



УДК 620.197.3:544.362

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.14>

ВПЛИВ ВОДНИХ ВИЛУЧЕНЬ ІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА АНТИКОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ МЕТАЛІВ У КИСЛОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Ю. Ю. Петруша¹, І. М. Сохрякова², В. М. Повзло³

Робота присвячена дослідженню антикорозійної стійкості металів у кислому середовищі за додавання водних вилучень із рослин, які широко розповсюджені в Запорізькому регіоні: кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale*), соняшнику звичайного (*Helianthus annuus*) і амброзії полинолистої (*Ambrosia artemisiifolia*). Вплив водних витяжок вивчали на зразках прямокутної форми сталі Ст1пс (вуглецева конструкційна) та 30ХГСА (конструкційна легована), які широко застосовується для виготовлення металоконструкцій і деталей у різних галузях промисловості. Дослідження проводили в корозійноагресивному середовищі – 10%-ому розчині сульфатної кислоти. Швидкість процесу корозії сталевих зразків у кислому середовищі оцінювали гравіметричним методом за стандартними показниками. Отримані результати показали позитивний вплив всіх водних вилучень із рослинної сировини на сталь Ст1пс, а також позитивний вплив витяжки із соняшнику, суміші витяжок амброзії та інших двох рослин на сталь 30ХГСА в сульфатнокислому середовищі. З'ясовано вплив обробки поверхні зразків на інтенсивність процесу корозії. Торці й отвори сталевих пластин, які не були оброблені на шліфувально-карусельному верстаті та відполіровані за допомогою полірувальної бабки, виявили меншу корозійну стійкість, ніж оброблені ділянки. Вірогідно, одним із можливих механізмів дії досліджуваних водних рослинних вилучень є зниження швидкості корозії шляхом адсорбції, тобто формування захисного бар'єра на поверхні металу. На основі виконаних досліджень можна рекомендувати витяжки з кульбаби лікарської, соняшнику звичайного й амброзії полинолистої як перспективні субстанції для підвищення антикорозійної стійкості металів і створення нових «зелених» інгібіторів кислотної корозії.

Ключові слова: корозія металів, «зелені інгібітори», кислотна корозія, антикорозійна стійкість.

¹ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій
(Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)
e-mail: Yulia.ZNU@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3041-2877

² завідувач навчальної лабораторії хімічних методів дослідження
(Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)
e-mail: irchvanova04@gmail.com
ORCID: 0009-0009-2736-0296

³ старший викладач кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій
(Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)
e-mail: pan431@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3458-9821

INFLUENCE OF WATER EXTRACTIONS FROM PLANT RAW MATERIALS ON THE CORROSION RESISTANCE OF METALS IN ACIDIC ENVIRONMENTS

Yu. Yu. Petrusha, I. M. Sokhriakova, V. M. Povzlo

*The work is devoted to the study of the corrosion resistance of metals in an acidic environment with the addition of aqueous extracts from plants that are widely distributed in the Zaporizhia region: dandelion (*Taraxacum officinale*), sunflower (*Helianthus annuus*) and ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). The effect of water extracts was studied on rectangular samples of steel St1ps (carbon structural) and 30KhGSA (structural alloy), which are widely used for the manufacture of metal structures and parts in various industries. The research was conducted in a corrosive-aggressive environment – a 10% solution of sulfuric acid. The rate of corrosion of steel samples in an acidic environment was estimated by the gravimetric method using standard indicators. The results obtained showed a positive effect of all aqueous extracts from plant raw materials on St1ps steel. Also, a positive effect of sunflower extract, a mixture of ragweed extracts and other two plants on 30KhGSA steel in a sulfuric acid environment was revealed. The influence of surface treatment of samples on the intensity of the corrosion process was determined. The ends and holes of the steel plates showed lower corrosion resistance than the areas that were processed on a grinding and carousel machine and polished using a polishing head. Probably, one of the possible mechanisms of action of the studied aqueous plant extracts is the reduction of the corrosion rate by adsorption, i.e. the formation of a protective barrier on the metal surface. Based on the conducted studies, it is possible to recommend extracts from dandelion, sunflower and ragweed as promising substances for increasing the corrosion resistance of metals and creating new “green” inhibitors of acid corrosion.*

Key words: metal corrosion, “green inhibitors”, acid corrosion, corrosion resistance.

