

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Композиційні матеріали, хімія та технології»  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра  
(ступінь вищої освіти)

на тему **ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНОГО ВПЛИВУ  
ЕКСТРАКТІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ**

Виконала: студентка 2 курсу, гр. БАДз-213м

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Композиційні та порошкові матеріали,  
покриття»

Ірина СОХРЯКОВА  
(прізвище та ініціали)

Керівник доц. Юлія ПЕТРУША  
(прізвище та ініціали)

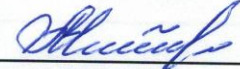
Рецензент д.т.н., проф. Дмитро ПАВЛЕНКО  
(прізвище та ініціали)

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну  
 Кафедра «Композиційні матеріали, хімія та технології»  
 Ступінь вищої освіти магістр  
 Спеціальність 132 «Матеріалознавство»  
(код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Композиційні та порошкові матеріали, покриття  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри   
 Олександр МІТЯЄВ  
 « 11 » листопада 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТКИ**

СОХРЯКОВОЇ Ірини Миколаївни

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Дослідження антикорозійного впливу екстрактів з рослинної сировини»

керівник проєкту (роботи) к.б.н., доц., ПЕТРУША Юлія Юріївна

(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 11 » листопада 2024 року № 404

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 14 грудня 2024 р.  
 3. Вихідні дані до проєкту (роботи) вихідні характеристики сталевих пластинок; обладнання та устаткування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Корозія, її види, економічне значення та методи боротьби. 2. Матеріали та методики дослідження. 3. Дослідження екстрактів з рослинної сировини, як потенційних інгібіторів корозії металів. 4. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічні	ПЕТРУША Ю.Ю., к.б.н., доц.	<i>Юлія Петруша</i>	<i>Юлія Петруша</i>
Нормоконтроль	САВЧЕНКО В.О., к.т.н., доц.	<i>Савченко В.О.</i>	<i>Савченко В.О.</i>

7. Дата видачі завдання « 11 » жовтня 2024 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Срок виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Вступ	14. 10. 2024	
2.	Корозія, її види, економічне значення та методи боротьби	18. 10. 2024.	
3.	Матеріали та методики дослідження	26. 10. 2024.	
4.	Дослідження екстрактів з рослинної сировини, як потенційних інгібіторів корозії металів	25. 11. 2024.	
5.	Висновки	10. 12. 2024.	
6.	Перелік джерел посилань	13. 12. 2024.	

Студент(ка)

*Ірина Сохрякова*  
(підпис)

Ірина СОХРЯКОВА  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

*Юлія Петруша*  
(підпис)

Юлія ПЕТРУША  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Робота складається з 70 сторінок, 33 рисунки, 8 таблиць, 25 джерел.

Об'єкт досліджень – антикорозійні властивості екстрактів з рослинної сировини.

Мета роботи – дослідження ефективності інгібувального ефекту екстрактів на основі амброзії, кореня кульбаби, відходів соняшника та їх сумішей у 10%-му розчині сірчаної кислоти та 3%-му розчині натрій хлориду.

Метод дослідження – комплексний, що включає приготування водних екстрактів з рослинної сировини та гравіметричний аналіз обчислення швидкості корозії.

У магістерській дипломній роботі проводиться дослідження антикорозійного ефекту рослинних екстрактів з використанням гравіметричного методу визначення швидкості корозії та подальших розрахунків показників: вагового та глибинного показників швидкості корозії, коефіцієнту гальмування інгібітору та величини захисного ефекту дії інгібіторів на основі експериментально отриманих даних.

Виконана магістерська дипломна робота включає такі складові: літературний огляд технічної інформації за темою магістерської роботи; опис характеристик металевих зразків та рослинної сировини; оброблення зразків та їх дослідження; методики застосовані в процесі експерименту; оброблення експериментальних даних; висновки.

КОРОЗИЯ, ІНГІБІТОРИ, ЕКСТРАКТИ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ,  
ГРАВІМЕТРИЧНИЙ МЕТОД, АНТИКОРОЗІЙНИЙ ВПЛИВ, СТАЛЬ

## ABSTRACT

The research work consists of 70 pages, 33 figures, 8 tables, 25 sources.

The object of research is the anticorrosive properties of extracts from plant raw materials.

The purpose of the work is test the effectiveness of the inhibitory effect of extracts based on ragweed, dandelion root, sunflower waste and their mixtures in a 10% sulfuric acid solution and a 3% sodium chloride solution.

The research method is comprehensive, including the preparation of aqueous extracts from plant raw materials and gravimetric analysis to calculate the corrosion rate.

The thesis studies the anticorrosive effect of plant extracts using the gravimetric method of determining the corrosion rate and subsequent calculations of the weight and depth indicators of the corrosion rate, the inhibition coefficient and the magnitude of the protective effect of the inhibitors based on experimentally obtained data.

The completed master's thesis includes the following components: a literature review of technical information on the topic of the master's thesis; a description of the characteristics of metal samples and plant raw materials; sample processing and their research; methods used in the experiment; processing of experimental data; conclusions.

CORROSION, INHIBITORS, PLANT EXTRACTS, GRAVIMETRIC METHOD, ANTICORROSIVE EFFECT, STEEL

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів.....	9
Вступ.....	10
Розділ 1 Корозія, її види, економічне значення та методи боротьби.....	11
1.1 Визначення поняття корозії, факторів її виникнення та показників .....	11
1.2 Види корозії .....	12
1.3 Економічне значення корозії.....	14
1.4 Методи боротьби з корозією .....	16
1.5 Інгібітори корозії рослинного походження .....	18
Розділ 2 Матеріали та методики дослідження.....	22
2.1 Вибір рослинної сировини та металевих зразків .....	22
2.2 Хімічний склад потенційних інгібіторів корозії.....	27
2.3 Приготування екстрактів з рослинної сировини.....	29
2.4 Схема проведення експерименту.....	30
2.5 Гравіметричний метод аналізу швидкості корозії.....	33
Розділ 3 Дослідження екстрактів з рослинної сировини, як потенційних інгібіторів корозії металів .....	37
3.1 Оброблення експериментальних даних.....	37
3.2 Теоретичні основи можливого механізму антикорозійної дії водних екстрактів з рослинної сировини .....	50
Висновки.....	55
Перелік джерел посилань.....	56
Додаток А. Тези .....	59
Додаток Б. Стаття .....	64

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

RADWAG AS220.R2 – аналітичні ваги з точністю до 0,0001г.

$K_m$  – ваговий показник швидкості корозії.

$m_1$  – маса зразка до дослідження.

$m_2$  – маса зразка після дослідження.

$S$  – площа поверхні зразка.

$t$  – час випробування.

$\gamma$  – коефіцієнт гальмування швидкості корозії.

$K_0$  – ваговий показник швидкості корозії без інгібітору.

$K_1$  – ваговий показник швидкості корозії з інгібітором.

$Z$  – ступінь інгібіторного захисту рослинного екстракту.

$\Pi$  – глибинний показник швидкості корозії.

## ВСТУП

Одним з найбільш розповсюджених видів руйнування металів є корозія, яка завдає величезних збитків народному господарству. Вартість безповоротно зруйнованого металу у загальній сумі являє собою лише незначну частину. Непрямі витрати від корозії складають більшу частину, ніж прямі витрати. Їх складно порахувати, але за приблизною оцінкою вони вимірюються мільярдами доларів. У деяких випадках такі витрати навіть складно виразити в грошових одиницях. Аварії, які пов'язані з вибухами, пожежами, руйнуванням хімічного обладнання, витоком токсичних речовин призводять до втрат здоров'я та життя багатьох людей.

З розвитком промислового потенціалу країн темп росту корозійних втрат став перевищувати темп росту металічного фонду. Це пов'язано із розширенням областей застосування металів та значним підвищенням агресивності навколишнього середовища через забруднення промисловими викидами. Проблема корозії має глобальний характер і полягає у проблемі підвищення експлуатаційно-технічної надійності та довговічності металів, економічно-раціонального використання матеріальних ресурсів.

Ефективне запобігання корозії та контроль допоможуть мінімізувати фінансові втрати, а також підвищать довговічність матеріалів й промислову безпеку. Ефективному захисту від процесів корозії сприятиме ретельний вибір відповідного матеріалу, електрохімічні методи захисту, нанесення покриттів і використання інгібіторів корозії. Інгібітори корозії – це речовини, які при додаванні в невеликих концентраціях до корозійного середовища можуть зменшити швидкість руйнування металу. У наш час, з точки зору екологічності, все більшого інтересу серед науковців набувають «зелені» інгібітори корозії. Рослинні речовини є легкодоступними, недорогими, безпечними, що робить їх перспективною альтернативою звичайним токсичним інгібіторам корозії.

# РОЗДІЛ 1

## КОРОЗИЯ, ЇЇ ВИДИ, ЕКОНОМІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ

### 1.1 Визначення поняття корозії, факторів її виникнення та показників

Слово «корозія» від латинського «corrodo» – «гризу» або «corrosio» – «роз’їдання». Корозія – це природний і неминучий процес руйнування металів і сплавів під впливом навколишнього середовища. Інакше корозію можна описати як сукупність окисно-відновних процесів, які відбуваються при контакті металів з агресивним середовищем, що призводить до порушення цілісності металевих виробів і втрати їх фізико-механічних властивостей. ДСТУ 3830-980 «Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять» визначає корозію металів як процес руйнування металів внаслідок їх хімічної чи електрохімічної взаємодії з корозивним середовищем [1].

Виділяють нейтральні, лужні та кислі середовища. Високу схильність до корозії метали і сплави мають у кислому середовищі. Кислота, потрапляючи на поверхню металу, через міжфазну реакцію призводить до його розчинення (вивільнення іонів).

Через різний хімічний склад і структуру метали не однаково кородують у різних середовищах. Наприклад, у нейтральних середовищах цинк, алюміній, олово, свинець є стійкими, але в кислих і лужних середовищах піддаються руйнуванню. У кислотах і лугах розчиняються оксиди цих металів. Молібден, тантал, вольфрам є стійкими в кислих, але нестійкими в лужних середовищах. Нікель, кадмій – малостійкі в кислих, але стійкі в лужних середовищах.

До екологічних факторів, які викликають корозію металів і сплавів належать: солі, гази, хімічні речовини, кислоти, луги, волога.

Крім вище зазначених факторів, значний вплив на корозію має температура – при підвищенні температури середовища швидкість корозії, як правило, зростає.

Прискорити корозійний процес металів та сприяти розвитку вже існуючого процесу руйнування може також присутність деяких видів бактерій.

У наш час відомо багато показників оцінки ступеню чи швидкості корозії металів. Серед таких показників є прямі і непрямі.

До прямих показників відносять: спад або збільшення маси, віднесені до одиниці поверхні металу; глибина корозії; частка поверхні, зайнята продуктами корозії; кількість корозійних виразок або точок на одиниці поверхні; обсяг водню, що виділився з одиниці поверхні або поглиненого кисню; час до появи першого осередку корозії; час до появи корозійної тріщини або повного руйнування зразка; сила струму корозії.

До непрямих показників корозії відносять: зміну фізико-механічних властивостей металу (межі міцності при випробуваннях на стиск та розрив, відносного подовження, відбивної здатності та ін.); зміну електроопору.

Деякі з показників, віднесені до часу розвитку корозійного процесу, виражають швидкість корозії.

## **1.2 Види корозії**

В залежності від механізму перебігу корозійного процесу розрізняють хімічну, електрохімічну та біохімічну корозії [2].

Хімічна корозія відбувається у наслідок вступу у зв'язок металу і середовищ без вивільнення електричного струму. При взаємодії металів із рідинами і газами на поверхні утворюється тонка плівка різних за складом хімічних сполук. Це, так звані, продукти корозії. Найпоширенішими серед продуктів корозії є оксиди, сульфіді, хлориди. Така плівка може бути дуже

щільною, що через неї не проникають чинники навколишнього середовища. У таких умовах швидкість корозійного процесу зменшується, а то й взагалі припиняється. До таких металів відноситься алюміній. Цей метал на атмосферному повітрі піддається корозії значно повільніше ніж звичайне залізо, хоч за своїми хімічними властивостями він є активнішим. На поверхні алюмінію утворюється міцна оксидна плівка, яка захищає його від надходження кисню. Тоді, як утворена на залізі оксидна плівка, навпаки, характеризується ламкою структурою і містить велику кількість тріщин, через які кисень легко потрапляє до поверхні заліза, і відбувається постійне самопливне його руйнування.

Електрохімічна корозія відбувається в результаті контакту металу з електролітом, що призводить до виникнення електричного струму. За даного процесу відбувається іонізація атомів металу і відновлення окисника з корозійного середовища. Швидкість даного процесу залежить від електродного потенціалу металу. Така корозія є найбільш поширеною і завдає більшої шкоди, ніж хімічна.

Біохімічна корозія – це вид корозії, під час якої відбувається руйнування металів при взаємодії з мікроорганізмами та продуктами їх життєдіяльності. Так, наприклад, сульфат-редукційні бактерії, які виробляють сірководень, здатні провокувати розтріскування сульфїду металу. У присутності кисню деякі бактерії здатні окиснювати залізо до оксидів та гідроксидів, а інші бактерії окиснюють сірку і виробляють сульфатну кислоту. Наприклад, мушлі, які оселяються на занурених у воду конструкціях із нержавіючої сталі чи прикріплюються на днищі суден, становлять велику небезпеку. Іржавіння викликають процеси життєдіяльності та їх залишкові продукти. Треба зауважити, що такий тип корозії є характерним для різних середовищ, не тільки у морській воді, а й у ґрунті чи на відкритому повітрі [3]. На уламках славнозвісного «Титаніка» мешкають *Halomonas titanicae* – бактерії, які роз'їдають його уламки на дні Атлантичного океану з шаленою швидкістю. Ці

бактерії отримують живлення за рахунок окиснення сполук двовалентного заліза до тривалентного (іржі).

За характером корозійного руйнування виділяють: суцільну (загальну) і місцеву (локальну) корозію.

Суцільна корозія характеризується охопленням всієї поверхні металу, який знаходиться у корозійному середовищі. Розрізняють рівномірну, нерівномірну і вибірккову суцільну корозію.

За місцевої корозії руйнації піддаються окремі ділянки поверхні металів і сплавів. В залежності від діаметру ураження виділяють: місцеву корозію плямами, виразками та точками (пітінгова).

### **1.3 Економічне значення корозії**

Природне самопливне руйнування металів і сплавів призводить до виникнення значних втрат в економіці. Щорічно корозія призводить до мільярдних збитків. Окрім величезних прямих втрат від корозії (металеві ресурси та витрати на заходи захисту), існують величезні непрямі втрати. До непрямих витрат відносять збитки через простої, втрату готової продукції, втрату потужності металевого устаткування, забруднення продукції, а також витрати на ліквідацію наслідків аварій. Велика кількість аварій має характер екологічних катастроф.

Через корозію скорочується термін експлуатації обладнання, стає дорожчим його обслуговування. Людина часто недооцінює економічні наслідки від іржі. Наслідки від корозії відчуваються, починаючи від забитих іржею побутових труб і закінчуючи корозією в шахті чи хімічній промисловості, яка призводить до вибухів й пожеж, і як наслідок до екологічних катастроф [4].

Так, корозія кількох грамів сталі на довгому водогоні може призвести до витоку значної кількості дорогих рідин (нафти, газу тощо). Навіть в

міжремонтний період через корозійне руйнування технічних систем відбувається виток нафти, газу та інших речовин. Заміна зруйнованої корозією труби нафтоперегінної установки коштує всього декілька сотень доларів, в той час, як простої призводять до збитків у десятки тисяч доларів.

Корозія на електростанціях спричиняє перебої у подачі електроенергії до промисловості, що в свою чергу призводить до простоїв. У США загальна вартість недовироблення електроенергії через простої внаслідок корозії на великих електростанціях складає десятки мільйонів доларів.

Відомо, що 75% будівельних конструкцій в процесі експлуатації зазнає агресивного впливу факторів природного і техногенного походження. Щорічно 5...10% будівельних конструкцій зазнає передчасного руйнування або вимагає значних капіталовкладень через корозійні ушкодження.

Варто сказати і про величезні збитки від корозії на харчових підприємствах. Через іржавіння металевих ємностей відбувається псування харчових продуктів. Точкова корозія металевих кришок на банках призводить до бактеріального зараження продукції. Так, наприклад, один консервний завод зазнавав збитків біля мільйона доларів на рік, поки не виявили і не усунули фактори, які призводили до локальної корозії.

Зі зростанням індустріалізації та механізації економіки зростає економічне значення корозії. Причиною цьому, з одного боку, є застосування металу у складніших умовах, таких як тиск, навантаження, високі температури, агресивні хімічні речовини та забруднення навколишнього середовища. З іншої сторони, це виснажує запаси сировини – металевих руд, в результаті чого у галузях техніки зростає використання дорогих і чутливих до корозії металів.

