі в технологічний цикл та ін.

При недосконалості технології, тоді, коли уникнути проникнення шкідливих речовин в повітря не вдається, застосовують інтенсивне видалення цих речовин за допомогою вентиляційних систем чи аспіраційних систем.

У приміщеннях, в яких не можна створити нормальні умови, що відповідають нормам мікроклімату, застосовують засоби індивідуального захисту.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) для працівників в залежності від призначення, поділяються на такі класи: ізолюючі костюми, засоби захисту органів дихання, одяг спеціально захисний, засоби захисту ніг, засоби захисту рук, засоби захисту голови, засоби захисту обличчя, засоби захисту очей, засоби захисту органів слуху, та інші запобіжні засоби.

Ефективне застосування ЗІЗ залежить від їх правильного вибору та умов експлуатації. Під час вибору необхідно враховувати конкретні умови виробництва, вид та тривалість впливу шкідливих факторів, а також індивідуальні особливості людини. Тільки правильне застосування ЗІЗ може максимально захистити працюючого.

Для роботи з отруйними і забруднюючими речовинами користуються спецодягом - комбінезонами, халатами, фартухами та ін., для захисту від кислот та лугів - гумовим взуттям та рукавичками для захисту шкіри, рук, обличчя, шії застосовують захисні креми і пасти: антитоксичні, водостійкі, жаростійкі. Очі від можливих опіків захищають окулярами з герметичною оправою.

До засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) належать респіратори, промислові протигази та ізолюючі дихальні апарати, які застосовуються для захисту від шкідливих речовин, які знаходяться в навколишньому повітрі.

За принципом дії ЗІЗОД поділяються на фільтруючі (застосовуються при наявності у повітрі вільного кисню не менше 18% і обмеженого вмісту шкідливих речовин) та ізолюючі (при недостатньому для дихання вмісту в повітрі кисню та необмеженої кількості шкідливих речовин) [8].

### ***5.3.2. Захист працівників від ураження електричним струмом***

Для забезпечення захисту людей від ураження електричним струмом використовують окремо або в поєднанні один з одним наступні технічні способи та

засоби: захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, захисне відімкнення, ізоляція провідників зі струмом, огорожувальні пристрої, попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки, засоби захисту та запобіжні пристрої.

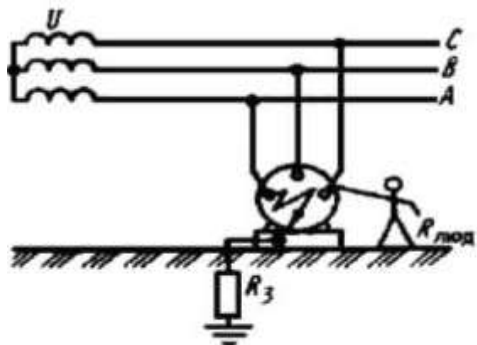


Рис.5.1.Принципова схема захисного заземлення.

Захисне заземлення (рис.5.1) являє собою навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, які можуть опинитися під дією напруги. Заземлення здійснюється за допомогою природних, штучних або змішаних заземлювачів. Заземлення бувають виносні та контурні. При контурному заземленні заземлювачі розміщують по контуру навколо заземленого обладнання на невеликій відстані один від одного.

В якості провідників для заземлення використовуються металеві конструкції будівель, сталеві труби, сталеві оболонки кабелів, круглі провідники діаметром не менше 5 мм, голі мідні і алюмінієві провідники перерізом 4 і 6мм<sup>2</sup> та ін. Вертикальні заземлювачі (довжиною 2,5-3м) з'єднують сталюю шиною, що приварюють до кожного заземлювача. Захисне заземлення необхідно періодично діагностувати та ремонтувати.

У лабораторіях, вздовж периметру кімнати прокладають заземлювальну лінію (сталевий прут діаметром 7 мм) і поєднують її шляхом зварювання з нульовим провідником - природним або штучним заземлювачем. Від утвореного контуру зварюванням або жорстким болтовим з'єднанням виконують металеві відводи до каркасу електророзподільного щита, до корпусів електроприладів.