Вступ

Проблема захисту металів і сплавів від корозії турбує дослідників усього світу, оскільки з розвитком промислового потенціалу країн темпи зростання корозійних втрат уже перевищують темпи зростання металічного фонду. Проблема корозії має глобальний характер, тому що стосується експлуатаційно-технічної надійності та довговічності будь-якого обладнання, що містить металеві вузли, а також економічно раціонального використання матеріальних ресурсів.

Одним із методів боротьби з корозією є застосування інгібіторів корозії – речовин, які за додавання до корозійного середовища можуть уповільнити швидкість руйнування металів. Нині, з погляду екологічності та відповідно до Цілей сталого розвитку ООН від 2015 р. (п. 12), усе більший інтерес для наукової спільноти становлять «зелені» інгібітори корозії.

Застосування продуктів рослинного походження як антикорозійних засобів починається із 30-х рр. XX ст., коли *Chelidonium majus* та деякі інші рослини почали використовувати у травленні металів сульфатною кислотою. У науковій літературі 1960-х рр. повідомляється про використання дубильних речовин і їхніх похідних для захисту сталі, чавуну та деяких інших сплавів від корозії (Kumari & Lavanya,

2022). Надалі інтерес до використання природних речовин як інгібіторів корозії значно збільшився, оскільки застосування екстрактів рослин виявило багато конструктивних аспектів. «Зелені» інгібітори є легкодоступними, економічними, екологічно безпечними та відновлюваними.

Важливість «зелених» інгібіторів корозії також значно зростає з підвищенням екологічної обізнаності суспільства та появою правових обмежень, які регламентують використання синтетичних органічних інгібіторів корозії та неорганічних інгібіторів, які є токсичними для людини й навколишнього середовища (Alhaidar et al., 2024).

До «зелених» органічних інгібіторів належать рослини (екстракти, олії), амінокислоти, лікарські засоби, природні полімери. Що стосується неорганічних інгібіторів, то більшість із них є токсичними і не можуть уважатися «зеленими». Однак є й винятки. Наприклад, неорганічні сполуки з рідкоземельними елементами (солі лантаноїдів) виявляють низьку токсичність і хорошу здатність до біологічного розкладання, отже, належать до групи «зелених» неорганічних інгібіторів (Alhaidar et al., 2024).

Рослинні екстракти містять велику кількість складників, зокрема поліфеноли, флавоноїди, дубильні речовини, алкалоїди, полісахариди тощо. Натепер накопичено чималий науковий матеріал, переважно

закордонний, щодо вивчення протикорозійних властивостей водних і органічних витяжок із різноманітних трав або відходів рослинної сировини (Хома, 2021; Петруша та ін., 2023).

Відповідно, метою нашої роботи було дослідження антикорозійної стійкості металів у кислому середовищі за додавання водних вилучень із рослин, які широко розповсюджені в Запорізькому регіоні.

Матеріал і методи

Для аналізу протикорозійних властивостей було відібрано кульбабу лікарську (*Taraxacum officinale*), соняшник звичайний (*Helianthus annuus*), а також небезпечну карантинну рослину – амброзію полинолисту (*Ambrosia artemisiifolia*). Використовували коріння кульбаби, стебло, листя та голівку соняшнику, стебло та листя амброзії.

Для експерименту було підготовлено прямокутні зразки зі сталі Ст1пс та 30ХГСА, хімічний склад яких наведено в таблиці 1.

Сталь марки Ст1пс – конструкційна вуглецева сталь, яка використовується для виробництва прокату різного призначення, труб, рейок, заклепок, болтів тощо. Сталь марки 30ХГСА – конструкційна легвана сталь, широко застосовується для виготовлення металоконструкцій і деталей у машинобудуванні, авіабудуванні, нафтодобуванні, газовидобуванні, металургії, оборонній промисловості та комунальному господарстві.

Зразки сталей попередньо були піддані обробці на шліфувально-карусельному верстаті МСЗ та відшліфовані за допомогою полірувальної бавки до набуття поверхнею дзеркального блиску.

Наважки подрібненої рослинної сировини заливали дистильованою водою температурою 100 °С, витримували за температури 18–20 °С протягом доби. Далі витяжки проціджували для подальшого застосування. Під час дослідження отримані рослинні вилучення з'єднували у співвідношенні 1 : 1 (кульбаба – амброзія та соняшник – амброзія) та 2 : 1 (амброзія – кульбаба), а також

окремо досліджували їхню дію в активному корозійному середовищі – 10%-му розчині сульфатної кислоти.