Підрахувати точно втрати від корозії у галузі чи країні дуже складно. За підрахунками промислово розвинених країн через корозію витрачається понад 100 доларів США на душу населення. За останніми даними НАСЕ в США збитки від корозії і витрати на боротьбу з нею склали 3,1% від ВВП. У Німеччині такий збиток сягнув 2,8% від ВВП. Впровадження своєчасної

політики в боротьбі з корозією може знизити економічні втрати від руйнування металів на 20...40%.

Про витрати від корозії в Україні можна судити, виходячи з динаміки утворення металобрухту. Виходячи зі статистичних даних обсяги металобрухту в нашій країні зростають за гіперболічною залежністю. Тобто, наша країна, як і інші промислові країни несе економічні втрати від корозії. І, це не дивно, оскільки металофонд України становить приблизно 400 млн. т. Зокрема протяжність магістральних нафто-, газо-, продуктопроводів – 40 тис. км, теплових мереж – 23 тис. км та різноманітних металоконструкцій – 36 млн. т. Все вищезазначене піддається корозійному руйнуванню та спричиняє значні прямі та непрямі витрати.

Оскільки світ переживає технологічне вдосконалення, прогнозується, що витрати від корозії зростуть у наступні роки, якщо не буде вжито суттєвих заходів щодо контролю та захисту від корозії.

Ефективне запобігання корозії та контроль здатні мінімізувати фінансові втрати та підвищити довговічність металів й промислову безпеку.

#### **1.4 Методи боротьби з корозією**

У всьому світі зросли витрати на боротьбу з процесом корозії. У науці і техніці намагаються запобігти тим явищам, які супроводжують корозію. Одним з найбільш застосовуваних методів проти корозії є ізоляція поверхні металу від впливу негативних факторів навколишнього середовища. Тобто нанесення різного роду покриттів.

Найпоширенішим методом захисту металу від впливу навколишнього середовища є фарбування [5]. При нанесенні на поверхню металів фарб та лаків утворюється щільна плівка, яка ізолює матеріал від доступу повітря і вологи. Фарбування є ефективним методом боротьби як при хімічній корозії, так і

електрохімічній. Важливою умовою при нанесенні покриття фарбами є міцність з'єднання з металевими поверхнями. При потраплянні повітря чи води між металом і фарбою починається процес корозії. Отже, при фарбуванні необхідно належним чином підготувати поверхню (зачистити, знежирити, погрунтувати).

Вибір матеріалу для покриття залежить від умов експлуатації. Так, наприклад, для створення стійкої та електроізолюючої плівки від процесу корозії наносять капронові, нейлонові, фторопластові, епоксидні, поліетиленові матеріали. Такі плівки наносять пензлем, зануренням, електростатичним методом, розпиленням, приклеюванням.

Коли мова йде про відповідальні деталі та вузли, які працюють в агресивних умовах, то захисне покриття має бути не тільки водонепроникним, а й еластичним і газонепроникним. Наприклад, для покриття гальванічних ван, трубопроводів, цистерн та ін. використовують гумове покриття. Для цього поверхні покривають гумовим клеєм або листами гуми.

Одним з ефективним методів захисту, який ми зустрічаємо повсякчас у побуті, є емалювання виробів. Емалюють посуд, котли, художні вироби. Таким способом поверхні надають твердість, протидію стиранню і корозії. Однак, емальовані поверхні є крихкими.

Для створення захисного шару на поверхні металів від процесів корозії використовують оксидування і фосфатування.

При оксидуванні деталей, на яких не відбувається механічне зношування, проводять хімічне вороніння (утворення чорної плівки) шляхом кип'ятіння у водному розчині з вмістом NaOH, Na<sub>2</sub>O і селітри. Оскільки така плівка пориста, то для покращення антикорозійного ефекту її промаслюють.

Фосфатування – це спосіб підвищення стійкості до корозії, який здійснюється у розчині солей первинних фосфатів металів (заліза, марганцю або цинку) у воді за температури 86-98°C. Так само, як і при оксидуванні, для покращення антикорозійних властивостей утворений захисний шар промаслюють або фарбують.

Також для боротьби з корозією широко застосовуються різноманітні металеві покриття, нанесені гальванічним методом. За механізмом захисної дії вони поділяються на катодне та анодне. До таких гальванічних методів відноситься нікелювання, хромування, міднення, цинкування тощо.

Існує також протекторний метод боротьби із корозією у агресивних середовищах. Сутність цього методу полягає у розчиненні металу протектора, який служить як анод, на виріб – як катод. Протекторний захист найчастіше використовують у авіабудуванні та суднобудуванні, нафтохранищах.

Метод пасивації металу полягає у переведенні металу з активного в пасивний стан шляхом утворення пасивуючої плівки (зазвичай оксидної). Утворення тонкої плівки на поверхні металу захищає від хімічних реакцій. Так, наприклад, за допомогою легування можна досягти значного підвищення корозійної стійкості. При електрохімічному захисті (анодний чи катодний) відбувається переведення металу в nereакційний стан шляхом електродної поляризації.

Пасивацію металу, не змінюючи властивостей середовища, а зменшуючи активність металу, можна реалізувати шляхом застосування інгібіторів. Наприклад, 0,51% розчин уротропіну гальмує корозію сталі у воді.

## **1.5 Інгібітори корозії рослинного походження**

Бувають випадки, коли нанести захисне покриття неможливо або ж нанесення таких покриттів не забезпечить необхідного захисту. У таких випадках використовують інгібітори [6].

Інгібітор – це речовина, яка при внесенні в корозійне середовище у малих кількостях здатна уповільнити швидкість корозії металу, що піддається впливу навколишнього середовища. Через механізм їхньої дії інгібітори називають ще сповільнювачами.

Області застосування інгібіторів різноманітні: машинобудування (засоби тимчасового захисту), нафтохімія (добавки до мастил, нафтопереробки), комунальне господарство (інгібітори систем водообороту), харчова промисловість (захист металічної тари) та ін.

Серед хімічних інгібіторів корозії є речовини, які вважаються токсичними та небезпечними для людини і навколишнього середовища (хромати, фосфати, арсенати тощо). Значна токсичність і забруднювальний вплив стимулювали великий інтерес до рослинних інгібіторів корозії, які є безпечними і не мають негативних наслідків на навколишнє середовище [7].

Загалом до «зелених» інгібіторів корозії відносять різноманітні біологічно розкладні та природні матеріали. Широко використовуються у дослідженнях антикорозійних властивостей такі природні матеріали: рослинні екстракти, ліки, вуглеводи, амінокислоти, біополімери, біоповерхнево-активні речовини, натуральні гуми, олії.

При приготуванні рослинних екстрактів можна використовувати частини рослини (плоди, листя, стебла, корені, насіння) або всю рослину. Дослідженнями було виявлено, що фітохімічний вміст рослин різниться залежно від частини. Тобто концентрація флавоноїдів, алкалоїдів, дубильних речовин, органічних кислот у кожній частини рослини різна. Встановлено, що екстракти з листя демонструють найкращу захисну дію при низьких концентраціях. Це пов'язано з тим, що фітохімічні речовини, в основному, виробляються в листі в процесі фотосинтезу за присутності сонячного світла, води та вуглекислого газу. Одними з найпоширеніших фітохімічних речовин з ефектом інгібування корозії є флавоноїди, алкалоїди, глікозиди та дубильні речовини.

Сполуки компонентів рослинних екстрактів багаті полярними функціональними групами, які можуть адсорбуватись на поверхні металу, утворюючи при цьому захисну плівку.

На ефективність інгібування корозії рослинними екстрактами впливає ряд факторів, таких як концентрація, склад, час впливу та температура.

Збільшення концентрації до оптимального рівня призводить до зниження швидкості корозії. Встановлено, що при підвищенні температури ефективність захисної дії рослинного екстракту зменшується. Зазвичай, великий вплив на процес корозії має присутність тих чи інших фітохімічних речовин у самому рослинному екстракті. Деякі екстракти мають надзвичайно високу ефективність захисту при низьких кількостях, в той час коли інші мають низький ефект захисту при відносно великих дозах. Ефективним є поєднання різних рослин для створення екстракту інгібітора корозії.

Через низку дослідів за останні десятиліття встановлено, що 90% рослинних екстрактів мають ефективність захисту чорних металів у корозійних середовищах [8].

Широко розповсюдженим агресивним середовищем у багатьох галузях промисловості є сульфатна (сірчана) кислота. Сірчану кислоту використовують при обробці металу, очищенні та видаленні накипу тощо. За останній час було проведено багато дослідів з використанням рослинних екстрактів у сірчано-кислих середовищах. Наприклад, екстракт з *Litchi chinensis* при оптимальній концентрації показав високу захисну ефективність – 95,7%. Завдяки ефективній адсорбції фітохімічних речовин відбувалось утворення інгібіторної плівки. Також була доведена ефективність шавлії лікарської як інгібітора корозії сталі.

Доступність рослин у кожній місцевості є визначальним фактором у виборі економічно життєздатного зеленого інгібітора корозії. Наприклад, в Індії досліджували *Lannea coromandelica*, також відому як індійський ясен, на здатність до захисту металу від корозії. Такий рослинний екстракт створював захисну плівку на поверхні метала, а із збільшенням концентрації сприяв зміцненню цієї плівки. Негативний вплив на ефективність інгібування мало підвищення температури.

При використанні зелених інгібіторів корозії у трубопроводах важливо вивчити вплив швидкості обертання на ефективність інгібування. Так, проведені вченими дослідження *Buddleja perfoliata* (рослина з пасовищ

центральної Мексики) показали, що зміна швидкості обертання впливає на процес корозії. За результатами вчених до 500 об/хв прискорювали швидкість корозії, тоді як на вищих швидкостях обертання швидкість корозії сповільнювалась. Хоча, слід зазначити, що протримався на поверхні металу такий зелений інгібітор корозії при збільшенні обертів лише кілька годин.

Практично безмежне застосування має універсальна сіль – натрій хлорид, але незважаючи на свою корисність NaCl відноситься до корозійного середовища. Присутність іонів хлору є джерелом корозії морських металевих конструкцій. Саме тому, вже проведено багато досліджень, спрямованих на захист металевих конструкцій у середовищі NaCl, у т.ч. і зелених інгібіторів корозії. Позитивні результати показали *Ricinus communis* (рицина звичайна – рід олійних рослин з родини молочайних), масляний екстракт *Nigella sativa* (кмин чорний), екстракт ефірної олії *Pistacia terebinthus* (терпентинне дерево роду фісташкових), водно-спиртовий екстракт персикових вичавок. Всі вищезазначені рослинні екстракти демонстрували високу ефективність інгібування при певній оптимальній концентрації. Ефірні олії плодів *Pistacia terebinthus* виявляли найвищі антикорозійні властивості порівняно з екстрактами листя і гілок. Високу ефективність захисту мав 48-годинний час занурення металу, що сприяло утворенню кращого захисного шару.

Таким чином, вченими встановлено, що рослинні екстракти є відмінною альтернативою традиційним шкідливим і дорогим інгібіторам корозії [9]. Окрім цього, рослинні екстракти маючи природне походження, доступні у великій кількості. І, що найважливіше, зелені інгібітори корозії біорозкладні і нетоксичні.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1 Вибір рослинної сировини та металевих зразків

Для дослідження антикорозійних властивостей було обрано рослини, які широко розповсюджені у Запорізькому регіоні – кульбабу лікарську (*Taraxacum officinale*) та соняшник звичайний (*Helianthus annuus*). Досліджували коріння кульбаби, а також залишки соняшника на полі після збирання (стебло, листя, головка). Також для дослідження антикорозійних властивостей було обрано карантинний бур'ян – амброзію полинолисту (*Ambrosia artemisiifolia*). Всі вищезазначені рослини зібрані у смт. Кушугум (рис. 2.1.)



Рисунок 2.1 – Рослинна сировина: коріння кульбаби, залишки соняшника з поля, листя амброзії полинолистої

Вибір рослинної сировини обумовлений декількома причинами. Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale*) містить у собі каучук, який може створювати захисну плівку на поверхні зразків. Соняшник звичайний (*Helianthus annuus*) – основна олійна рослина нашого регіону, залишки якої у великих кількостях залишаються на полі. Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia*) – небезпечна карантинна рослина, яку можливо можна використовувати у позитивних цілях, вирішуючи екологічну проблему.

Для досліджень було обрано зразки прямокутної форми зі сталі Ст1пс (рис. 2. 2) та 30ХГСА (рис. 2. 3). Сталь марки Ст1пс – вуглецева конструкційна сталь звичайної якості, яка за хімічним складом відповідає вимогам стандартів ДСТУ 2651 і ГОСТ 380. З неї виготовляють сортовий прокат, товстолистовий і широкосмуговий прокат, поковки, труби, деталі низької твердості і високої в'язкості, які використовують при виробництві невідповідальних деталей високої в'язкості при низькій твердості. Наприклад, заклепки і котельні зв'язки, що з'єднують обшивки, невідповідальна арматура, анкерні болти і труби тощо.



Рисунок 2.2 – Зразки із сталі Ст1пс



Рисунок 2.3 – Зразки із сталі 30ХГСА

Сталь марки 30ХГСА – конструкційна легована, що містять хром, марганець і кремній. Сталь 30ХГСА широко застосовується для виготовлення зварних металоконструкцій та деталей. Широке застосування мають безшовні труби у машинобудуванні, авіабудуванні, нафтодобуванні, газодобуванні, металургії, оборонній промисловості. У комунальному господарстві використовується у якості безшовних туб для прокладання комунікацій водозабезпечення та водовідведення. Зі сталі 30ХГСА також виготовляють різні елементи корпусної обшивки та деталі: зубчасті колеса, вісі, плунжера, вали, болти, анкера, фітинги, лопатки компресорів, важелі, штовхачі тощо.

Хімічний склад Ст1пс та 30ХГСА вказаний у таблицях (табл. 2.1 та 2.2).

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі Ст1пс

Елемент	Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P
	1	2	3	4	5	6	7
Вміст, %	99,5	0,06-0,12	0,05-0,15	0,25-0,50	до 0,30	до 0,05	до 0,04

Таблиця 2.2 – Хімічний склад сталі 30ХГСА

Елемент	Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вміст, %	до 97	0,28- 0,34	0,9- 1,2	0,8- 1,1	до 0,03	0,8- 1,1	до 0,025	до 0,025

Зразки для дослідження були оброблені на шліфувально-карусельному верстаті МСЗ (рис. 2.4) та відполіровані за допомогою полірувальної бабки до дзеркальної поверхні (рис. 2.5).



Рисунок 2.4 – Шліфувально-карусельний верстат МСЗ



Рисунок 2.5 – Полірувальна бабка

Середня вага та площа поверхні зразків для експерименту наведена в таблиці 2.3. Кожен дослід проводили в 3-х кратній повторюваності.

Таблиця 2.3 – Середня вага та площа поверхні дослідних сталевих зразків

№ зразка	Ст1пс		30ХГСА	
	$m_1$ , г	$S$ , мм <sup>2</sup>	$m_1$ , г	$S$ , мм <sup>2</sup>
	2	3	4	5
1	25,0899	2124,7275	32,6306	2439,7925
2	24,7620	2124,7275	32,2588	2439,7925
3	24,5181	2124,7275	31,9769	2439,7925
4	24,4604	2124,7275	32,4938	2439,7925
5	24,7565	2124,7275	32,9074	2439,7925
6	24,5501	2124,7275	32,4630	2439,7925
7	24,4601	2124,7275	31,9868	2439,7925
8	24,8521	2124,7275	32,0959	2439,7925
9	24,5529	2124,7275	32,7799	2439,7925
10	24,6622	2124,7275	33,0753	2439,7925
11	24,8655	2124,7275	33,1990	2439,7925
12	24,5505	2124,7275	32,3763	2439,7925

Вибір зразків обумовлений їх широким застосуванням у будівництві, автомобілебудуванні, літакобудуванні, виробництві обладнання тощо. Також, можливо, в експерименті вдасться сповільнити корозію за рахунок рослинних екстрактів вуглецевої конструкційної сталі звичайної якості. І, як наслідок, розшириться область застосування Ст1пс та скоротяться витрати за рахунок матеріалів. Так само, можливо, вдасться сповільнити корозію на середньолегованій сталі 30ХГСА, що продовжить термін експлуатації і, як наслідок, скоротить витрати на ремонт й обслуговування.

## 2.2. Хімічний склад потенційних інгібіторів корозії

Всі обрані для експерименту рослини відносяться до родини айстрових.

Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale*) містить молочний сік, до складу якого входять гіркі глікозиди (тараксацин і тараксацерин), смолисті речовини, віск, каучук [10]. Офіційною сировиною є корені кульбаби лікарської – *Radices Taraxaci*, які заготовляють у вересні.