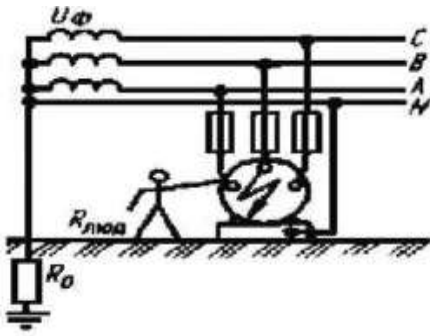


Рис.5.2.Принципова схема занулення.

Заземлення електроустановок необхідно виконувати у всіх випадках за напруг 500В і вище, за напруг вище 42В змінного струму та 110В постійного струму - в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних або в зовнішніх електроустановках. Профілактичний огляд заземлених пристроїв виконують частіше, ніж 1 раз у рік. При цьому перевіряють стан заземлювального пристрою, наявність кола між контуром заземлення й заземлювальними пристроями.

Занулення (рис.5.2) - це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих частин, що не проводять струм, які можуть опинитися під напругою. Занулення використовують при чотирьох провідній системі трифазного струму з глухо заземленою нейтраллю. Занулення перетворює замикання на корпус в однофазне коротке замикання. Для збільшення безпеки нульовий провід заземлюють в декількох точках.

Можливе одночасне занулення і заземлення одного і того ж корпусу, але одночасне занулення одних і заземлення інших машин в одній і тій же мережі заборонено.

Захисне відімкнення це захист швидкої дії, який забезпечує автоматичне відімкнення електроустановки під час виникнення в ній небезпеки ураження людини струмом. Така небезпека може виникнути під час замикання фази на корпус, зниженні опору ізоляції мережі нижче відповідного рівня і у випадку дотику людини безпосередньо до струмоведучої частини, яка знаходиться під струмом[9].

Для захисту від дотику до частин, що знаходяться під напругою, використовується ізоляція, а також подвійна електрична ізоляція, що складається з

робочої й додаткової ізоляції. Перевірку ізоляції електроінструменту слід проводити мегаометром частіше за 1 раз у квартал, електропроводки - не рідше 1 раз у 3 роки [10].

За призначенням електрозахисні засоби поділяються на ізолюючі (діелектричні рукавиці, боти, калоші, килимки, ізольовані підставки, інструмент з ізолюючими ручками, ізолюючі штанги, кліщі тощо), огорожувальні (переносні огороження, заземлення тощо) та запобіжні (пояси, захисні окуляри, каски, спеціальні рукавиці). Засобами індивідуального електрозахисту є захисні костюми, взуття і рукавиці.

#### **5.4. Пожежна безпека**

Пожежна безпека об'єкта забезпечується системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту і системою організаційно-технічних заходів [11].

Метою пожежної безпеки об'єкта є попередження виникнення пожежі на визначеному чинними нормативами рівні, а у випадку виникнення пожежі - обмеження її розповсюдження, своєчасне виявлення, гасіння пожежі, захист людей і матеріальних цінностей.

Дане приміщення відноситься до категорії В. Приміщення даної категорії характеризуються горючими та важкогорючими рідинами, твердими горючими та важкогорючими речовинами та матеріалами, здатними при взаємодії з водою, киснем повітря, або одне з одним лише горіти за умови, що приміщення, де вони знаходяться, або використовуються, не відносяться до категорій А та Б.

Відповідно до класифікації вибухонебезпечних зон використовувану лабораторію можна віднести до: вибухонебезпечної зони класу 0 – простір, у якому – вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу. Вибухонебезпечні зони класу 0 можуть мати місце переважно в межах корпусів технологічного обладнання і, у меншій мірі, в робочому просторі (вугільна, хімічна, нафтопереробна промисловість).

До основних причин виникнення пожеж належать:

- недотримання правил пожежної безпеки;
- необережне поводження з вогнем;
- несправність електрообладнання;
- аварії, катастрофи;
- природні явища.

Лабораторія де виконувались досліди обладнана вуглекислими вогнегасниками ВВК-2 (ОУ-3) в кількості 4 шт., вони застосовуються для гасіння легкозаймистих та горючих рідин. Також встановлена автоматична пожежна сигналізація із ручними ІР-Р та тепловими сповіщувачами ІІ-105 відповідно до ДСТУ EN 54-4:2003.

Всі металічні та електропровідні частини лабораторії заземлені, також встановлені стержневі блискавковідводи для захисту від блискавок.