Зразки витримували в корозійному середовищі 72 години. Вилучення з рослинних продуктів добавляли прямо в корозійне середовище. Паралельно проводили контрольні дослідження (без додавання рослинних інгібіторів).

Швидкість процесу корозії сталевих зразків у кислому середовищі оцінювали гравіметричним методом за стандартними показниками (Повзло, 2020). Для цього перед початком аналізу зразки сталі зважували на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г, визначали розміри зразків і розраховували площу поверхні, беручи до уваги площу отвору.

Результати

Уже на початку експерименту в контрольних розчинах візуально спостерігався корозійний процес – з'являлися бульбашки газу (водню), а сталеві пластини майже відразу набули чорного кольору. Значно менше цей процес спостерігався в розчинах із додаванням рослинних витяжок.

Після 3-х діб витримування колір експериментальних розчинів (з рослинною витяжкою) змінився та став більш насиченим. У контрольних розчинах досі активно продовжувався процес корозії (виділялись бульбашки водню).

Після завершення експерименту поверхня сталевих зразків набула матового кольору, стала шорсткою. Торці пластин і отвір також стали шорсткі й піддались розіданню.

Розрахунки вагового (K_m) та глибинного показників (Π) швидкості корозії, коефіцієнта гальмування швидкості корозії (γ) та ступеня інгібіторного захисту (Z) для сталі Ст1пс наведено в таблиці 2, а для сталі 30ХГСА – у таблиці 3.

Ступінь інгібіторного захисту для сталі Ст1пс перебував у межах 90–93%, а для сталі 30ХГСА мав значні коливання – 5–92%. Найкращу ефективність мала суміш амброзії та кульбаби (2 : 1).

Таблиця 1

Хімічний склад зразків сталі Ст1пс та 30ХГСА

Вміст елемента, %	Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P
Сталь Ст1пс	99,5	0,06–0,12	0,05–0,15	0,25–0,50	до 0,30	–	до 0,05	до 0,04
Сталь 30ХГСА	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

Таблиця 2

Розрахунки показників антикорозійної стійкості сталі Ст1пс

Розчин Показник	H₂SO₄	Амброзія	Кульбаба	Соняшник	Амброзія та кульбаба (1 : 1)	Амброзія та кульбаба (2 : 1)	Амброзія та соняшник (1 : 1)
K _m	6,91	0,61	0,64	0,59	0,56	0,46	0,72
γ		11,34	10,86	11,69	12,40	15,12	9,56
Z, %		91	91	91	92	93	90
П, (мм/рік)	7,71	0,68	0,71	0,66	0,62	0,51	0,81

Таблиця 3

Розрахунки показників антикорозійної стійкості сталі 30ХГСА

Розчин Показник	H₂SO₄	Амброзія	Кульбаба	Соняшник	Амброзія та кульбаба (1 : 1)	Амброзія та кульбаба (2 : 1)	Амброзія та соняшник (1 : 1)
K _m	38,22	27,69	36,48	13,15	10,45	2,89	12,92
γ		1,38	1,05	2,91	3,66	13,20	2,96
Z, %		28	5	66	73	92	66
П, (мм/рік)	42,65	30,90	40,70	14,68	11,66	3,23	14,42

Глибинний показник швидкості корозії контрольних зразків сталі Ст1пс становив 7,71 мм/рік. За 10-бальною шкалою стійкості (Маховський, 2018) ця величина відповідає 9 балам («малостійкі»). Завдяки внесенню досліджуваних витяжок глибинний показник зменшується до 7 балів, що диференціює цей зразок сталі до групи «занижено стійкі».

Глибинний показник швидкості корозії контрольних зразків сталі 30ХГСА становив 42,65 мм/рік. За десятибальною шкалою стійкості це відповідає 10 балам («нестійкі»). У результаті внесення досліджуваних водних вилучень цей параметр зменшується до 8 балів, що диференціює цей зразок сталі до групи «малостійкі».

Коефіцієнт гальмування швидкості корозії для сталі Ст1пс був у діапазоні 9,56–15,12, а для сталі 30ХГСА – в інтервалі 1,05–13,20.