Корені містять:

- фруктозу, сахарозу, інулін;
- органічні кислоти: винну, лимонну;
- сесквітерпеноїди;
- тараксацин;
- стероїди;
- каучук;
- фенолкарбонові кислоти: п-гідроксифенілоцтову;
- дубильні речовини;
- флавоноїди;

- жирну олію, в складі якої гліцериди кислот ліноленової, мелісової, пальмітинової, олеїнової, лінолевої;

- вищі жирні кислоти: каприлову, капринову, лауринову, міристинову, пальмітинову, стеаринову, олеїнову, лінолеву, ліноленову, мелісову, церотинову;

- воски.

Основним компонентом *Taraxacum officinale* є тараксацин – їдка смола з інуліном, глютенем, камеддю і поташем (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Тараксацин (триметил-3а,4-дигідрозулено [6,5-в] фуран-2,6-діон,  $C_{15}H_{14}O_3$ )

Соняшник звичайний (*Helianthus annuus*) широко культивують в Україні як олійну культуру. У листі та квітках містяться: флавоноїди, кумариновий глікозид скополін, тритерпенові сапоніди, стерини (рис 2.7), каротиноїди, фенолкарбонові кислоти (хлорогенова, неохлорогенова, кавова), антоціани [11].

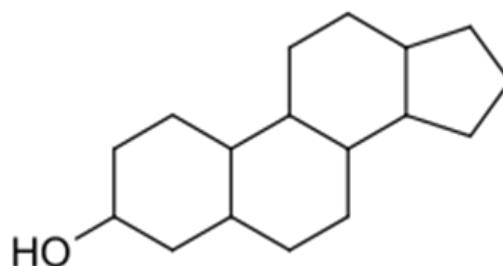


Рисунок 2.7 – Структурна формула стеролу

На основі вищезазначених рослин робились дослідження іноземними науковцями. Дослідження показали позитивний результат [12].

Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia*) відноситься до отруйних трав'янистих рослин із родини айстрових. Це карантинний бур'ян, який завдає шкоди сільському господарству й здоров'ю людини. З екологічної точки зору, при позитивних інгібіторних властивостях, даний бур'ян можливо було б утилізувати з користю.

Надземна частині амброзії полинолістої (*Ambrosia artemisiifolia*) містить: кверцетин, сесквітерпенові сполуки, куманін, дигідрокуманін, а також його діацетат, ізорамнетин, перузин псілостахінін і псілостахінін С, салонітеноїд, ізобелін, оксикоричні кислоти та 0,14% ефірних олій, включаючи камфору та цинеол.

### 2.3 Приготування екстрактів з рослинної сировини

Екстракт (extractum) – це концентрована витяжка з рослинної сировини.

У дослідженнях цієї роботи готувались водні витяжки з кульбаби лікарської, соняшника звичайного і амброзії полинолістої (рис 2.8).



Рисунок 2.7 – Приготування екстрактів з рослинної сировини

25 г коріння кульбаби лікарської, 20 г соняшника звичайного подрібненого, 15 г амброзії полинолистої подрібненої заливали 150 мл води температурою 100 °С, настоювали за температури 18-20 °С протягом 24 годин. Після цього екстракт відфільтрували для використання у подальших дослідженнях (рис 2.9).



Рисунок 2.9 – Готові екстракти з рослинної сировини

В ході експерименту отримані рослинні екстракти змішували у пропорціях 1 : 1 та 2 : 1, а також окремо досліджували дію в активних корозійних середовищах на зразки зі сталі Ст1пс та 30ХГСА.

#### 2.4 Схема проведення експерименту

Експеримент проводили в агресивному корозійному середовищі – 10%-му розчині сірчаної (сульфатної) кислоти ( $H_2SO_4$ ) та 3%-му розчині натрій хлориду ( $NaCl$ ) – класичному активно корозійному середовищі. Зразки знаходились в корозійних середовищах 72 години.

Спочатку досліджували антикорозійну дію екстрактів з рослинної сировини на звичайній конструкційній сталі Ст1пс.

Екстракт з рослинної сировини додавали безпосередньо у корозійне середовище. Два зразки (контрольні) знаходились у чистих розчинах сірчаної кислоти та натрій хлориді без додавання рослинних інгібіторів (див. рис. 2.10).

Хімічний склад експериментальних розчинів для сталі Ст1пс та 30ХГСА однаковий і вказаний в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Хімічний склад експериментальних розчинів для сталей Ст1пс та 30ХГСА

№ досліду	Хімічний склад розчину
1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 75 мл + 25 мл H <sub>2</sub> O (контроль)
2	NaCl 75 мл + 25 мл H <sub>2</sub> O (контроль)
3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 75 мл + екстракт амброзії полинолістої 25 мл
4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 75 мл + екстракт кульбаби лікарської 25 мл
5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 75 мл + екстракт амброзії полинолістої 12,5 мл та кульбаби лікарської 12,5 мл (1 : 1)
6	NaCl 75 мл + екстракт амброзії полинолістої 12,5 мл та кульбаби лікарської 12,5 мл (1 : 1)
7	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 75 мл + екстракт соняшника звичайного 25 мл
8	NaCl 75 мл + екстракт соняшника звичайного 25 мл
9	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 75 мл + екстракт амброзії полинолістої 16,6 мл та кульбаби лікарської 8,4 мл (2 : 1)
10	NaCl 75 мл + екстракт амброзії полинолістої 16,6 мл та кульбаби лікарської 8,4 мл (2 : 1)
11	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 75 мл + екстракт амброзії полинолістої 12,5 мл та соняшника звичайного 12,5 мл (1 : 1)
12	NaCl 75 мл + екстракт амброзії полинолістої 12,5 мл та соняшника звичайного 12,5 мл (1 : 1)



Рисунок 2.10 – Дослідження зразків Ст1пс в корозійних середовищах з інгібіторами на основі рослинних екстрактів

Далі досліджували антикорозійну дію екстрактів з рослинної сировини на конструкційній середньо легованій сталі 30ХГСА.

Так само екстракт з рослинної сировини додавали у корозійне середовище. Два зразки (контрольні) знаходились у чистих розчинах сірчаної кислоти та натрій хлориді без додавання рослинних інгібіторів (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Дослідження зразків сталі 30ХГСА в корозійних середовищах з інгібіторами на основі рослинних екстрактів

Експеримент проводили в 3-х кратній послідовності для достовірності отриманих результатів.

## 2.5 Гравіметричний метод аналізу швидкості корозії

На початку експерименту сталеві зразки зважували на аналітичних вагах RADWAG AS220.R2 (рис. 2.12). Розміри зразків визначали за допомогою штангенциркуля з точністю до 0,1 мм (рис. 2.13). Знаючи розміри зразків, обчислювали площу поверхні ( $S$ ), враховуючи при цьому площу отвору. Знежирені і просушені зразки занурювали до склянок з розчинами сірчаної кислоти, натрію хлориду та у поєднанні з рослинними екстрактами.

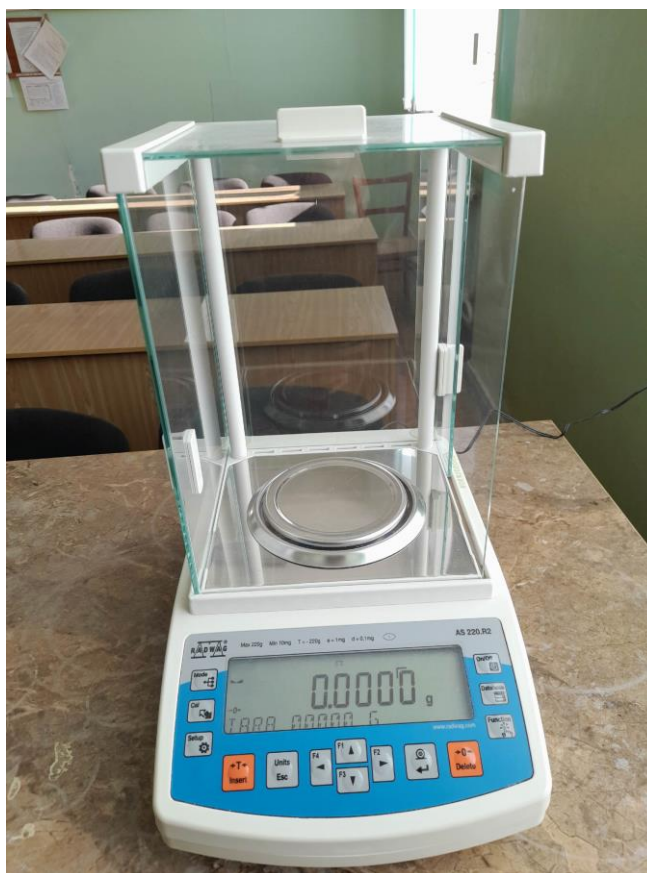


Рисунок 2.12 – Аналітичні ваги RADWAG AS220.R2



Рисунок 2.13 – Штангенциркуль

Зразки сталевих пластин були підвішені у склянках за допомогою хімічно стійких до агресивних середовищ фторопластових гачків. Пластини були повністю занурені у розчин і не торкались стінок склянки.

Після 72 годин знаходження в розчинах сталеві пластини виймали, промивали, видаляючи продукти корозії, просушували та зважували на аналітичних вагах.

Після зважування зразків визначали за формулою (2.1) ваговий показник швидкості корозії [13].

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot t}, \quad (2.1)$$

де  $K_m$  – ваговий показник швидкості корозії ( $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$ );

$m_1$  – маса зразка до дослідження;

$m_2$  – маса зразка після дослідження;

$S$  – площа поверхні зразка;

$t$  – час випробування.

Оцінкою ефективності дії інгібітора є ступінь захисту та коефіцієнт гальмування швидкості корозії. Для визначення коефіцієнту гальмування швидкості корозії ( $\gamma$ ) використовували формулу 2.2.

$$\gamma = \frac{K_0}{K_1}, \quad (2.2)$$

де  $K_0$  – ваговий показник швидкості корозії без інгібітору;

$K_1$  – ваговий показник швидкості корозії з інгібітором.

Для визначення ступеня інгібіторного захисту рослинного екстракту ( $Z$ ) використовували формулу 2.3.

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100\% , \quad (2.3)$$

де  $K_0$  – ваговий показник швидкості корозії без інгібітору;

$K_1$  – ваговий показник швидкості корозії з інгібітором;

$Z = 100\%$  при повному захисті.

Знаючи густину сталі можна розрахувати глибинний показник швидкості корозії ( $\Pi$ , мм/рік) за формулою (2.4).

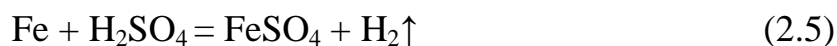
$$\Pi = 8,76 \frac{K_m}{\rho} \text{ [мм/рік]} , \quad (2.4)$$

де 8,76 – коефіцієнт для переходу від вимірювання масового показника швидкості корозії з розрахунку на 1 год. до глибинного показника з розрахунку на 1 рік;

$K_m$  – ваговий показник швидкості корозії з інгібітором;

$\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ .

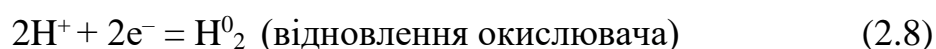
При дослідженні зразка сталі в корозійному середовищі – 10%-му розчині сірчаної кислоти, перебіг процесу корозії з відділенням водню буде відповідати хімічному рівнянню (2.5):



В скороченій іонній формі реакція заліза в кислих розчинах матиме вигляд (2.6):



Тоді, як у вигляді анодної та катодної напівреакцій процес корозії виглядатиме (2.7 та 2.8):



Імітація морської води – 3%-й розчин NaCl є нейтральним, в якому головним окиснювачем є розчинений кисень (2.9):



Таким чином, при корозії металу у кислих середовищах виділяється газ (переважно водень), а в нейтральному середовищі – газ поглинається. В обох випадках об'єм газу дорівнює кількості зруйнованого корозією металу.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСТРАКТІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЯК ПОТЕНЦІЙНИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ МЕТАЛІВ

#### 3.1 Оброблення експериментальних даних

Вже на початку експерименту зі сталевими пластинами Ст1пс в розчинах з  $H_2SO_4$  наглядно спостерігався процес корозії – утворювались бульбашки газу (водню). У чистому розчині сірчаної кислоти сталева пластина майже відразу стала чорного кольору. На рисунку 3.1 зображено пластину Ст1пс у 10%-ому розчині сірчаної кислоти та у розчині сірчаної кислоти з доданим інгібітором корозії (екстрактом з амброзії полинолістої).



Рисунок 3.1 – Процес корозії на початку дослідження у розчині сірчаної кислоти та з додаванням інгібітора корозії на сталі Ст1пс

На початку експерименту зі зразками сталі 30ХГСА у розчині сірчаної кислоти на поверхні активно утворювались бульбашки водню. Значно менше спостерігався такий процес при додаванні рослинного інгібітора корозії (рис. 3.2). Сталь без додавання рослинного інгібітора змінила колір на чорний.



Рисунок 3.2 – Процес корозії на початку дослідження у розчині сірчаної кислоти та з додаванням інгібітора корозії на сталі 30ХГСА

Так само на початку експерименту зі зразками сталі 30ХГСА у 3%-ому розчині натрій хлориду на поверхні почали утворюватися чорні плями. На поверхнях зразків з рослинним інгібітором такі плями на початку були відсутні (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Процес корозії на початку дослідження у 3%-му розчині NaCl та з додаванням інгібітора корозії на сталі 30ХГСА

Після 3-х днів експерименту колір розчинів змінився (рис. 3.4 і рис. 3.5) та став більш насиченим. У чистому розчині сірчаної кислоти досі активно йшов процес корозії – виділялись бульбашки водню.



Рисунок 3.4 – Розчини на основі рослинних екстрактів після 72 годин зі зразками сталі Ст1пс

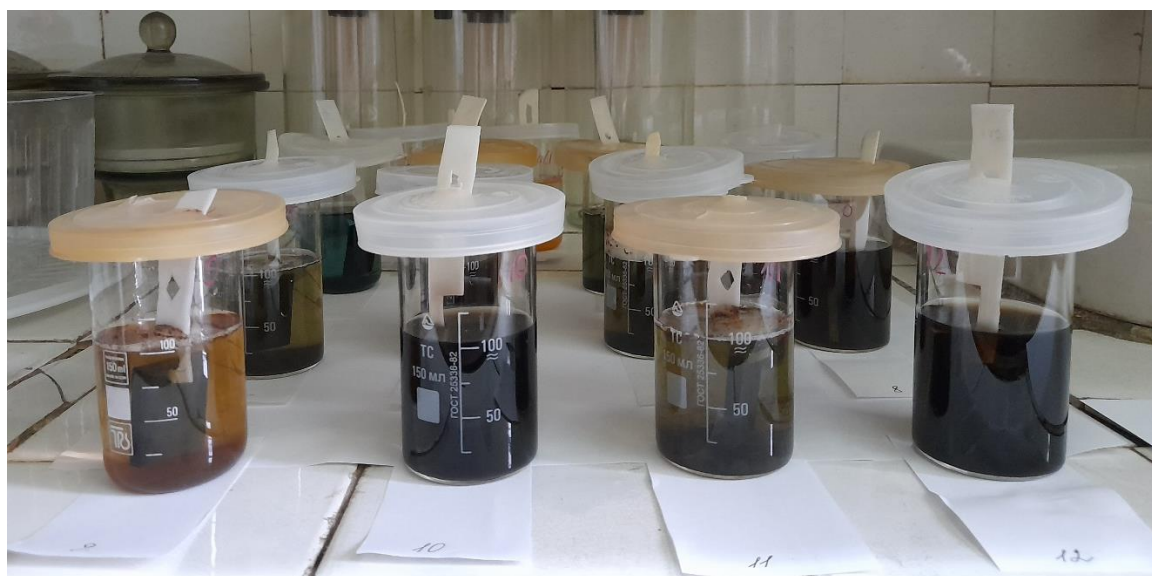


Рисунок 3.5 – Розчини на основі рослинних екстрактів після 72 годин зі зразками сталі 30ХГСА

У контрольних розчинах без інгібіторів після 72 годин утворився осад. Колір 10%-го розчину сірчаної кислоти зі зразком сталі 30ХГСА набув бірюзового відтінку. Наглядно процеси корозії в чистих контрольних розчинах зображено на рис 3.6. та рис. 3.7.