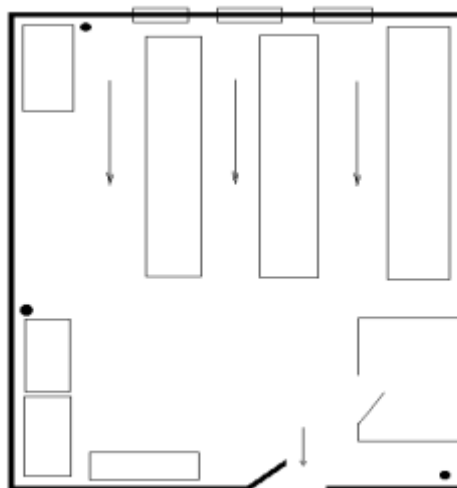


Рис.5.3.План евакуації під час пожежі в лабораторії, де:

- – Напрямок руху під час евакуації.
- – Засоби пожежогасіння.

### 5.5. Розрахункова частина

Загальні вимоги електробезпеки мають відповідати ГОСТу-12.1.030-81 ССБТ. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення.



Воно має захищати працівників від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, що досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом

**Розрахунок захисного заземлення:**

1. Визначається необхідний опір штучних заземлювачів  $R_{шт.з.}$ :

$$R_{шт.з.} = \frac{R_{\partial} \times R_{пр.з.}}{(R_{пр.з.} - R_{\partial})}$$

$$R_{шт.з.} = R_{\partial} = 4 \text{ Ом.}$$

де  $R_{пр.з.}$  – опір природних заземлювачів;  $R_{\partial}$  – допустимий опір заземлення (табл. 5.2.). Якщо природні заземлювачі відсутні, то  $R_{шт.з.} = R_{\partial}$

Таблиця 5.2.

Допустимі значення опорів  $R_{\partial}$  заземлювальних пристроїв в електроустановках.

Характеристика електроустановок	$R_{\partial}$ , Ом
Електроустановки напругою до 1000 В	
– за потужності генераторів та трансформаторів більше 100кВт	4
– за потужності генераторів та трансформаторів 100 кВт і менше	10

2. Опір заземлення у значній мірі залежить від питомого опору ґрунту  $\rho$ , Омм. Питомий опір ґрунту залежить від характеру ґрунту і від пори року. За табл.5.3 визначається приблизне значення питомого опору ґрунту  $\rho$ .

Таблиця 5.3.

Приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів, Омм

Тип ґрунту	Питомий опір ґрунту*, Омм	
	Межі коливань,	Рекомендоване значення для розрахунків
Глина (г)	8–70	40

Суглинок (с)	40–150	100
Чорнозем (ч)	9–53	30
Садова земля (с.з)	30–60	50
Примітки:		
1. Питомий електричний опір ґрунту є опір куба ґрунту з ребром 1 м.		
2. У випадку малого відсотка вмісту вологи в ґрунті можливі більші значення опорів.		
3. Питомі опори ґрунтів коливаються протягом року, що враховують при розрахунках введенням так званих сезонних коефіцієнтів опору ґрунту.		

Табл.5.4.

Коефіцієнти сезонності  $\psi$  для однорідної землі при вимірюванні її опору

Кліматична зона	Вологість землі при вимірюванні					
	підвищене	нормальне	мале	підвищене	нормальне	мале
	$\psi_v$ для вертикального електрода довжиною $l_B=3$ м			$\psi_r$ для горизонтального електрода довжиною $l_2=10$ м		
I	1,9	1,7	1,5	9,3	5,5	4,1
II	1,7	1,5	1,3	5,9	3,5	2,5
III	1,5	1,3	1,2	4,0	2,5	2,0
IV	1,3	1,1	1,0	2,5	1,5	1,1
	$\psi_v$ для вертикального електрода довжиною $l_B=5$ м			$\psi_r$ для горизонтального електрода довжиною $l_2=50$ м		
I	1,5	1,4	1,3	7,2	4,5	3,6
II	1,4	1,3	1,2	4,8	3,0	2,4
III	1,3	1,2	1,1	3,2	2,0	1,6
IV	1,2	1,1	1,0	2,2	1,4	1,12

3. Розрахунковий питомий опір ґрунту,  $\rho_{розр}$ , Омм, визначається за формулою

$$\rho_{розр} = \psi \rho$$

$$\rho_{розр} = \psi \rho = 1,7 * 40 = 68 \text{ Омм}$$

де  $\psi$  – коефіцієнт сезонності (табл.5.4);  $\rho$  – табличне значення питомого опору ґрунту, Омм (табл.5.3).