Обговорення

Вибір рослинної сировини для дослідження був зумовлений декількома причинами. Зокрема, коріння кульбаби лікарської містить каучук (до 3%), який, імовірно, може формувати захисний шар на поверхні зразків металів. Соняшник звичайний є основною олійною культурою Запорізького регіону, рештки якої в чималих кількостях залишаються на полях. Амброзія полинолиста – це агресивна карантинна рослина, що негативно впливає як на людське здоров'я, так і на аграрний сектор. У межах нашого дослідження зроблено спробу використати її з конструктивною метою, спрямованою на поліпшення екологічної ситуації в регіоні.

Проведене нами експериментальне дослідження продемонструвало позитивний вплив усіх водних витяжок із рослинної сировини на сталь Ст1пс, а також позитивний вплив витяжки із соняшнику, суміші витяжок амброзії та інших двох рослин на сталь 30ХГСА у сульфатнокислому середовищі.

Також з'ясовано вплив обробки поверхні зразків на інтенсивність процесу корозії. Торці й отвори сталевих пластин, які не були оброблені на шліфувально-карусельному верстаті та відполіровані до блиску, виявили меншу корозійну стійкість, ніж оброблені ділянки.

Основними компонентами досліджуваних рослинних екстрактів, згідно з даними наукової літератури, є поліфеноли, флавоноїди, диглюкозиди, стероїди, каротини, протеїни, заміщені нафтохінони, амінокислоти, терпенові сполуки, інулін та інші.

Властивості цих речовин, які мають у складі атоми нітрогену, кисню, сульфуру та фосфору, а також подвійні зв'язки й ароматичні системи, визначають їхню здатність до адсорбції на металевих поверхнях (Гулай та ін., 2020). Механізм впливу водних екстрактів рослинного походження, застосованих у нашій роботі, можна обґрунтувати на основі вже відомих наукових даних.

Водні й органічні витяжки з кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale*) протягом тривалого часу привертають увагу дослідників завдяки їхньому значному біологічному впливу, у якому можна виділити антибактеріальну, фунгіцидну й антиоксидантну дію (Mitrović et al., 2024). Доведено, що кореневий екстракт цієї рослини виступає змішаним інгібітором корозійних процесів, впливає переважно на анодну реакцію. Механізм його дії, імовірно, полягає в утворенні адсорбційного шару на анодних ділянках, що сприяє зменшенню швидкості корозії та захисту металевих поверхонь від руйнування. Оскільки молекули інуліну містять гідроксильні групи, вони можуть формувати міцні комплекси з металами, що, імовірно, пояснює адсорбційну здатність цього екстракту (Mitrović et al., 2024).

Витяжка кореня кульбаби (*Taraxacum officinale*) містить багатий набір біологічно активних сполук, серед яких тараксастерин, фруктоза, сахароза, тетрагідроридентин В, органічні (винна, лимонна) та фенолкарбонові кислоти. Ці компоненти надають екстракту антикорозійні властивості завдяки значній антиоксидантній дії та здатності утворювати хелатні комплекси з металами, що сприяє формуванню ефективного захисного шару та зменшує корозію (Wazzan et al., 2024). Органічні складники кульбабового екстракту мають значно вищі дипольні моменти порівняно з водою, що забезпечує легке витіснення водних молекул з поверхні металу. Автори вважають, що інгібувальний процес тісно пов'язаний зі здатністю молекул інгібітора до сорбції, це реалізується завдяки трьом ключовим механізмам, як-от:

– хімічний механізм: відбуваються донорно-акцепторні взаємодії між гетероатомами, що мають вільні електронні пари, та п-електронами кратних зв'язків, а також взаємодія з вакантними d-орбіталями атомів заліза;

– фізична адсорбція: виникає завдяки електростатичному притяганням між зарядженою металевою поверхнею та зарядженими частинками інгібітора;

– передача електронної густини: додатковий негативний заряд переміщується з d-орбіталі атомів заліза на вільну p*-орбіталь молекул інгібітора, що сприяє стабільному зв'язуванню (Deyab & Guibal, 2020). Також екстракт характеризується високою біодеградаційністю (96%) та низьким рівнем токсичності (2,38), що свідчить про його екологічну безпечність (Žbulj et al., 2024).