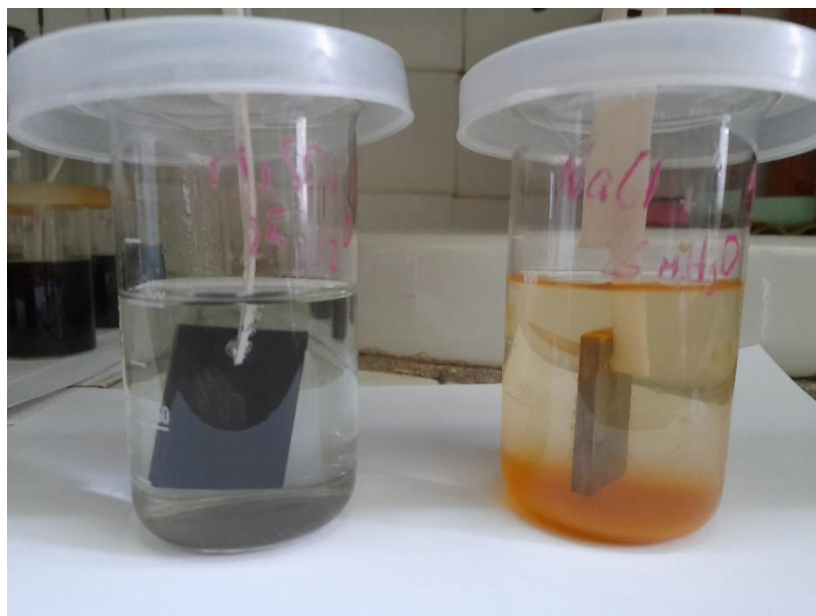


Рисунок 3.6 – Процес корозії сталі Ст1пс в розчинах  $H_2SO_4$  та  $NaCl$  без інгібіторів після 72 год



Рисунок 3.7 – Процес корозії сталі 30ХГСА в розчинах  $H_2SO_4$  та  $NaCl$  без рослинних інгібіторів після 72 год

Після 3-х діб зразки сталі Ст1пс вийняли з корозійноактивних розчинів (рис. 3.8), контрольні зразки мали вигляд зображених на рис. 3.9.



Рисунок 3.8 – Зразки сталі Ст1пс після 72 год в корозійному середовищі



Рисунок 3.9 – Зразки Ст1пс після 72 год в чистих розчинах  $H_2SO_4$  та  $NaCl$

Так само, зразки сталі 30ХГСА після 3-х діб вийняли з корозійноактивних розчинів (рис. 3.10), контрольні зразки мали вигляд зображений на рис. 3.11.



Рисунок 3.10 – Зразки сталі 30ХГСА після 72 год в корозійному середовищі



Рисунок 3.11 – Зразки 30ХГСА після 72 год в чистих розчинах  $H_2SO_4$  та  $NaCl$

Надалі зразки сталей промили, видаливши продукти корозії (рис. 3.12 та 3.13), просушили. Після повного висихання зразки повторно зважили на аналітичних вагах для визначення  $\Delta m$  (різниці ваги).



Рисунок 3.12 – Зразки сталі Ст1пс після промивання

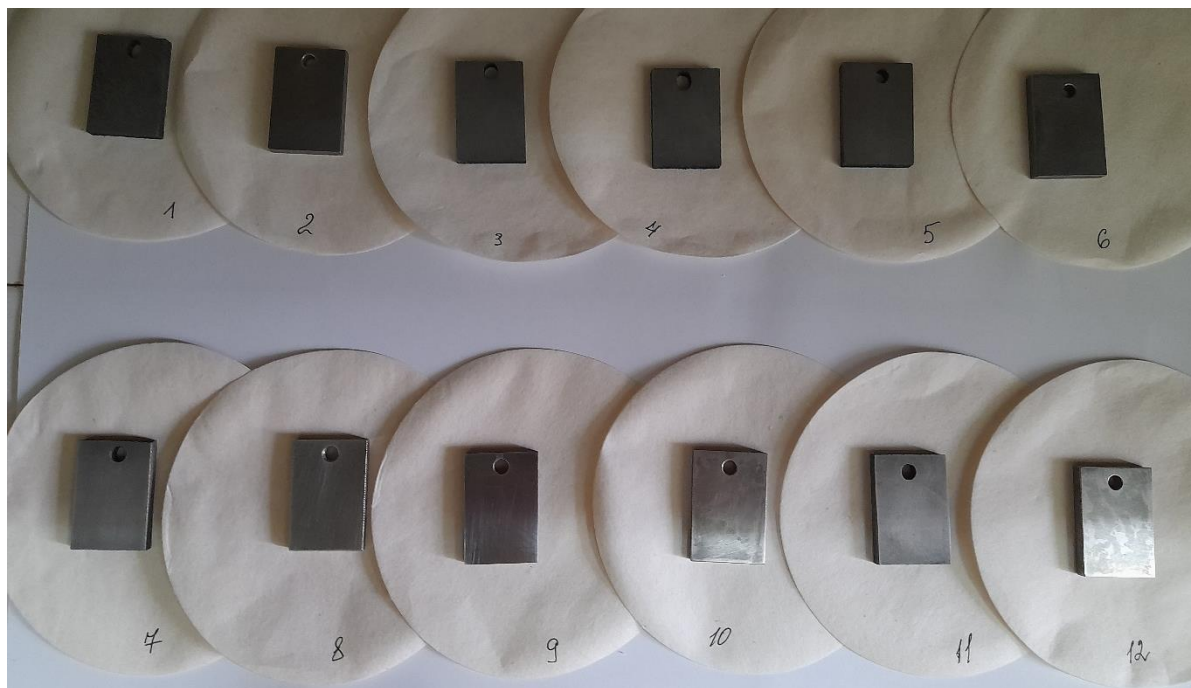


Рисунок 3.13 – Зразки сталі 30ХГСА після промивання

Після промивання зразків сталі Ст1пс на контрольному зразку у кислому середовищі без додавання рослинних інгібіторів з'явилися дефекти (рис. 3.14).

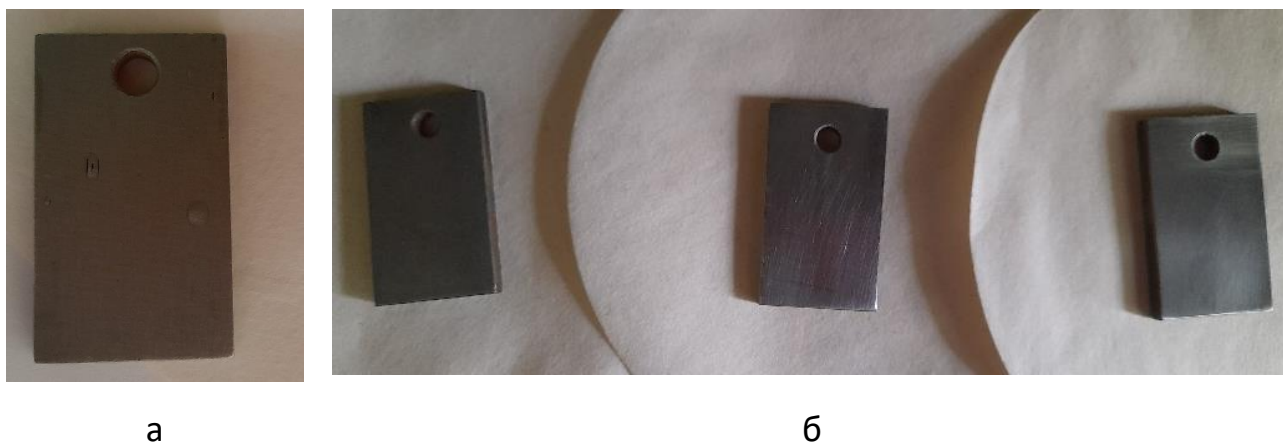


Рисунок 3.14 – Зразки Ст1пс витримані у розчинах  $H_2SO_4$  після промивання: а – Ст1пс у чистому розчині  $H_2SO_4$ ; б – Ст1пс у розчині  $H_2SO_4$  з додаванням інгібіторів на основі рослинних екстрактів

Після промивання зразків сталі 30ХГСА на контрольному зразку у кислому середовищі без додавання рослинних інгібіторів поверхня набула матового кольору, стала шорохуватою (рис. 3.15). На всіх зразках у кислому середовищі торці пластин та отвір стали шорохуватими і значно піддалися роз'їданню.

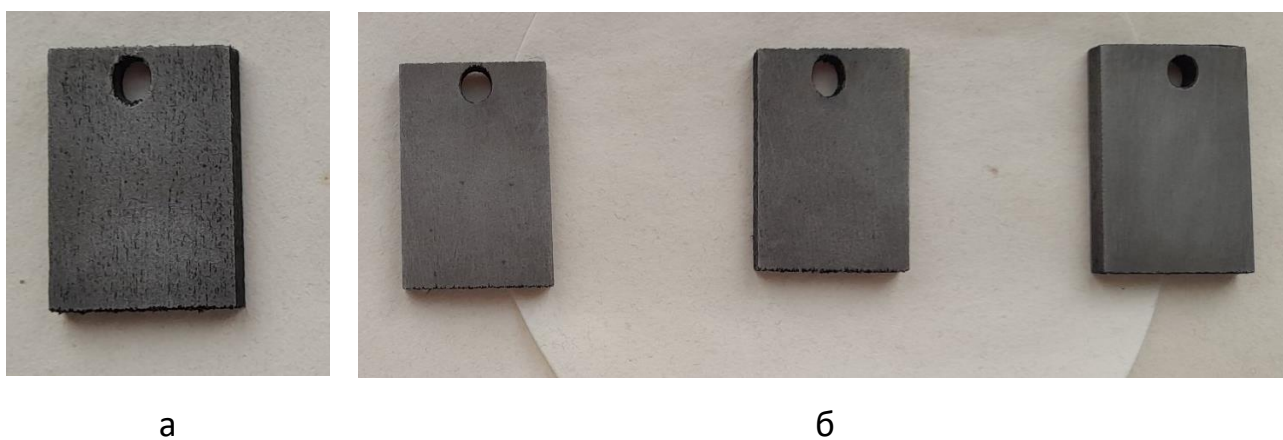


Рисунок 3.15 – Зразки сталі 30ХГСА витримані у розчинах  $H_2SO_4$  після промивання: а – 30ХГСА у чистому розчині  $H_2SO_4$ ; б – 30ХГСА у розчині  $H_2SO_4$  з додаванням інгібіторів на основі рослинних екстрактів

Зразки сталей у нейтральному середовищі без додавання рослинних інгібіторів мали вигляд, зображений на рисунку 3.16.

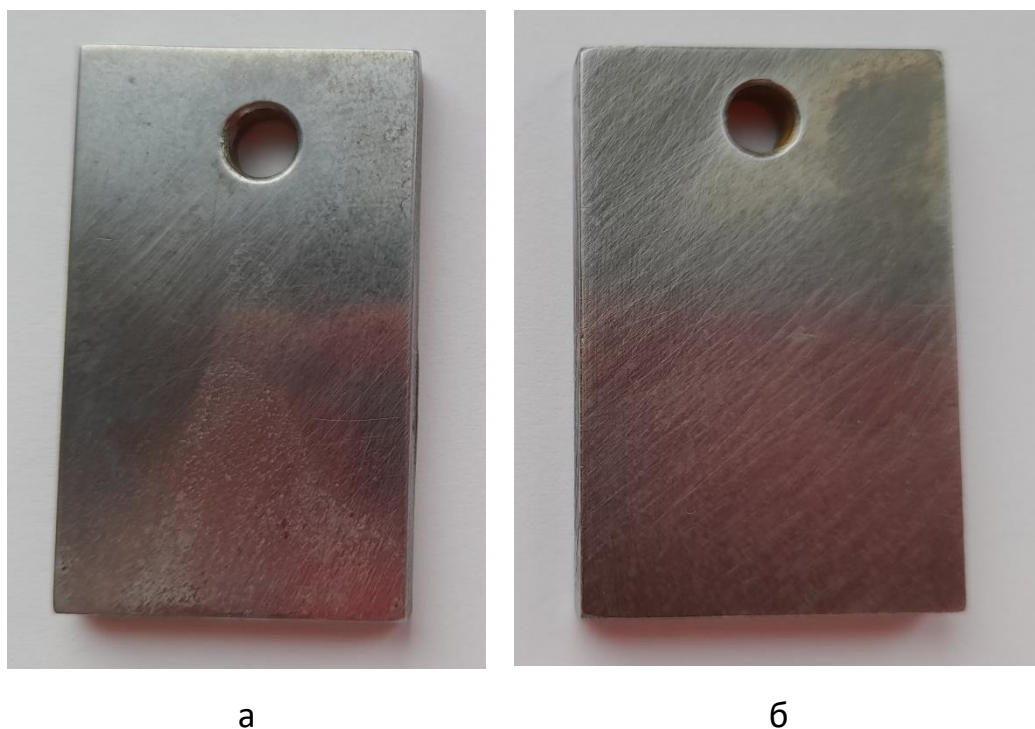


Рисунок 3.16 – Зразки сталі Ст1пс та 30ХГСА витримані у 3%-му розчині NaCl після промивання: а – Ст1пс; б – 30ХГСА

Далі обчислювали ваговий та глибинний показники швидкості корозії, коефіцієнт гальмування швидкості корозії та ступінь інгібіторного захисту для сталі Ст1пс в 10%-му розчині  $H_2SO_4$  (див. табл. 3.1) та 3%-му розчині NaCl (див. табл. 3.2). Розрахунки проводили за формулами 2.1, 2.2, 2.3 та 2.4., що наведені у 2-му розділі даної роботи. Середня арифметична похибка вимірювань становила  $\pm 10\%$ , що відповідає вимогам щодо достовірності результатів наукових досліджень.

Таблиця 3.1 – Розрахунок вагового та глибинного показників швидкості корозії, коефіцієнта гальмування швидкості корозії та ступеня інгібіторного захисту для сталі Ст1пс в 10%-му розчині  $H_2SO_4$

	$H_2SO_4$	Амброзія	Кульбаба	Соняшник	Амброзія та кульбаба (1:1)	Амброзія та кульбаба (2:1)	Амброзія та соняшник (1:1)
$S, m^2$	<b>0,0021</b>	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
$m_1$	<b>24,6226</b>	24,5181	24,4604	24,4601	24,7565	24,5529	24,8655
$m_2$	<b>23,5660</b>	24,4249	24,3631	24,3697	24,6713	24,4830	24,7550
$t, год$	<b>72</b>	72	72	72	72	72	72
$K_m$	<b>6,91</b>	0,61	0,64	0,59	0,56	0,46	0,72
$\gamma$		11,34	10,86	11,69	12,40	15,12	9,56
$Z, \%$		91	91	91	92	93	90
$\Pi, (мм/рік)$	7,71	0,68	0,71	0,66	0,62	0,51	0,81

В ході дослідження було виявлено позитивний вплив всіх екстрактів з рослинної сировини на сталь Ст1пс у сірчанокиислому середовищі. Ступінь інгібіторного захисту коливався в межах 90...93% (див. рис. 3.17). Найбільший ефект мали екстракти з суміші амброзії та кульбаби (2:1).

Таблиця 3.2 – Розрахунок вагового та глибинного показників швидкості корозії, коефіцієнта гальмування швидкості корозії та ступеня інгібіторного захисту для сталі Ст1пс в 3%-му розчині NaCl

	NaCl	Соняшник	Амброзія та кульбаба (1:1)	Амброзія та кульбаба (2:1)	Амброзія та соняшник (1:1)
$S, m^2$	<b>0,0021</b>	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
$m_1$	<b>24,8225</b>	24,8521	24,5501	24,6622	24,5505
$m_2$	<b>24,8163</b>	24,8470	24,5426	24,6533	24,5460
$t, год$	<b>72</b>	72	72	72	72
$K_m$	<b>0,04</b>	0,03	0,05	0,06	0,03
$\gamma$		1,22	0,83	0,70	1,38
$Z, \%$		18	21	44	27
$\Pi, (мм/рік)$	<b>0,05</b>	0,04	0,05	0,06	0,03

На жаль, такого позитивного впливу як у сірчанокиислому середовищі, досліджувані екстракти з рослинної сировини у розчині натрій хлориду не мали. Екстракти з соняшнику та амброзії виявили низький ступінь захисту в межах 18...27%. Такі потенційні інгібітори, як амброзія та кульбаба не проявили захисної дії і виступили в ролі активаторів (рис. 3.17).