За табл.5.4 вибирають значення коефіцієнтів сезонності для вертикальних заземлювачів  $\psi_B$ , та горизонтальних  $\psi_G$  відповідно до кліматичної зони.

Враховуючи питомий опір ґрунту  $\rho$  та коефіцієнти сезонності  $\psi_B$  і  $\psi_G$  визначається розрахунковий питомий опір ґрунту відповідно для вертикальних заземлювачів  $\rho_{розр.в}$ , і горизонтальних  $\rho_{розр.г}$ , Омм.

4. Розраховується опір розтікання струму вертикального заземлювача  $R_B$ , Ом, за формулою:

$$R_0 = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

$$R_0 = \frac{68}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 3,61 (2,08 + 0,147) = 8,04 \text{ Ом.}$$

де  $l_B$  – довжина вертикального заземлювача;  $d$  – діаметр стержня,  $d = 0,05$  м;  $t$  – відстань від поверхні землі до середини заземлювача (рис. 8), яка визначається за формулою:

$$t = h_B + \frac{l_B}{2}$$

$$t = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ м;}$$

де  $h_B$  – глибина закладання заземлювачів (прийняти за 0,8 м).

5. Визначається теоретична кількість вертикальних заземлювачів  $n$ , штук, без урахування коефіцієнту використання  $\eta_в$ :

$$n = \frac{R_B}{R_A},$$

$$n = \frac{8,04}{4} = 2,01$$

Відповідно до розрахованого значення  $n$  за табл.5.5 визначається коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_в$ .

Таблиця 5.5.

Коефіцієнт  $\eta_v$  використання вертикальних електродів групового заземлювача без врахування впливу з'єднувальної стрічки\*

Кількість заземлювачів							
2	3	4	10	20	40	60	100
Заземлювачі розташовані в ряд							
0,8	0,7	0,6	0,5	0,48	–	–	–
5	3	5	9				
Заземлювачі розташовані по контуру							
–	0,6	0,6	0,5	0,47	0,41	0,39	0,36
	9	1	7				
*Примітка: в таблиці наведені значення $\eta_v$ для відношення відстаней між електродами до їх довжини, що дорівнює одиниці ( $L_B/L_B = 1$ )							

6. Визначається необхідна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнту використання,  $n_B$ , шт:

$$n_B = \frac{R_B}{R_D \times \eta_B}$$

$$n_B = \frac{8,04}{4 \times 0,85} = 2,36$$

7. Визначається довжина з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача  $l_C$ , м:

$$l_C = 1,05 \times L_B \times (n_B - 1),$$

$$l_C = 1,05 * 3 * (2,36-1) = 4,28 \text{ м.}$$

де  $L_B$  – відстань між вертикальними заземлювачами, (прийняти за  $L_B = 3\text{м}$ );  $n_B$  – необхідна кількість вертикальних заземлювачів.

8. Визначається опір розтіканню струму горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки)  $R_z$ , Ом:

$$R_z = \frac{\rho_{\text{земля}}}{2\pi \times l_c} \ln \frac{l_c}{d \times h_e}$$

$$R_z = \frac{68}{2 \times 3,14 \times 4,28} \ln \frac{4,28}{0,95 \times 0,15 \times 0,8} = 2,53 \times 3,63 = 9,18 \text{ Ом};$$

де  $d$  – еквівалентний діаметр смуги шириною  $b$ ,  $d = 0,95b$ ,  $b = 0,15$  м.

9. За табл.5.6 визначається коефіцієнт використання горизонтального заземлювача  $\eta_z$  відповідно до необхідної кількості вертикальних заземлювачів  $n_v$ .