Соняшник (*Helianthus annuus* L.), що належить до родини айстрових, є важливою олійною культурою, проте після збору врожаю його головки часто розглядаються як відходи. Водночас вони містять цінні органічні сполуки з високою концентрацією полярних груп, що робить їх перспективним матеріалом для розширення діапазону антикорозійного захисту металів. Дослідження (Ma et al., 2019) свідчать, що пектин, виділений із залишків соняшникових головок, здатний пригнічувати кислотну корозію через механізм фізичної адсорбції. Процес захисту сталі від кислотної корозії за допомогою пектину із соняшникової головки, на думку авторів (Ma et al., 2019), відбувається таким чином. Загальновідомо, що хлорид-іон має синергічний ефект із корозійними інгібіторами, посилюючи їхню дію. У кислому середовищі молекули пектину проходять процес протонування, набуваючи позитивного заряду, що знижує їхню здатність до адсорбції на позитивно зарядженій сталевій поверхні. Однак хлорид-іони, присутні в розчині HCl, легко адсорбуються на металевій поверхні завдяки електростатичним силам, змінюючи її заряд на негативний. За підвищеної кислотності карбоксильні групи ($-\text{COOH}$) у складі пектину перетворюються на $-\text{COOH}^{2+}$. Ці частинки можуть формувати вандерваальсові зв'язки із хлорид-іоном через електростатичну взаємодію. У результаті адсорбовані молекули пектину утворюють щільний захисний шар, що перешкоджає корозії металу. Отже, саме електростатична взаємодія між протонуваними частинками пектину та хлорид-іонами забезпечує ефективний процес фізичної адсорбції на сталевій поверхні. Функціональні групи $\text{CH}_3\text{COO}-$ і $-\text{O}-$ можуть утворювати координаційні зв'язки з атомами заліза, витіснити агресивні частинки з поверхні сталі та блокувати зони активної корозії.

Було встановлено, що інгібувальна ефективність екстракту соняшнику підвищується зі збільшенням його концентрації та зменшенням температури (Wang et al., 2022).

Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia*) ще не отримала належної уваги як потенційне джерело інгібіторів корозії. Існує лише обмежена кількість наукових робіт, що досліджують антикорозійні властивості представників роду Амброзія. Одне з досліджень припускає (Elabbasy et al., 2019), що екстракт амброзії приморської (*Ambrosia maritima*) проявляє здатність пригнічувати корозію через адсорбцію активних компонентів на поверхні металу. Було також визначено, що цей екстракт поводить як інгібітор змішаного типу, впливає як на анодні, так і на катодні реакції корозійного процесу (Abdel-Gaber et al., 2008).

Отже, можна припустити, що механізми інгібування корозії рослинними екстрактами, вибраними для дослідження, мають схожі принципи дії. Взаємодія компонентів рослинних витяжок із поверхнею металу може відбуватися за реакційними центрами, де сконцентрована найбільша електронна густина: по оксигену, нітрогену, сульфурі тощо. Утворюються комплексні сполуки хелатного типу з координаційними зв'язками з атомами заліза, які створюють умови для захисту металевої поверхні від корозії. Під час адсорбції на атомах заліза й інших перехідних металів із неповними d-підрівнями органічні інгібітори відіграють роль донорів електронів, тоді як метали – роль акцепторів. Що вища електронна густина в адсорбційно активній частині молекули інгібітора, то міцніший адсорбційний зв'язок «метал – інгібітор» і то вищий ступінь захисту (Syza et al., 2016).

Проте ключовою проблемою для повного розуміння механізму впливу таких природних інгібіторів залишається аналіз внеску кожного окремого компонента та їхньої взаємодії в загальному процесі. Багатокомпонентність водних і органічних вилучень суттєво ускладнює визначення специфічної ролі кожної речовини в корозійно-захисному ефекті. Проведення подальших експериментальних досліджень і аналізів є необхідним для розкриття індивідуального та синергічного впливу компонентів інгібітора.

Висновки

Проведені дослідження показали, що рослини, вибрані для вивчення, можуть слугувати джерелом створення екологічно чистих інгібіторів і підвищувати антикорозійну стійкість металів у кислому середовищі.