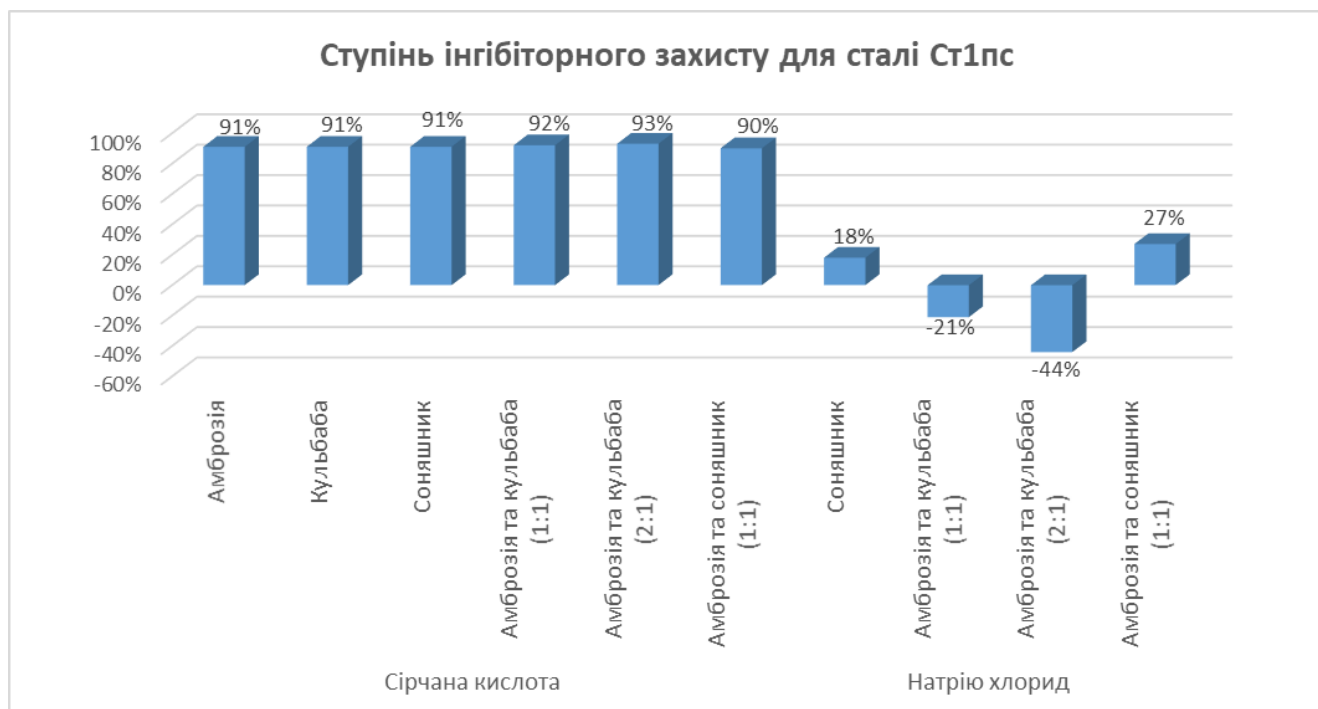


Рисунок 3.17 – Ступінь інгібіторного захисту для сталі Ст1пс у 10%-му розчині  $H_2SO_4$  та 3%-му розчині  $NaCl$

Досліджувані екстракти з рослинної сировини у сірчанокиислому середовищі мали коефіцієнт гальмування в межах 9,56...15,12, а у натрій хлориді в межах 0,7...1,38 (див. рис. 3.18). У порівнянні з екстрактами рослин з високим вмістом дубильних речовин (наприклад, екстракт дубу і чорниці 1:1), в якому коефіцієнт гальмування у 3%-му розчині  $NaCl$  становив 48,2 – у проведеному дослідженні з екстрактами, низькими на вміст дубильних речовин, він є маленьким [14].



Рисунок 3.18 – Коефіцієнт гальмування швидкості корозії для сталі Ст1пс у 10%-му розчині  $H_2SO_4$  та 3%-му розчині  $NaCl$

Глибинний показник швидкості корозії у сірчаноокислому середовищі для сталі Ст1пс без додавання рослинних екстрактів склав 7,71 мм/рік, а у 3%-му розчині  $NaCl$  – 0,05 мм/рік. За «Десятибальною шкалою стійкості» цей показник відповідає 9 балам (малостійкі) та 4 балам (стійкі) відповідно. За рахунок досліджуваних екстрактів у сірчаноокислому середовищі глибинний показник змінюється і сягає 7 балів, що переносить зразок сталі до групи зниженостійкі.

На наступному етапі обчислювали ваговий та глибинний показники швидкості корозії, коефіцієнт гальмування швидкості корозії та ступінь інгібіторного захисту для середньолегованої сталі 30ХГСА в 10%-му розчині  $H_2SO_4$  (див. табл. 3.3) та 3%-му розчині  $NaCl$  (див. табл. 3.4). Розрахунки проводили за формулами 2.1, 2.2, 2.3 та 2.4, що наведені у 2-му розділі даної роботи. Середня арифметична похибка вимірювань становила  $\pm 10\%$ , що відповідає вимогам щодо достовірності результатів наукових досліджень.

Таблиця 3.3 – Розрахунок вагового та глибинного показників швидкості корозії, коефіцієнта гальмування швидкості корозії та ступеня інгібіторного захисту для сталі 30ХГСА в 10%-му розчині  $H_2SO_4$

	$H_2SO_4$	Амброзія	Кульбаба	Соняшник	Амброзія та кульбаба (1:1)	Амброзія та кульбаба (2:1)	Амброзія та соняшник (1:1)
$S, m^2$	<b>0,0024</b>	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024
$m_1$	<b>32,6306</b>	31,9769	32,4938	31,9868	32,9074	32,7799	33,1990
$m_2$	<b>25,9169</b>	27,1131	26,0862	29,6766	31,0716	32,2714	30,9287
$t, год$	<b>72</b>	72	72	72	72	72	72
$K_m$	<b>38,22</b>	27,69	36,48	13,15	10,45	2,89	12,92
$\gamma$		1,38	1,05	2,91	3,66	13,20	2,96
$Z, \%$		28	5	66	73	92	66
$\Pi, (мм/рік)$	42,65	30,90	40,70	14,68	11,66	3,23	14,42

В ході дослідження було виявлено позитивний вплив екстрактів з соняшника та амброзії на сталь 30ХГСА у сірчанокислому середовищі. Ступінь інгібіторного захисту досліджуваних екстрактів рослин мав значний інтервал - 5...92% (див. рис. 3.19). Найбільший ефект мали екстракти суміші амброзії та кульбаби (2:1) та соняшника.

Таблиця 3.4 – Розрахунок вагового та глибинного показників швидкості корозії, коефіцієнта гальмування швидкості корозії та ступеня інгібіторного захисту для сталі 30ХГСА в 3%-му розчині NaCl

	NaCl	Соняшник	Амброзія та кульбаба (1:1)	Амброзія та кульбаба (2:1)	Амброзія та соняшник (1:1)
$S, m^2$	<b>0,0024</b>	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024
$m_1$	<b>32,2588</b>	32,0959	32,4630	33,0753	32,3763
$m_2$	<b>32,2511</b>	32,0842	32,4470	33,0550	32,3660
$t, год$	<b>72</b>	72	72	72	72
$K_m$	<b>0,04</b>	0,07	0,09	0,12	0,06
$\gamma$		0,66	0,48	0,38	0,75
$Z, \%$		52	108	164	34
$\Pi, (мм/рік)$	<b>0,05</b>	0,07	0,10	0,13	0,07

Позитивного впливу досліджувані екстракти з рослинної сировини у розчині натрій хлориду не проявили. Екстракти з соняшнику та суміші з амброзією виявили від'ємний ступінь захисту. Потенційні інгібітори не проявили захисної дії і виступили в ролі каталізаторів корозії (рис. 3.19).

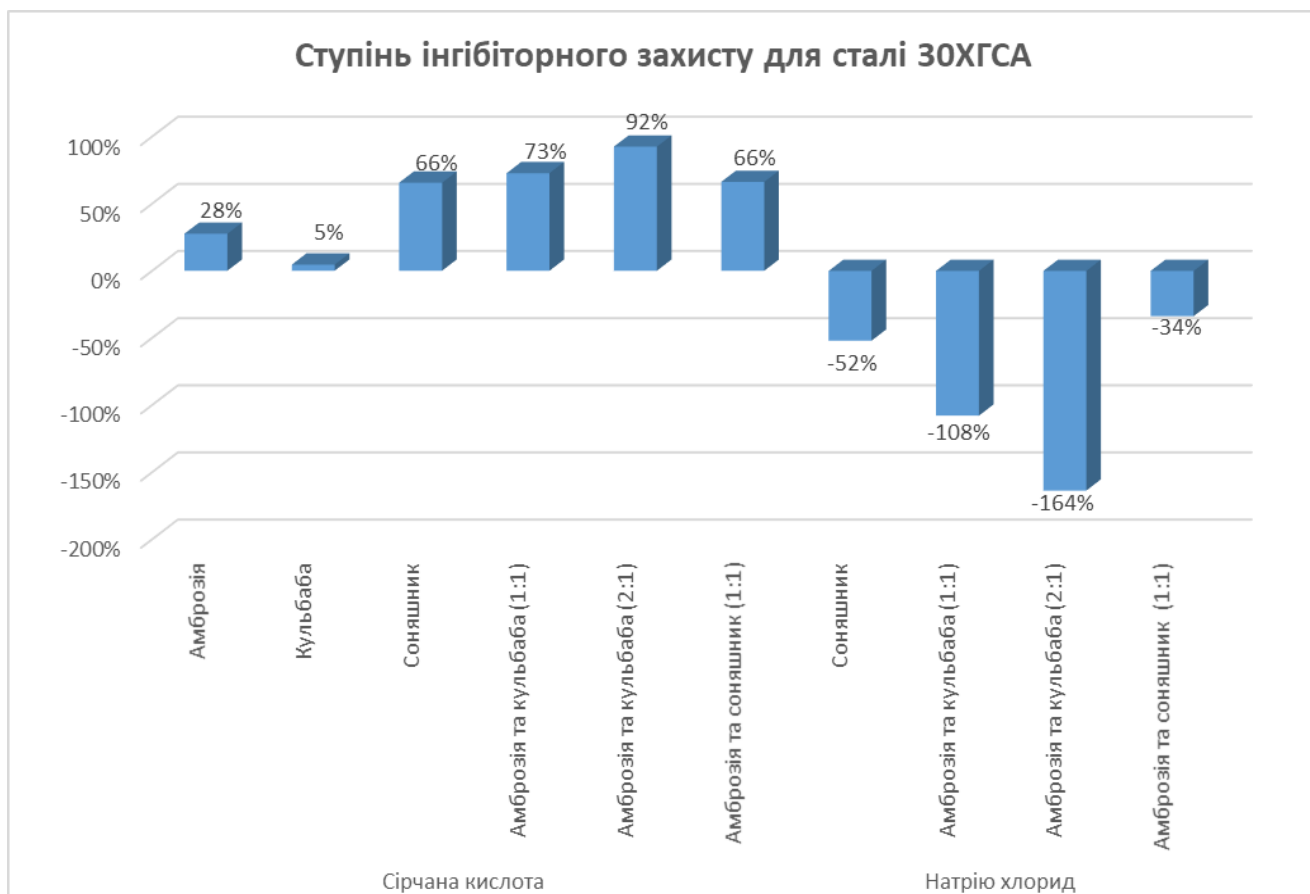


Рисунок 3.19 – Ступінь інгібіторного захисту для сталі 30ХГСА у 10%-му розчині  $H_2SO_4$  та 3%-му розчині  $NaCl$

Досліджувані екстракти з рослинної сировини у сірчанокиислому середовищі мали коефіцієнт гальмування в інтервалі 1,05...13,20, а у натрій хлориді в межах 0,38...0,75 (див. рис. 3.20). Коефіцієнт гальмування корозії досліджуваних екстрактів з рослинної сировини у 3%-му розчині  $NaCl$  становив менше 1.

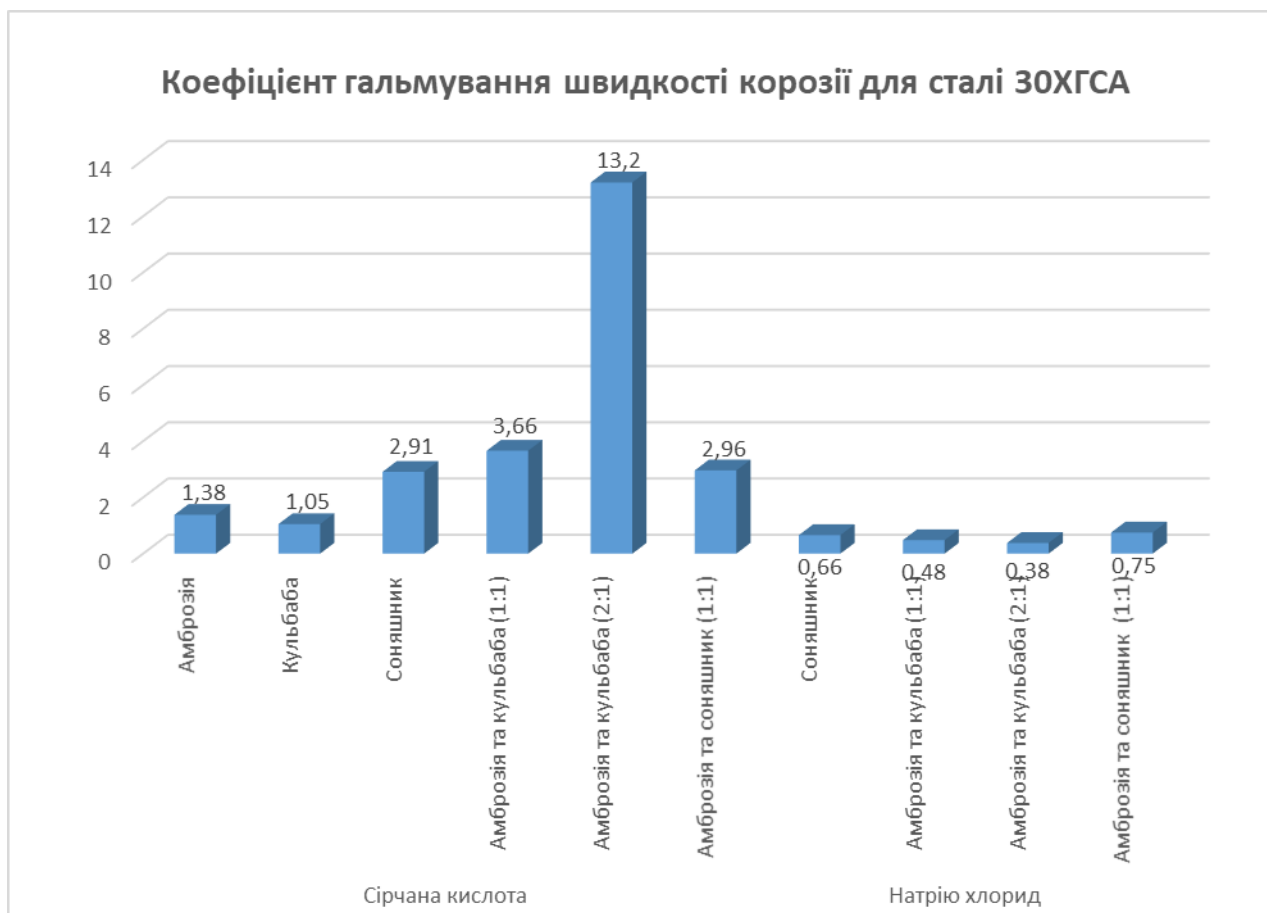


Рисунок 3.20 – Коефіцієнт гальмування швидкості корозії для сталі 30ХГСА у 10%-му розчині  $H_2SO_4$  та 3%-му розчині  $NaCl$

Глибинний показник швидкості корозії у сірчаноокислому середовищі для сталі 30ХГСА без додавання рослинних екстрактів склав 42,65 мм/рік, а у 3%-му розчині  $NaCl$  – 0,05 мм/рік. За «Десятибальною шкалою стійкості» цей показник відповідає 10 балам (нестійкі) та 4 балам (стійкі) відповідно. За рахунок досліджуваних екстрактів, а саме суміші амброзії та кульбаби (2:1), у сірчаноокислому середовищі глибинний показник змінюється з 10 балів на 8 балів, що переносить зразок сталі 30ХГСА до групи малостійкі.

Згідно наукових праць, використання водних екстрактів є кращим порівняно з екстрактами, які отримані на основі органічних розчинників. Водні екстракти містять відносно полярні органічні речовини, що сприяють міцному зв'язуванню з металевими поверхнями, ніж у неполярних речовин екстрактів

[15]. Саме такі композиції органічних сполук, які мають полярні функції, містить екстракт головки соняшника.

Отримані результати вказують на перспективність подальших досліджень зазначених рослинних екстрактів та розширення спектру експерименту для звичайної вуглецевої сталі з метою протидії кислотній корозії. Зокрема, цікавим напрямком буде дослідження антикорозійних властивостей екстрактів рослинної сировини при попередній обробці сталевого зразка з подальшим зануренням у корозійний розчин. Також цікавим буде експеримент використання золи відходів соняшника у корозійному середовищі.

### **3.2 Теоретичні основи можливого механізму антикорозійної дії водних екстрактів з рослинної сировини**

Основними компонентами рослинних екстрактів є поліфеноли, флавоноїди, диглюкозиди, стероїди, каротини, протеїни, заміщені нафтохінони, амінокислоти та ін. Інгібіторні властивості цих сполук, функціональні групи яких містять Нітроген, Оксиген, Сульфур і Фосфор, подвійні зв'язки та ароматичні кільця, визначаються їхньою здатністю адсорбуватись на поверхні металу [16].