Таблиця 5.6

Коефіцієнт використання з'єднувальної смуги  $\eta_c^*$

Кількість заземлювачів							
2	3	4	10	20	40	60	100
Заземлювачі розташовані в ряд							
0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	–	–	–
Заземлювачі розташовані по контуру							
–	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
*Примітка: в таблиці наведені значення $\eta_c$ для відношення відстаней між електродами до їх довжини, що дорівнює одиниці ( $L_B/L_B = 1$ )							

10. Розраховується результуючий опір заземлювального електроду з урахуванням з'єднувальної смуги:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B \times \eta + R_r \times n_B \times \eta_B} \leq R_{Д.}$$

$$R_3 = \frac{8,04 \times 9,18}{8,04 \times 2 + 9,18 \times 2,36 \times 0,85} = 2,14 \text{ Ом} < R_{Д.} = 4 \text{ Ом}$$

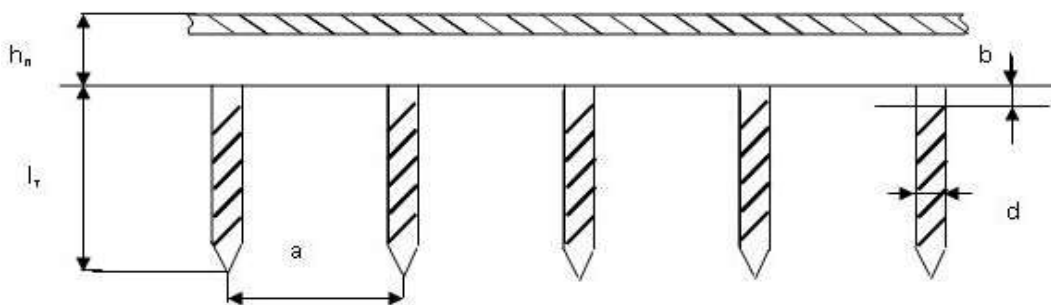


Рис.5.3. Схема захисного заземлення.

## **5.6.Висновок**

Охорона праці уособлює у собі створення здорових та безпечних умов праці усіма можливими засобами. Створення безпечних умов праці на підприємствах, лабораторіях різних форм власності є найголовнішим з пріоритетів.

Необхідність охорони праці диктується сьогодні не тільки гуманітарними, але і економічними міркуваннями. Високий рівень організації охорони праці є однаково вигідними і працівникам, і роботодавцям.

Одним з найпростіших й найдешевших методів нормалізації повітря робочої зони є герметизація та ущільнення обладнання і реактивів.

Для забезпечення захисту людей від ураження електричним струмом найбільш ефективним є застосування заземлення всього електричного обладнання лабораторії, а також інструктаж персоналу з техніки безпеки.

## ВИСНОВКИ

- Найбільш ефективним методом захисту металу від корозії є інгібіторний метод.
- Доведено що синергічні суміші інгібіторів мають більш високу антикорозійну ефективність, ніж окремі їх компоненти.
- Для визначення максимальної інгібуючої дії синергічних сумішей, ефективно використовувати метод ізомолярних серій.
- Залежність антикорозійної ефективності сумішей від співвідношення концентрацій компонентів характеризуються синергічними максимумами впливу добавок на електрохімічну і корозійну поведінку сталі, що було підтверджено масометричними вимірюваннями.
- Нами показано, що для композицій інгібіторів на основі м-нітробензойної кислоти і силікату або фосфату характерно явище синергізму, за яких спостерігається абсолютний захист сталі, однак при цьому використовуватимуться більш екологічні компоненти, ніж у інгібіторних сумішах з нітритом натрію.
- На основі проведеної роботи були розроблені розділи «Охорона наолишнього середовища» та «Охорона праці».
- Одержані результати рекомендовано використовувати для розробки синергічних інгібіторних композицій, які дозволяють ефективно захищати матеріали від корозії.

## СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

### ДЖЕРЕЛ

1. Антропов Л.И. Теоретична електрохімія: підруч. -К.: Либідь, 1993. - 544 с.
2. Скорчелетти. Теоретические основы коррозии металлов. - Л.: Химия, 1973. - 263 с.
3. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. - М.: Химия, 1977. - 350 с.
4. Ледовских В.М. Сингертическое ингибирование коррозии стали в нейтральной среде композициями азотных органических оснований с нитритом натрия// Защита металлов. - 1983. - Т. X. - С. 84-90.
5. Левченко С.В., Поляков С.Г., Ледовських В.М.Електрохімічні аспекти впливу ПАР на поверхню трубної сталі при електроіскровій обробці // Вестн. ХПИ. - 2005. - №16. - С. 96-99.
6. Вісник НАУ 2008 №4 с 126-127
7. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Пасивність і захист металів від корозії
8. Антропов Л.И., Макушин Е.М., Панасенко В.Ф. Ингибиторы коррозии метал лов Киев: Техніка, 1981. — 183 с
9. Албыцева А. И., Левин С.З. Ингибиторы коррозии металлов. Под ред. Л.И. Антропова. Л., Химия, 1968. 262 с.
- 10.Акимов Г. В. Основы учения о коррозии и защите металлов. М., 1946;
- 11.[http://s-metall.com.ua/index/stal\\_08kp/0-73](http://s-metall.com.ua/index/stal_08kp/0-73)
12. Антропов Л.И. Формальная теория действия органических ингибиторов коррозии.- Защита металлов, 1977, т. 13 вып 4 с 387-399.
- 13.<http://library.nung.edu.ua/sites/default/files/articles/2029p>
- 14.Антропов Л.И. О современном состоянии и об основных направлениях развития работ по созданию ингибиторов коррозии, их производству и внедрению.



Ростов-на-Дону, 1974, Изв. Сев. Кавказ. центра высшей школы. Сер. Естественные науки.

15. Афанасьев А.С., Малышева Т.В. Исследование травящей способности кислот HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и их смесей.- В кн.: Травление и обезжиривание труб из сталей и сплавов. М., Metallurgia, 1967, с. 51-55.

16. Войналович О.В. Охорона праці у тваринництві /О.В. Войналович, Є.І. Марчишина – К.: Основа, 2012. – 448 с.

17. Правила охорони праці у хімічних лабораторіях – К.: Основа, 2013. – 22 с

18. ДБН В.2.5-28-2006 “Природне і штучне освітлення”(ДСН 3.3.6.037-99)

19. ДСТУ 12.1.005-88.

20. ГОСТ 12.1.003-83 “ССБТ. Шум. Общитребованиябезопасности

21. ДСТУ ІЕС 61140:2005. Захист проти ураження електричним струмом.

Загальні аспекти щодо установок та обладнання

22. Д. В. Зеркалов Охорона праці в галузі Основа – 2011; С.-258-265

23. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с.

24. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Державний нормативний акт про охорону праці — Затверджено: Наказ Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4. Дата введення 20.02.1998 р.

ГОСТ 12.1.004 -91

25. <http://www.xumuk.ru/>

26. Химическая энциклопедия / Редкол.: Зефирова Н.С. и др.. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. — Т. 5 (Три-Ятр). — 783 с. — ISBN 5-85270-310-9.

27. ГОСТ 13078-81. Стекло натриево жидкое. Технические условия с изм. №1, 2. 2. Информационная карта потенциально опасного химического и биологического вещества. Натрий силикат. Свидетельство о государственной регистрации серия АТ № 001046 от 10.04.96 – М.: РПОХБВ, 1996 (пересмотренные редакции).

28. Экологическая энциклопедия. 2010.
29. Деркач Ф. А. Хімія. — Львів : Львівський університет, 1968. — 312 с.
30. ГОСТ 31725-2012. Добавки пищевые. Натрия фосфаты E339. Общие технические условия
31. Ингибиторы // Краткая химическая энциклопедия / Кнунянц И. Л. (гл. редактор). — М.: Советская Энциклопедия, 1961—1967. — Т. 2. — С. 228—229.
32. Шлугер М.А. Коррозия и защита металлов, 1981 – 216 с.
33. Розенфельд И.Л., Фролова Л.В., Тавадзе Н.Н Синергический эффект при защите стали от коррозии неорганическими ингибиторами в нейтральных электролитах. – Защита металлов, 1980, т. XVI, №2, с. 133-136.
34. Ледовских В.М. Синергическое ингибирование коррозии стали в нейтральных средах композициями азотистых органических оснований с нитритом натрия. – Защита металлов, 1983, т. XIX, с. 84-91.
35. Клинов И.Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы, 1954 - 574 с.
36. Ледовських В.М., Борсук П.С. Хімія р-елементів, 2013 – 548 с.
- 37.