Пропонується використовувати залишки сільськогосподарських відходів (стебло,

листя та головка соняшнику звичайного), лікарської сировини (кульбаба лікарська) та залишки карантинної рослини (амброзія полинолиста) після скошування або виривання для подальших досліджень і розроблення ефективних «зелених» інгібіторів корозії. Водночас це дозволить зменшити обсяги сільськогосподарських відходів і знизити ризик захворювання населення на амброзійний поліноз.

Отримані результати демонструють перспективність подальших досліджень зазначених рослинних водних вилучень і можливість розширення спектра експерименту з метою протидії кислотній корозії. Зокрема, цікавим напрямом є дослідження антикорозійної стійкості металевих зразків за їх попередньої обробки «зеленим» інгібітором із подальшим зануренням у корозійно активне середовище.

Список використаної літератури

Гулай О., Шемет В., Жилко В., Клімович О. Інгібіторна ефективність і склад екстракту кори дуба. *Праці наукового товариства імені Шевченка. Хімічні науки*. 2020. Т. 60. С. 107–117. <http://dx.doi.org/10.37827/ntsh.chem.2020.60.107>.

Маховський В. Конспект лекцій з дисципліни «Захист обладнання від корозії» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія». Кам'янське : ДДТУ, 2018. 44 с.

Петруша Ю., Пушкарьова Є., Сохрякова І. Дослідження антикорозійних властивостей водних вилучень з рослинної сировини. *Екологічні науки*. 2024. № 4 (55). С. 207–210. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.34>.

Повзло В. 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.

Хома М. Стан і перспективи розвитку досліджень у галузі корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів в Україні. *Вісник Національної академії наук України*. 2021. № 12. С. 99–106. <https://doi.org/10.15407/vism2021.12.099>.

Abdel-Gaber A.M., Khamis E., Abo-El-Dahab H., Adeel Sh. Inhibition of aluminium corrosion in alkaline solutions using natural compound. *Materials Chemistry and Physics*. 2008. Vol. 109. Is. 2–3. P. 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.11.038>.

Alhaidar B., Reeshah F., Jammoal Y. Natural Sources Extract as Acidic Corrosion Inhibitors. In book: *Corrosion Engineering – Recent Breakthroughs and Innovative Solutions*. Rijeka : Intech Open, 2024. 19 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1005150>.

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. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61810-9>.

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. <http://dx.doi.org/10.5937/zasmat1902129E>.

Kumari P., Lavanya M. Plant extracts as corrosion inhibitors for aluminum alloy in NaCl environment : Recent review. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 2022. Vol. 67. № 2. P. 5490–5495. <http://dx.doi.org/10.5937/zasmat1902129E>.

Ma X., Wang J., Xu J., Jing J., Li J., Zhu H., Yu S., Hu Z. Sunflower head pectin with different molecular weights as promising green corrosion inhibitors of carbon steel in hydrochloric acid solution. *ACS Omega*. 2019. Vol. 4. Is. 25. P. 21148–21160. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02570>.

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. <https://doi.org/10.3311/PPch.37211>.

Syza O.I., Savchenko O.M., Kvashuk Yu.V., Shtyl' N.A., Chelyabieva V.M. New inhibitors based on vegetable raw materials and the regularities of their adsorption on the steel surface. *Materials Science*. 2016. Vol. 51. № 5. P. 627–637. <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9884-6>.

Wang J., Ma X., Tabish M., Wang J. 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. Vol. 367. Part B. P. 120429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120429>.

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. Vol. 406. P. 125070. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.125070>.

Žbulj K., Hrnčević L., Bilić G., Simon K. Dandelion-Root Extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in CO₂-saturated brine solution. *Energies*. 2022. Vol. 15. № 9. P. 3074. <https://doi.org/10.3390/en15093074>.

References

Ghulaj, O., Shemet, V., Zhylko, V., & Klimovych, O. (2020). Inhibitor efficacy and composition of oak bark extract. *Praci naukovogho tovarystva im. Shevchenka. Khimichni nauky [Proc. Shevchenko Sci. Soc. Chem. Sci.]*, 60, 107–117. <http://dx.doi.org/10.37827/ntsh.chem.2020.60.107> [in Ukrainian].

Makhovskyi, V. (2018). Konspekt lekcij z dyscypliny “Zakhyst obladnannja vid koroziji” dlja zdobuvachiv vyshhoji osvity pershogho (bakalavrsjkogho) rivnja zi specialnosti 161 “Khimichni tekhnologiji ta inzhenerija” [Lecture notes on the discipline “Protection of equipment from corrosion” for first-year (bachelor’s) higher education students in specialty 161 “Chemical technologies and engineering”]. Kamianske : DDTU [in Ukrainian].