Для встановлення складу екстрактів та з'ясування механізму їхньої дії необхідно проводити комплексне дослідження, зокрема методом інфрачервоної спектроскопії за функціональними групами, атомно-абсорбційним спектроскопічним методом та методом газової хроматографії з мас-селективним детектуванням тощо. За відсутності спроможності провести такий аналіз можливий механізм дії водних вилучень з рослинної сировини, що були нами використані в роботі, можна тільки передбачити на основі літературних даних.

Екстракт кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale*) давно привертає особливу увагу в різних галузях завдяки своїй помітній біологічній активності, що включає антимікробні, протигрибкові та антиоксидантні властивості. Екстракт кореня кульбаби складається з фенольних і терпенових сполук, сесквітерпенових лактонів, фруктанів та інуліну (до 40%) [17].

Багато вчених досліджували антикорозійні властивості витяжки з кореня кульбаби і отримали діапазон ефективності інгібування від 45,8 до 94,3% залежно від концентрації екстракту. Було встановлено, що екстракт кореня кульбаби є змішаним інгібітором корозії з домінуючою анодною реакцією, яка знижує швидкість корозії шляхом адсорбції на анодних ділянках і запобігає розчиненню сталі. Гідроксильні групи в молекулі інуліну можуть діяти як домінуючі групи, що утворюють комплекси з металами. Тому адсорбційні властивості екстракту кореня кульбаби, швидше за все, пов'язані з цією специфічною ділянкою молекули [17].

Оскільки екстракт кореня кульбаби містить складну суміш фітохімічних речовин, зокрема таракастерол, цикоринову кислоту, тетрагідрорідин В і кавову кислоту, кожна з них сприяє прояву його антикорозійних властивостей. Ці речовини відомі своєю потужною антиоксидантною та хелатоутворюючою активністю, що має вирішальне значення для формування захисного бар'єру на поверхні металу, таким чином зменшуючи корозію [18].

Результати випробувань [19] екстракту кореня кульбаби як інгібітору корозії вуглецевої сталі в модельованому розсолі, насиченому CO<sub>2</sub>, показали, що за найбільшої концентрації інгібітору відбувається формування міцел, тобто досягається критична концентрація інгібітору, що призводить до зниження його ефективності. Екстракт кореня кульбаби додавали в концентраціях від 10 мл/л до 13 мл/л і витримували зразки протягом 4 годин. Найвища ефективність інгібітору (98,37%) була досягнута за концентрації 12 мл/л. С-N, С-С і С=О – це групи, які також є домінуючими функціональними групами в екстракті кореня кульбаби, крім гідроксильних груп. Крім того, екстракт кореня кульбаби майже

повністю біологічно розкладається (0,96) і має значення токсичності 2,38, з чого можна зробити висновок, що цей екстракт є екологічно прийнятним.

Загально визнано, що хороший інгібітор на органічній основі має здатність як віддавати вільні електрони металу, так і приймати їх від металу. Дія інгібітору також контролюється дипольним моментом інгібітору: високі дипольні моменти впливають на діелектричні характеристики подвійного електричного шару, що, у свою чергу, знижує швидкість електрохімічних реакцій. Органічні сполуки, що містяться в екстракті кульбаби, мають вищі дипольні моменти, ніж вода; тому ці сполуки легко замінюють молекули води на поверхні металевого зразка [20]. Інгібування пов'язане з сорбцією молекул інгібітору через три механізми:

- хімічний механізм (донорно-акцепторні взаємодії між вільними електронними парами гетероатомів і  $\pi$ -електронами кратних зв'язків і вакантними d-орбіталями заліза);
- фізична адсорбція між зарядженою поверхнею металу та зарядженими молекулами інгібітору;
- перенесення додаткового негативного заряду з d-орбіталі заліза на вакантну  $\pi^*$ -орбіталь молекул інгібітору [20].

Оцінка деяких рослинних екстрактів та кореляція між екстрактом та корозією показала, що інгібуючий ефект повинен бути сфокусований на загальному фенольному вмісті. Була отримана хороша кореляція між ефективністю інгібування корозії рослинними екстрактами та загальним вмістом фенолу в них. Чим вищий загальний вміст фенолу, тим вища ефективність інгібування [21].

Соняшник (*Helianthus annuus L.*) з родини айстрових є домінуючою та економічною олійною культурою. Однак головка соняшнику після видалення насіння стає відходом, який є екологічно чистим та може широко використовуватися в подальшому. Дослідження антикорозійної ефективності екстракту головки соняшника є перспективним, враховуючи присутність різноманітних органічних сполук, які містять багато полярних груп. В окремих

наукових роботах [22] зазначено, що ефективність інгібування корозії зростає зі збільшенням концентрації екстракту соняшника та зниженням температури, а максимальні значення за максимальної концентрації (3 г/л) перевищують 96 і 91% при 298 К в 1 М HCl і 0,5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> відповідно.

Також науковцями [23] було вивчено пектин, отриманий з головок соняшнику. Пектин – тип полісахаридного полімеру, який широко використовується в харчовій промисловості. Останнім часом його нетоксичність, здатність до біологічного розкладання та відповідна молекулярна структура привернули увагу для вивчення як інгібітору корозії.

Механізм інгібування кислотної корозії пектином з головки соняшника авторами [23] пропонується такий. Відомо, що Cl<sup>-</sup> має синергічний ефект з інгібіторами для інгібування корозії. У цьому випадку молекули пектину легко протонувалися в кислому розчині та були позитивно заряджені, що ускладнювало їх адсорбцію на позитивно зарядженій поверхні сталі. Тим часом Cl<sup>-</sup> у розчині HCl може легко адсорбуватися завдяки електростатичній взаємодії, що робить сумарний поверхневий заряд негативним. Функціональні групи –COOH у молекулах пектину легко протонуються в –COOH<sup>2+</sup> у високоокислих розчинах, які можуть утворювати ван-дер-ваальсовий зв'язок із Cl<sup>-</sup> шляхом електростатичної взаємодії. Згодом адсорбовані молекули пектину утворюють щільний шар для захисту сталі від корозії. Таким чином, електростатична взаємодія між протонованим пектином і Cl<sup>-</sup> на поверхні сталі була причиною фізичної адсорбції. Такі функціональні групи пектину, як CH<sub>3</sub>COO– і –O–, можуть віддавати та ділитися електронами з вільною орбітальною заліза, заміщаючи агресивні речовини на поверхні сталі та утворюючи координаційні зв'язки для адсорбції на поверхні металу, тим самим блокуючи активні ділянки, які піддаються впливу корозійних середовищ, і зменшуючи корозійний вплив.

Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia*) є недослідженою сировиною для отримання можливих інгібіторів корозії. У літературі зустрічаються поодинокі публікації щодо вивчення антикорозійних

властивостей рослин роду Амброзія. Зокрема, авторами [24] передбачається, що інгібування корозії екстрактом Амброзії приморської (*Ambrosia maritima*) відбувається через адсорбцію активних інгредієнтів на поверхні металу. Також було встановлено, що екстракт Амброзії приморської (*Ambrosia maritima*) більш ефективний у присутності іонів хлору, ніж за їхньої відсутності. Було виявлено, що інгібування посилюється зі збільшенням концентрації екстракту, але зменшується з підвищенням температури. Екстракт Амброзії приморської у присутності чи відсутності хлорид-іонів, впливав як на анодне розчинення алюмінію, так і на утворення газоподібного водню на катоді, поводячись як інгібітор змішаного типу [25].

Таким чином, можна передбачати, що інгібування корозійних процесів обраними для дослідження рослинними екстрактами реалізується за рахунок схожих механізмів. На жаль, в експерименті з розчином натрій хлориду не отримано позитивних результатів, що потребує подальшого поглибленого вивчення.

Однак серйозна проблема для отримання повної картини можливого механізму дії інгібіторів на основі екстрактів з рослинної сировини полягає в розумінні індивідуальної та синергічної ролі окремих компонентів витяжок. Складність хімічного складу екстрактів створює проблему для визначення конкретного внеску кожного компонента в загальний інгібуючий ефект на основі експериментальних випробувань і аналізів.

## ВИСНОВКИ

У роботі об'єктом досліджень були антикорозійні властивості екстрактів з рослинної сировини, що призначені для захисту металів. За результатами виконання експерименту можна зробити такі висновки:

1. Виявлено позитивний вплив всіх досліджуваних екстрактів з рослинної сировини на зразки сталі щодо кислотної корозії.

2. Ступінь інгібіторного захисту у сірчанокиислому середовищі для сталі Ст1пс коливався в межах 90...93%. Найбільший ефект мали екстракти з суміші амброзії та кульбаби (2:1). Ступінь інгібіторного захисту для середньолегованої сталі 30ХГСА був встановлений в інтервалі – 5...92%. Найбільший ефект мали екстракти суміші амброзії та кульбаби (2:1) – 92% та соняшника – 66%.

3. Встановлено, що досліджувані екстракти з рослинної сировини у розчині натрій хлориду такого позитивного впливу як у сірчанокиислому середовищі не проявили. Екстракти з соняшнику та амброзії для сталі Ст1пс виявили низький ступінь захисту в межах 18...27%. А такі потенційні інгібітори, як амброзія та кульбаба не проявили захисної дії і, навпаки, виступили в ролі активаторів.

4. Для середньолегованої сталі 30ХГСА результати впливу досліджуваних рослинних екстрактів корозії у розчині натрій хлориду виявились негативними. Екстракти з соняшнику та суміші з амброзією продемонстрували від'ємний ступінь захисту. Потенційні інгібітори не проявили захисної дії і виступили в ролі каталізаторів корозії.

5. Виявлено важливість ретельної обробки поверхні металевих зразків. У сірчанокиислому середовищі на металевих зразках активний процес роз'їдання металу відбувався саме на торцях та отворі, які не мали дзеркально обробленої поверхні.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3830-98 «Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять».
2. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування [Електронний ресурс] : підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв – Електронні текстові дані (1 файл: 8,81 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 318 с.
3. Вплив внутрішніх і зовнішніх факторів на швидкість корозії. [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://studfile.net/preview/8342301/page:5/>
4. Економічне значення корозії [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://snpk.in.ua/ekonomichne-znachennya-koroziyi/>
5. Корозія металів і методи боротьби з нею [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://studfile.net/preview/5643877/page:8/>
6. Воробйова В. І. Інгібітори корозії металів комплексної дії на основі природних органічних сполук: дис. ... д-ра техніч. наук: 05.17.14. / В. І. Воробйова - Київ, 2023. - 472 с.
7. Дорошенко Т.Ф. Перспективність створення ефективних інгібіторів корозії на основі рослинної сировини. / Т.Ф. Дорошенко, Ю.Г. Скрипник, О.О. Горбань // Фізикоорганічна хімія, фармакологія та фармацевтична технологія біологічно активних речовин: збірник наукових праць. Київ: КНУТД, 2021. Вип. 3. С. 45-57.
8. Ali Zakeri. Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review. / A. Zakeri, E. Bahmani, A. Sabour Rouh Aghdam // *Corrosion Communications*. March 2022. – Vol. 5, P. 25-38.

9. Сиза О. І. Механізм дії інгібіторів корозії на основі рослинної сировини. / О. І. Сиза, Ю. В. Квашук, О. М. Савченко // *Вісник Чернігівського технологічного університету. Механохімія*. 2013. – № 3. - С. 62-68.

10. M.A. Deyab. Enhancement of corrosion resistance of the cooling systems in desalination plants by green inhibitor: A Review. / M.A. Deyab, E. Guiba // *Scientific Reports*. 2020. – P. 133-149.

11. J. Wang. Sunflower-head extract as a sustainable and eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid and sulfuric acid solutions. / J. Wang, M. Tabish, X. Ma // *Journal of Molecular Liquids*. 2022. – Vol. 367, Part B. – P. 251-256.

12. Murungi P. I. Ideal corrosion inhibitors: a review of plant extracts as corrosion inhibitors for metal surfaces. / P. I. Murungi, A. A. Sulaimon // *Corrosion Reviews*. 2022. - Vol. 40. - № 2. - P. 127-136.

13. Повзло В. М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Корозія та захист металів» для студентів спеціальності 136 «Металургія» усіх форм навчання. / В. М. Повзло - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. - 34 с.

14. Пушкарьова Є.Р. Дослідження протикорозійних властивостей рослинних екстрактів / Є.Р. Пушкарьова – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. – 52 с.

15. Miralrio A. Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Media: A Review. / A. Miralrio, V. A. Espinoza // *Processes*. 2020. - № 8(8). - P. 942-969.

16. Hulai O., Shemet V., Zhilko V., Klymovych O. Inhibitor efficacy and composition of oak bar extract // *Proc. Shevchenko Sci. Soc. Chem. Sci.* – 2020. – Vol. LX. – P. 107-117.

17. Mitrović M., Apostolov S., Fuchs-Godec R., Salkunić B., Vastag G., Tomić M. Dandelion (*Taraxacum officinale*) Root Extract as a Green Corrosion Inhibitor of Steel in 3% NaCl // *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*. – 2024. № 68(4). – P. 609–619.

18. Wazzan N., Obot I.B., Lgaz H., Safi Z., Al-Qurashi O. Multiscale computational modeling of phytochemicals for iron corrosion inhibition: Bridging DFT, SCC-DFTB, and molecular dynamics for eco-friendly solutions // *Journal of Molecular Liquids*. – 2024. – Volume 406. – P. 125070.
19. Žbulj K., Hrnčević L., Bilić G., Simon K. Dandelion-Root Extract as Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in CO<sub>2</sub>-Saturated Brine Solution // *Energies*. – 2022. Vol. 15, no. 9. – P. 3074.
20. Deyab M. A., Guibal E. Enhancement of corrosion resistance of the cooling systems in desalination plants by green inhibitor // *Scientific Reports*. – 2020. – № 10. – P. 4812.
21. Brunner G. Anwendungsmöglichkeiten der Gasextraktion im Bereich der Fette und Öle // *Fette, Seifen, Anstrichmittel*. – 1986, № 88 (12). – P. 464–474.
22. Jingbao Wang, Xuemei Ma, Mohammad Tabish, Jingyu Wang, Sunflower-head extract as a sustainable and eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid and sulfuric acid solutions // *Journal of Molecular Liquids*. – 2022. – Volume 367, Part B. – P. 120429.
23. Xuemei Ma, Jingbao Wang, Jingjing Xu, Jing Jing, Jun Li, Hailin Zhu, Siyuan Yu, Zhiyong Hu Sunflower Head Pectin with Different Molecular Weights as Promising Green Corrosion Inhibitors of Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution // *ACS Omega*. – 2019. – Vol 4/Issue 25. – P. 21148 – 21160.
24. Elabbasy H., Zidan S., Fouda abd el-aziz. Inhibitive behavior of *Ambrosia Maritima* extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in 1M HCl // *Zastita materijala*. – 2019. - № 60. – P. 129-146.
25. Abdel-Gaber A.M., Khamis E., Abo-ElDahab H., Adeel Sh. Inhibition of aluminium corrosion in alkaline solutions using natural compound. *Materials // Chemistry and Physics*. – 2008. – Volume 109, Issues 2–3. – P. 297-305.

## ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

### **ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2024** **Факультет будівництва, архітектури та дизайну**

Збірник тез доповідей щорічної  
науково-практичної конференції серед студентів,  
викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів  
15–19 квітня 2024 року

Електронне видання на DVD-ROM

Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2024

УДК 621.3+004+519.6  
Т39

*Рекомендовано до видання Вченою радою  
Національного університету «Запорізька політехніка»  
(Протокол № 10 від 04.06.2024 р.)*

**Упорядник:** Сергій ЖУРАВЕЛЬ

**Редакційна колегія:**

*Вадим ШАЛОМЄЄВ*, д-р техн. наук, професор, (відпов. ред.)  
*Олексій КУЗЬКІН*, д-р техн. наук, професор;  
*Василь ГЛУШКО*, канд. техн. наук, доцент;  
*Олександр КЛИМОВ*, канд. техн. наук, доцент;  
*Микола АНТОНОВ*, канд. техн. наук;  
*Віра САВЧЕНКО*, канд. техн. наук, доцент;  
*Наталія ФУРМАНОВА*, канд. техн. наук, доцент;  
*Микола КАСЬЯН*, канд. техн. наук, доцент;  
*Владислав КОРОЛЬКОВ*, канд. екон. наук, професор;  
*Микола ДЄДКОВ*, канд. іст. наук, доцент;  
*Олена ВАСИЛЬЄВА*, д-р екон. наук, професор;  
*Ірина ПУЩИНА*, канд. пед. наук, доцент;  
*Юрій ФЛЕЙ*, канд. юр. наук, професор;  
*Таїсія ГАЙВОРОНСЬКА*, канд. філос. наук, доцент;  
*Михайло БРИКОВ*, д-р техн. наук, професор;  
*Наталія ВИСОЦЬКА*, начальник патентно-інформаційного відділу;  
*Наталія САВЧУК*, начальник редакційно-видавничого відділу;  
*Сніжана ВИГУЖАНІНА*, керівник відділу наукової роботи студентів;  
*Юлія ЧУШКІНА*, провідний фахівець відділу наукової роботи студентів

Т39

**Тиждень науки-2024. Факультет будівництва, архітектури та дизайну.** Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 15–19 квітня 2024 р. [Електронний ресурс] / Редкол. : Вадим ШАЛОМЄЄВ (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 157 с. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.

ISBN 978-617-529-455-0

Зібрані тези доповідей, заслуханих на щорічній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. Збірка відображає широкий спектр тематики наукових досліджень, що проводяться на факультеті будівництва, архітектури та дизайну Національного університету «Запорізька політехніка». Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців

УДК 621.3+004+519.6

ISBN 978-617-529-455-0

© Національний університет  
«Запорізька політехніка»  
(НУ «Запорізька політехніка»), 2024

### СЕКЦІЯ «АРХІТЕКТУРА»

<i>Павленко Т.О., Руденко Л.С.</i> Виявлення особливостей сучасного досвіду інклюзивної гармонізації внутрішнього простору громадських будівель .....	113
---	-----

### СЕКЦІЯ «КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ХІМІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

<i>Мітяєв О.А., Панченко М.М.</i> особливості застосування полімерних композиційних матеріалів.....	115
<i>Кирилаха С.В.</i> Методи адитивних технологій у машинобудуванні.....	117
<i>Акімов І.В., Лебедєв Р.В., Мітяєва З.А.</i> Вплив термічного оброблення на корозійну стійкість сталей.....	119
<i>Петруша Ю.Ю., Сохрякова І.М.</i> «Зелені» інгібітори корозії металів .....	121
<i>Повзло В.М., Самарська Л.В.</i> Деревно-полімерні композитні матеріали .....	123
<i>Плескач В.М., Дем'яненко В.В.</i> Взаємозамінність у виробництві і при ремонті.....	125
<i>Петрашов О.С., Петрашова О.В., Фісай Ю.О.</i> Вплив залізовмісної фази на міцність зварних швів з вторинного сплаву АК7ч .....	127
<i>Воскобойнік О.Ю., Мандич О.О.</i> Антикорозійне покриття для сталей на основі епоксидних смол наповнених антиоксидантами гетероциклічної природи .....	128
<i>Широкобокова Н.В., Нікітюк І.В.</i> Сучасне 3D моделювання .....	130
<i>Савченко В.О., Підковинська У.В.</i> Підвищення експлуатаційних властивостей полімерної композиційної арматури .....	131

### СЕКЦІЯ «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»

<i>Курков О.Б., Кобзар Н.І.</i> Особливості планування та координації дій у разі терористичної загрози .....	134
<i>Якімцов Ю.В., Вологжаніна Я.Ю.</i> Шляхи відновлення родючості ґрунту у післявоєнний період.....	136
<i>Якімцов Ю.В., Гітуляр Л.А.</i> Ресурсозбереження та раціональне управління відходами будівництва .....	138
<i>Коробко О.В., Троян Ю.І., Яценко А.К.</i> Проблеми забезпечення психологічної безпеки студентів.....	140

УДК 620.197.3:547

Петруша Ю.Ю.<sup>1</sup>, Сохрякова І.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. біол. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. БАДз-213м НУ «Запорізька політехніка»

### «ЗЕЛЕНІ» ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ МЕТАЛІВ

Через процеси корозії втрачається багато корисних властивостей металів, зокрема ковкість, пластичність та електрохімічна провідність. Для запобігання корозії існують різні методи, один з них – це додавання інгібіторів. Існує багато наукових публікацій про те, що синтезовані органічні або неорганічні сполуки є високотоксичними та шкідливими для навколишнього середовища й здоров'я людини. Враховуючи ці небажані ефекти дослідники зосереджують свою увагу на розробці дешевих, нетоксичних, біорозкладних та екологічно чистих натуральних продуктів рослинного походження як інгібіторів корозії.

Рослинні екстракти є вельми цікавою альтернативою синтетичним інгібіторам корозії, оскільки вони є економічним, відновлюваним і безпечним ресурсом для довкілля та здоров'я. На сьогодні є величезна кількість закордонних та вітчизняних наукових праць, присвячених пошуку і дослідженню «зелених» інгібіторів корозії. Наприклад, натуральний гель, отриманий з листя алое віра, виявився ефективним у пригніченні корозії сталі. Такі продукти, як екстракти банана, кави і чорного перцю було протестовано в кислому середовищі як інгібітори корозії сталі. У водному екстракті падуку парагвайського описано велику кількість сполук, які можуть діяти як органічні інгібітори корозії алюмінію, міді та сталі SAE 1010, занурених у розчин натрій хлориду. Водні екстракти орегано мають антиоксидантну активність *in vitro*, і також можуть використовуватися як інгібітори корозійних процесів низьковуглецевої сталі. Екстракти рослинної сировини можна додавати як добавки до антикорозійних фарб для створення на поверхні захисної плівки, яка знижує швидкість корозії сталі.

Використання рослинних екстрактів як інгібіторів для запобігання або зменшення корозії металів і сплавів стає все більш поширеним останнім часом у всьому світі. Зокрема, було вивчено інгібуючі властивості листя хни, плодів перцю довгого, екстракту стебла бакопи Монье, листя мезембріантемуму (вузлоцвітного) як екологічно чистих інгібіторів корозії алюмінію в лужному середовищі. При цьому екстракт плодів перцю довгого виявився більш ефективним. Встановлено, що ефективність інгібування зростає зі збільшенням концентрації екстракту.

У науковій літературі описано дослідження антикорозійних властивостей екстрактів багатьох рослин або відходів промисловості рослинного походження: артемізії блідої, листя османтуса запашного, виноградних вичавок, лаванди зубчастої, листя аргемони мексиканської, мангрового таніну, мирту звичайного,

квітів календули, опунції індійської, рисового та кавового лушпиння, листя оливи, перської лакриші, мескітового дерева, нетреби звичайної, гінкго білоба, ашоки, кульбаби лікарської, манжетки звичайної, часнику городнього, асафетиди (ароматична смола з коренів ферули смердючої), плодів кавуна, шкірки моркви, листя скунквіну.

Хорватські вчені перевірили антикорозійну ефективність екстрактів 10 місцевих дикорослих рослин. Для дослідження було обрано: насіння, плоди та шкірку гранату; листя меліси лікарської; виноградні вичавки; корінь кульбаби; листя і квіти пасифлори; корінь лопуха; корінь солодки; листя і квіти глоду; цибуля; листя манжетки звичайної. Рослинні екстракти були вивчені як потенційні інгібітори корозії вуглецевої сталі у модельному розсолі, насиченому CO<sub>2</sub>. Дослідження показало значне зниження процесу корозії при застосуваннях екстракту кореня кульбаби та екстракту манжетки звичайної.

Є інформація про вивчення антикорозійних властивостей екстрактів як поширених рослин, так і достатньо рідкісних, зокрема лаврового листя, фініка істівного, насіння льону звичайного, базилику, касії вузьколистої, лантани склепінчастої, тіноспори серцелистої, пеннісетуму пурпурового, філлантуса гіркого, акаліфи дубровниколистної, гороху посівного, м'яти круглолистої, квіток борщівника, земноводної рослини погостемону чотирилистою, мальви звичайної, ромашки золотистої, китайського гіркого гарбуза, європейської віялової пальми, мексиканського соняшника, індійської хризантеми тощо. Гарбузове насіння є хорошим природним інгібітором корозії алюмінієвих сплавів. Чудові властивості інгібування корозії м'якої сталі у фосфорній кислоті продемонстрували три продукти рослинного походження: ясен звичайний, імбир гіркий та вайда фарбувальна.

Багато дослідників активно працювали з кількома різними рослинними екстрактами у модельних середовищах хлоридної та сульфатної кислоти. Протягом останніх кількох років екстракти з листя солодки голої, лушпиння насіння соняшнику, шкірки гороху посівного, листя гінкго білоба, кори какао, листя аквіларії, шкірки лонгану, насіння грифонії простолистої, коріння тирличу, листя клена гостролистого, трави перистошетишника пурпурного, листя філлантуса гіркого і подорожника овального були оцінені щодо їх потенціалу інгібування корозії в соляних розчинах різної концентрації.

Таким чином, пошук та створення «зелених» інгібіторів корозії металів та сплавів є перспективним напрямком сучасної науки. Більшу увагу в цьому питанні слід приділяти ідентифікації компоненту (хімічної сполуки), який є активним в екстракті рослинної сировини. Доречно зазначити, що за наявності в суміші декількох компонентів іноді може відбуватися підвищення ступеня інгібування корозійних процесів, тобто синергетичний ефект.

## ДОДАТОК Б

ISSN: 2306-9716 (Print)  
ISSN: 2664-6110 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

---

# ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

---

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

**4(55)**

---



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

УДК 502+504

*Друкується за рішенням Вченої Ради  
Державної екологічної академії післядипломної освіти  
та управління (№ 4-24 від 10.10.2024)*

**Екологічні науки** : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :  
Видавничий дім «Гельветика», 2024. – № 4(55). – 256 с.

**Головний редактор:** Бондар О.І., доктор біологічних наук

**Заступник головного редактора:** Нагорнева Н.А.

**Науковий редактор:** Машков О.А., доктор технічних наук

**Відповідальний редактор:** Сікачина В.Г.

**Редакційна колегія:**

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук

Конішук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нещветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення No 1408 від 25.04.2024 року. Ідентифікатор медіа R30-04036.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі біологічних наук (091 – Біологія), природничих наук (101 – Екологія, 103 – Науки про Землю) та технічних наук (183 – Технології захисту навколишнього середовища).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

Мови розповсюдження: українська, англійська, польська, німецька, французька, іспанська.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International  
(Республіка Польща)*

© Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2024

<b>ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ</b> .....	120
Лемега Н.М. Перспективи розвитку агрофотовольтаїки у Львівській області.....	120
Соколов А.В., Улицький О.А., Д'яченко Н.О. Впровадження технології декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин для підвищення рівня екологічної безпеки.....	124
<b>ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ</b> .....	130
Ричак Н.Л., Кізілова Н.М., Внукова Н.В. Залишкова здатність до природної саморегуляції урболандшафтних басейнових геосистем в умовах мегаполісу.....	130
Волошина Н.О., Бондар К.О., Мартюхін А.В., Волошин О.Г. Аналіз передумов впровадження біологічних переходів для диких тварин.....	140
Причепа М.В., Коваленко Ю.О. Видовий склад та структура іхтіофауни річки Горенка (басейн р. Ірпінь).....	146
Суслова О.П. <i>Tilia cordata</i> Mill. в паркових насадженнях промислових міст степової зони України.....	151
<b>УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ</b> .....	157
Козуля Т.В., Сакун А.О. Розробка системологічної моделі об'єкта «зберігання рідинних відходів – довкілля» з контролю рівня безпеки.....	157
Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г., Ігнатюк Р.М. Оцінка впливу гірничо-видобувної галузі на довкілля: система управління відходами.....	164
Василенко О.М., Овдіюк О.М., Сапронов Р.С. Управління утилізацією промисловими відходами на підприємстві виготовлення хімічних волокон.....	169
Горбачова О.С., Павлюх Л.І., Якименко Г.М. Модель ефективного управління відходами на прикладі супермаркетів.....	174
Ілляш О.Е., Серга Т.М., Бредун В.І., Чепурко Ю.В., Максюта Н.С. Порівняльний аналіз методологічних підходів до проведення сортувальних аналізів побутових відходів в Україні та Австрії.....	181
Сорочинська О.Л. Особливості національної стратегії управління відходами в Україні.....	187
Сталінська І.В., Хандогіна О.В. Реагентне очищення фільтрату полігонів твердих побутових відходів як фактор комплексного управління відходами.....	193
<b>ПИТАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ</b> .....	197
Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Бондарчук В.М., Войналович І.М. Оцінка прогресу досягнення цілі сталого розвитку № 6 в Україні.....	197
Герасимчук О.Л., Мельник-Шамрай В.В., Шевчук Л.М., Васильєва Л.А. Інноваційні підходи до розвитку землеустрою в контексті сталого розвитку територій.....	202
<b>ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ</b> .....	207
Петруша Ю.Ю., Пушкарьова Є.Р., Сохрякова І.М. Дослідження антикорозійних властивостей водних вилучень з рослинної сировини.....	207
Федоряк М.М., Черлінка Л.В., Черлінка В.Р., Москалик Г.Г., Легета У.В., Жук А.В., Ситнікова І.О., Москалик І.М., Куришук А.Д. Розробка елементів адаптивного моніторингу екосистемних послуг на модельних засадах.....	211
Харитонов М.М., Бабенко М.Г., Клімкіна І.І., Мартинова Н.В. Післядія внесення осаду стічних вод на родючість технозему та якість біосировини міскантусу і тополі.....	225
Хом'як І.В., Овдіюк О.М. Контрольоване самовідновлення рослинності як альтернатива лісової рекультивациі.....	229
Khomiak I.V., Onyshchuk I.P., Vasylenko O.M. Theoretical basis of classification of terraforming methods.....	234
Шевченко Р.Ю. Український національний етноекологічний простір у мистецьких творах художньої геоіконіки та екографії.....	238
<b>ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА</b> .....	243
Шляніна А.В., Дунаєвська О.Ф. Використання хімічних дисциплін як інтеграційного матеріалу для формування екологічної компетентності.....	243
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</b> .....	250

## ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ

УДК 615.322:620.193

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.34>

### ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДНИХ ВИЛУЧЕНЬ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Петруша Ю.Ю., Пушкарьова Є.Р., Сохрякова І.М.

<sup>1</sup>Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Жуковського, 64, 69063, м. Запоріжжя

yulia.znu@ukr.net, lizavishnevskaia15@gmail.com, irchvanova04@gmail.com

Вивчено антикорозійні властивості водних вилучень з лікарської рослинної сировини (дуб, вільха, калган, чорниця – виробник ПрАТ «Ліктраву», м. Житомир), що містить дубильні речовини, у стандартних корозійно активних середовищах (10%-вий розчин сульфатної кислоти, 3%-вий розчин натрій хлориду). Дослідження проведено на зразках конструкційної вуглецевої сталі, яка є найбільш розповсюдженим матеріалом у різних галузях промисловості, будівництві та широко використовується для виготовлення побутових товарів. За результатами проведеного експерименту виявлено певний інгібувальний ефект окремих рослинних екстрактів та їх сумішей у співвідношенні 1:1. Встановлено, що ступінь інгібувального захисту деяких вилучень знаходилася в межах 20,74–97,93%. Такий вплив мали чисті водні витяжки з кори дубу, суцільдя вільхи, кореневища калгану та пагонів чорниці. А також аналогічний вплив здійснювала суміш витяжок з кори дубу та суцільдя вільхи, і суміш витяжок з кори дубу та пагонів чорниці у співвідношенні 1:1. У розчині натрій хлориду (3%-вий розчин) найкращі результати продемонструвала суміш дуб+чорниця: коефіцієнт гальмування швидкості корозії цієї суміші становив 48,19, а ступінь інгібувального захисту – 97,93%. У сульфатнокислому середовищі (10%-вий розчин) найбільший інгібувальний вплив виявили чисті витяжки з кори дубу та суцільдя вільхи, та їх суміш, відповідно. Коефіцієнт гальмування швидкості корозії суміші дуб+вільха становив 5,27, а ступінь інгібувального захисту – 81,05%.

Отримані результати показали, що досліджувані інгібітори рослинного походження мають гарний антикорозійний ефект у певних середовищах, тому їх подальше поглиблене вивчення представляється досить перспективним та актуальним, і сприятиме зменшенню антропогенного навантаження на екосистеми. *Ключові слова:* корозія металів, антикорозійний ефект, водні вилучення, інгібітори рослинного походження.

**Study of anti-corrosion properties of aqueous extracts of plant raw materials.** Petrusha Yu., Pushkarova Ye., Sokhriakova I.

The anti-corrosion properties of aqueous extracts from medicinal plant raw materials (oak, alder, galangal, bilberry – manufacturer of Private joint-stock company «Liktravy», Zhytomyr) which contain tannins was studied in standard corrosive media (10% solution of sulfuric acid, 3% solution of sodium chloride). The research was conducted on samples of structural carbon steel, which is the most used material in various industries, construction and is widely used for the manufacture of household goods. A certain inhibitory effect of certain plant extracts and their mixtures in a ratio of 1:1 was revealed by the results of the conducted experiment. It was established that the degree of inhibitory protection was within the range of 20,74–97,93%. Pure water extractions from oak bark, alder seeds, galangal root and bilberry shoots had such an effect. A mixture of extract from oak bark and alder fruit, and a mixture of extract from oak bark and bilberry shoots in a 1:1 ratio also had a similar effect. In the sodium chloride solution (3% solution), the best results were demonstrated by the mixture of oak and bilberry: the coefficient of inhibition of the corrosion rate of this mixture was 48,19, and the degree of inhibitory protection was 97,93%. In a sulfuric acid environment (10% solution), the greatest inhibitory effect was shown by pure extracts from oak bark and alder fruit, and the mixture, respectively. The coefficient of inhibition of the corrosion rate of the oak + alder mixture was 5,27, and the degree of inhibitory protection was 81,05%. The obtained results showed that the studied inhibitors of plant origin have a good anti-corrosion effect in certain environments, so their further in-depth study is quite promising and relevant. This will contribute to reducing the anthropogenic load on ecosystems. *Key words:* corrosion of metals, anti-corrosion effect, water extracts, inhibitors of plant origin.

**Постановка проблеми.** Корозія металів та сплавів на їх основі є однією з найпоширеніших причин передчасного виходу з ладу інженерних комунікацій, промислового обладнання, будівельних конструкцій та транспортної техніки. Надзвичайно актуальною проблемою корозії та протикорозійного захисту металоконструкцій залишається і для промисловості України. Це має виняткове значення у таких стратегічних галузях промисловості, як ядерна і теплова енергетика, магістральні нафто-, газо-, аміакопроводи, хімічна та нафтопереробна промисловість, залізничний транспорт, комунальне господарство тощо [1].

Аварійний вихід з ладу обладнання, зумовлений корозійними процесами, дуже часто спричиняє серйозні екологічні наслідки для навколишнього середовища. Зокрема, витік природного газу чи інших небезпечних речовин через отвори, що утворились у результаті корозії, може призвести до пожежі або вибухів зі значними матеріальними втратами, шкодою для довкілля, і, навіть, до людських жертв. Відновлення пошкоджень вимагає значних капіталовкладень, а щорічні втрати металофонду сягають до 15%.

**Актуальність дослідження.** Всесвітня організація з питань корозії (The World Corrosion Organization)

звичай присвячує свою щорічну доповідь до Всесвітнього дня знань про корозію (24 квітня), і акцентує увагу, що шляхи вирішення цієї проблеми пов'язані, передусім, з належним застосуванням наявних технологій боротьби з корозією та залученням досвідчених фахівців [1]. Одним з раціональних та ефективних рішень проблеми є застосування спеціально підібраних сполук – інгібіторів корозії. Пошук та дослідження екологічно безпечних сполук, так званих «зелених» інгібіторів корозії є на даний час актуальним напрямком у галузі захисту металів. За останні два десятиліття ведуться активні дослідження з пошуку та отримання так званих «зелених» інгібіторів: більш дешевих, легко доступних, які знижують ризик негативного впливу на навколишнє середовище. Джерелами таких речовин можуть бути нетоксичні та поновлювані рослинні відходи. Створення інгібіторів на основі природних сполук є важливим рішенням не тільки в галузі захисту металів, але й для питання утилізації багатотонажних відходів сільського господарства.

Перспективність використання рослинної сировини аргументована тим, що в Україні щорічно переробляються тисячі тонн рослинних культур, а отже, утворюється велика кількість відходів, перевагою яких є не тільки безпечність, а й щорічна поновлюваність та низька вартість.

Відходи рослинної промисловості є джерелом суміші органічних сполук різних класів, як легких так і високомолекулярних, що при цілеспрямованому доборі системи розчинників для їх вилучення, можуть забезпечити поліфункціональність протикорозійного захисту металів та сплавів у різних корозійних середовищах.

Отже, пошук та дослідження «зелених» інгібіторів корозії металів і сплавів є вкрай необхідними та актуальними.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження, проведені авторами, надасть цінну інформацію для розуміння можливості створення нових, екологічно безпечних інгібіторів корозії металів на основі рослинної сировини та сприятиме практичному вирішенню питання накопичення рослинних відходів сільського господарства. Крім того, отримані результати є важливими для запровадження ресурсозберігаючих технологій і залучення вторинних природних ресурсів для виготовлення нової продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом у всьому світі для запобігання або зменшення корозії металів і сплавів як інгібітори все частіше використовують рослинні екстракти та інші витяжки. У сучасній науковій літературі описано дослідження антикорозійних властивостей екстрактів і вилучень з багатьох рослин або відходів промисловості рослинного походження: артемізії білої, листя османтуса запашного, лаванди зубчастої,

листя аргемони мексиканської, мангрового таніну, мирту звичайного, квітів календули, опунції індійської, рисового та кавового лушпиння, листя оливи, перської лакриці, мескітового дерева, нетреби звичайної, гінкго білоба, ашоки, кульбаби лікарської, часнику городнього, асафетиди (ароматична смола з коренів ферули смердючої), плодів кавуна, шкірки моркви, листя скунквіну, листя хни, плодів перцю довгого, екстракту стебла бакопи Монье, листя мезембріантему вузлоцвітнього тощо.

Хорватські науковці вивчили антикорозійний ефект екстрактів 10 місцевих дикорослих рослин: насіння, плодів та шкірки гранату; листя меліси лікарської; виноградинних вичавків; кореню кульбаби; листя і квітів пасифлори; кореню лопуха; кореню солодки; листя і квітів глоду; цибулі; листя манжетки звичайної. Дослідження показало значне зниження процесу корозії при застосуваннях екстракту кореня кульбаби та екстракту манжетки звичайної.

Розглянуто також антикорозійні властивості екстрактів лаврового листя, фініка істівного, насіння льону звичайного, базиліку, касії вузьколистий, лантани склепінчастої, тіноспори серцелистої, пеннісетуму пурпурового, філантусу гіркого, акаліфи дубровниколистий, гороху посівного, м'яти круглолистий, квіток борщівника, земноводної рослини погостемону чотирилистий, мальви звичайної, ромашки золотий, китайського гіркого гарбуза, європейської вялової пальми, мексиканського соняшника, індійської хризантеми, гарбузового насіння, ясеню звичайного, імбиру гіркого, вайди фарбувальної. За декілька останніх років з'явилися публікації щодо оцінювання потенціалу інгібування корозії екстрактів з лушпиння насіння соняшника, кори какао, листя аквіларії, шкірки лонгану, насіння грифонії простолистий, коріння тирличу, листя клена гостролистий, трави перистоцетинника пурпурного і подорожника овального [2, 3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Протягом останніх років цей напрямок досліджень активно розвивається у всьому світі, в тому числі і в Україні. Зокрема, вітчизняними науковими школами отримано композиції з антикорозійними властивостями на основі кори дубу та модифікованої гірчиної олії [1]. Проте більшість робіт українських вчених присвячена саме штучно створеним інгібіторам корозії, «зелені» інгібітори вивчені значно менше. Тому метою нашої роботи було вивчення ефективності інгібувального ефекту розчинів на основі кори дубу, сушпідда вільхи, кореневища калгану, пагонів чорниці та їх сумішей у сульфатно-кислому середовищі та розчині натрій хлориду.

Новизна. Проаналізовано антикорозійну ефективність поширених лікарських рослин, що містять дубильні речовини (дуб, вільха, калган, чорниця) у стандартних корозійно активних середовищах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати дослідження сприятимуть доповненню

вже існуючих відомостей про антикорозійні властивості екстрактів з рослинної сировини та перспективи створення на їх основі «зелених» інгібіторів. А також будуть дуже корисними при підготовці фахівців у галузі охорони навколишнього середовища та здобувачів вищої освіти технічних спеціальностей.

**Матеріали та методи дослідження.** Для дослідження було використано 4 зразки лікарської рослинної сировини: «Кора дубу», «Супліддя вільхи», «Кореневища калгану» та «Пагони чорниці» виробництва ПрАТ «Ліктрави», м. Житомир. Цей вибір сировини обумовлений тим, що є значна кількість наукових публікацій, присвячених пошуку інгібіторів на основі екстрактів дубової кори та стружки, які містять дубильні речовини (таніни) [1, 4].

Для аналізу було обрано зразки з конструкційної вуглецевої сталі (Ст3), яка є найбільш розповсюдженим матеріалом у промисловому і цивільному будівництві, всіх галузях машинобудування, використовується для виготовлення трубопроводів, обладнання інженерних мереж, обладнання у виробництві цукру, кондитерських виробів, спирту і лікєро-горілчанних виробів, а також для виробництва товарів широкого вжитку.

З подрібненої рослинної сировини готували водні вилучення, які відфільтровували і використовували у подальших дослідженнях. Отримані витяжки 4-х видів рослинної сировини змішували у пропорції 1:1 (витяжка кори дубу + витяжка однієї з інших рослин). Також окремо досліджували дію розчинів з кори дубу, супліддя вільхи, кореневища калгану та пагонів чорниці (без змішування).

Експеримент здійснювали в корозійноагресивному середовищі – 10%-му розчині сульфатної кислоти, а також у класичному модельному корозійноактивному середовищі – 3%-му розчині натрій хлориду. Розчин рослинного інгібітору вводили безпосередньо у корозійноактивне середовище. Паралельно проводили контрольний експеримент: визначали стійкість металу до корозії без присутності інгібітору в корозійноактивних розчинах ( $H_2SO_4$ , NaCl).

Швидкість процесу корозії сталевих зразків оцінювали гравіметричним методом за стандартними показниками [5].

Викладення основного матеріалу. За результатами дослідження було виявлено певний інгібувальний ефект деяких рослинних екстрактів у сульфатнокислому середовищі та в розчині NaCl. Ступінь інгібіторного захисту знаходилася в межах 20,74–97,93%. Такий ефект мали чисті водні витяжки з кори дубу (зразок 2), супліддя вільхи (зразок 3), кореневища калгану (зразок 4) та пагонів чорниці (зразок 5). А також аналогічний вплив здійснювала суміш витяжок з кори дубу та супліддя вільхи (зразки 6, 14), і суміш витяжок кори дубу та пагонів чорниці (зразок 16) у співвідношенні 1:1 (рис. 1).

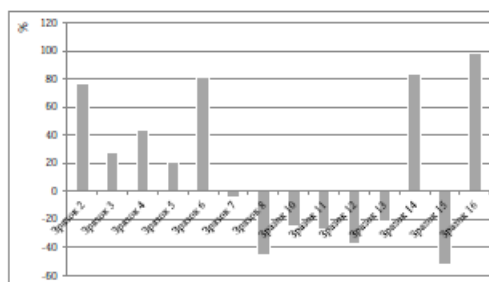


Рис. 1. Ступінь інгібіторного захисту (зразки 2–8 – у розчині  $H_2SO_4$ , зразки 10–16 – у розчині NaCl)

Коефіцієнт швидкості гальмування корозії суміші дуб+чорниці в розчині натрій хлориду становив 48,19 (рис. 2), а ступінь інгібіторного захисту – 97,93%.

У сульфатнокислому середовищі найбільший інгібіторний вплив виявили чисті витяжки з кори дубу та супліддя вільхи, та їх суміш, відповідно. Коефіцієнт гальмування швидкості корозії суміші дуб+вільха становить 5,27, а ступінь інгібіторного захисту – 81,05%. Інші запропоновані інгібітори при аналізі показників не проявили захисної дії.

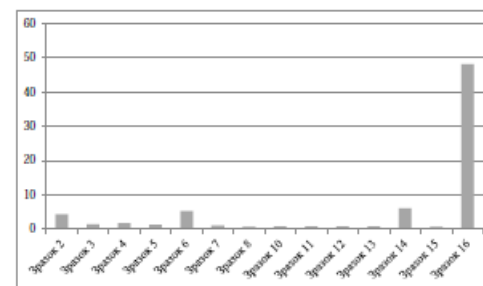


Рис. 2. Коефіцієнт гальмування швидкості корозії (зразки 2–8 – у розчині  $H_2SO_4$ , зразки 10–16 – у розчині NaCl)

У наукових публікаціях за останні роки наголошується, що застосування водних екстрактів є кращим порівняно з екстрактами, що виготовлені на основі органічних розчинників, оскільки саме водні екстракти містять відносно полярні органічні речовини, що забезпечують міцне зв'язування з металевими поверхнями, ніж у неполярних речовин екстрактів [6].

Науковцями доведено, що у корозійноактивних середовищах процес інгібування рослинними екстрактами є більш складним, з поетапною хімічною трансформацією компонентного складу екстракту в розчині (або на поверхні металу), що є сучасним

та новітнім «поглядом» на механізм інгібувальної дії саме рослинних екстрактів [6].

Зазначається, що інгібувальна ефективність рослинного екстракту суттєво залежить від типу корозійного середовища, в якому буде функціонувати інгібітор, і тому необхідним є розуміння щодо екстракції певних класів сполук, які є потенційно протикорозійно ефективними у даному середовищі та здатні до формування бар'єрних плівок, або формування нерозчинних комплексних сполук із катіонами феруму. Наприклад, у нейтральних водних та водно-сольових розчинах, 3%-му розчині NaCl високу антикорозійну ефективність для сталі демонструють як екстракти, що містять значну кількість поліфенольних сполук та здатні до фізичної або хімічної адсорбції на поверхні металу, утворення комплексних сполук з катіонами  $Fe^{2+}$  та формування захисної плівки, так і ті екстракти, що містять терпенові сполуки, олії та формують адсорбційну плівку, що блокує доступ кисню до поверхні металу.

Встановлено, що введення інгібітору корозії безпосередньо у корозійноактивне середовище чинить кращий ефект післядії, а витримування зразків металу у розчині інгібітору зумовлює утворення захисних плівок на поверхні, які надійніше захищають метал на початковому етапі впливу агресивного середовища [4].

Основною діючою речовиною в екстракті кори дубу є суміш природних поліфенольних сполук (танінів) з молекулярною масою від 500 до 3000. Інгібувальний ефект дубильних речовин посилюється, ймовірно, також за рахунок присутності в розчині силіконових сполук, які поліпшують адгезію до поверхні металу. Речовини формують на поверхні металу адсорбційні шари, фазові танатні сполуки, що й обумовлює їхні інгібіторні властивості [4].

Відомо, що захисна дія інгібіторів на основі екстрактів дубової кори полягає у формуванні на поверхні сталі хемосорбційної плівки, яка забезпечує

гальмування електродних реакцій. Поверхня металевих зразків набуває синьо-чорного забарвлення, характерного для танатів заліза, а утворена захисна плівка міцно зчеплена з поверхнею металу. Молекули танінів заповнюють мікротріщини та інші дефекти поверхні, що підвищує корозійну стійкість металу [4].

Враховуючи все вищевказане, можна зробити висновок, що механізм дії інших рослинних екстрактів, які також містять суміш танінів й були використані нами в дослідженні, схожий на механізм дії екстракту кори дубу.

**Головні висновки.** Найкращий інгібувальний ефект у розчині натрій хлориду показала суміш витяжок з кори дубу і пагонів чорниці у співвідношенні 1:1, а в сульфатнокислом середовищі – суміш витяжок з кори дубу та сушпіддя вільхи. Отримані результати показують, що інгібітори рослинного походження мають гарний антикорозійний ефект в певних середовищах, тому подальше вивчення та дослідження «зелених» інгібіторів є досить перспективним та необхідним. Застосування інгібіторів корозії рослинного походження дозволить зменшити обсяги відходів сільського господарства й економічні витрати, та знизити негативний вплив на навколишнє середовище, що сприятиме підвищенню екологічної безпеки довкілля.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати вказують на перспективність подальших досліджень зазначених рослинних екстрактів та розширення спектру експерименту. Зокрема, цікавим напрямком буде вивчення антикорозійних властивостей спиртових витяжок з рослинної сировини, що містить дубильні речовини. А також збільшення часу експозиції у агресивнокорозійних середовищах, варіювання способів приготування екстрактів, попереднє витримування зразків у розчинах з рослинної сировини, вивчення протикорозійних ефектів за інших значень рН (в лужному середовищі).

#### Література

1. Хома М.С. Стан і перспективи розвитку досліджень у галузі корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів в Україні. *Вісник НАН України*. 2021. № 12. С. 99–106.
2. Петруша Ю.Ю., Сохрякова І.М. «Зелені» інгібітори корозії металів. *Тиждень науки-2024: Збірник тез доповідей щорічної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів* (Запоріжжя, 15–19 квітня 2024 р.). Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. С. 121–122.
3. Петруша Ю., Пушкарьова Є. Актуальність створення інгібіторів корозії металів на основі рослинних екстрактів. *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*. тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 16–17 листопада 2023 р.). Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2023. С. 260.
4. Гулай О., Шемет В., Жилко В., Клімович О. Інгібіторна ефективність і склад екстракту кори дуба. *Праці НТШ. Хім. науки*. 2020. Т. LX. С. 107–117.
5. Повзло В.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Корозія та захист металів» для студентів спеціальності 136 «Металургія» усіх форм навчання. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 34 с.
6. Воробйова В.І. Інгібітори корозії металів комплексної дії на основі природних органічних сполук: дис. ... док. техн. наук: 05.17.14. Київ, 2023. 472 с.