Petrusha, Ju., Pushkarjova, Je., & Sokhrjakova, I. (2024). Doslidzhennja antykorozijnykh vlastyvostryj vodnykh vyluchenj z roslynnoji syrovyny [Research of the anti-corrosion properties of aqueous extracts from plant raw materials]. *Ekologichni nauky [Environmental Sciences]*, 4 (55), 207–210. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.34> [in Ukrainian].

Povzlo, V. (2020). Metodychni vkazivky do vykonannja laboratornykh robot z dyscypliny “Korozija ta zakhyst metaliv” dlja studentiv specialnosti 136 “Metalurghija” usikh form navchannja [Methodological instructions for performing laboratory work in the discipline “Corrosion and protection of metals” for students of specialty 136 “Metallurgy” of all forms of study]. Zaporizhzhja : NU “Zaporizjka politekhnika” [in Ukrainian].

Khoma, M. (2021). Stan i perspektyvy rozvytku doslidzhenj u ghaluzi koroziji ta protykorozijnogho zakhystu konstrukcijnykh materialiv v Ukrajinі [Status and prospects for the development of research in the field of corrosion and anti-corrosion protection of structural materials in Ukraine]. *Visnyk NAN Ukrajinjy [Bulletin of the NAS of Ukraine]*, 12, 99–106. <https://doi.org/10.15407/vsn2021.12.099> [in Ukrainian].

Abdel-Gaber, A.M., Khamis, E., Abo-El-Dahab, H., & Adeel, Sh. (2008). Inhibition of aluminium corrosion in alkaline solutions using natural compound. *Materials Chemistry and Physics*, 109 (2–3), 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.11.038> [in English].

Alhaidar, B., Reeshah, F., & Jammoal, Y. (2024). Natural Sources Extract as Acidic Corrosion Inhibitors. In book: *Corrosion Engineering – Recent Breakthroughs and Innovative Solutions*. Rijeka: Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1005150> [in English].

Deyab, M.A., & Guibal, E. (2020). Enhancement of corrosion resistance of the cooling systems in desalination plants by green inhibitor. *Scientific Reports*, 10, 4812. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61810-9> [in English].

Elabbasy, H., Zidan, S., & Fouda, Abd El-Aziz (2019). Inhibitive behavior of Ambrosia Maritima extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in 1M HCl. *Zastita materijala*, 60, 129–146. <http://dx.doi.org/10.5937/zasmat1902129E> [in English].

Kumari, P., & Lavanya, M. (2022). Plant extracts as corrosion inhibitors for aluminum alloy in NaCl environment – Recent review. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 67 (2), 5490–5495. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072022000205490> [in English].

Ma, X., Wang, J., Xu, J., Jing, J., Li, J., Zhu, H., Yu, S., & Hu, Z. (2019). Sunflower head pectin with different molecular weights as promising green corrosion inhibitors of carbon steel in hydrochloric acid solution. *ACS Omega*, 4 (25), 21148–21160. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02570> [in English].

Mitrović, M., Apostolov, S., Fuchs-Godec, R., Salkunić, B., Vastag, G., & Tomić, M. (2024). Dandelion (*Taraxacum officinale*) Root extract as a green corrosion inhibitor of steel in 3% NaCl. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 68 (4), 609–619. <https://doi.org/10.3311/PPch.37211> [in English].

Syza, O.I., Savchenko, O.M., Kvashuk, Yu.V., Shtyl', N.A., & Chelyabieva, V.M. (2016). New inhibitors based on vegetable raw materials and the regularities of their adsorption on the steel surface. *Materials Science*, 51 (5), 627–637. <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9884-6> [in English].

Wang, J., Ma, X., Tabish, M., & Wang, J. (2022). 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*, 367 (Part B), 120429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120429> [in English].

Wazzan, N., Obot, I.B., Lgaz, H., Safi, Z., & Al-Qurashi, O. (2024). Multiscale computational modeling of phytochemicals for iron corrosion inhibition: Bridging DFT, SCC-DFTB, and molecular dynamics for eco-friendly solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 406, 125070. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.125070> [in English].

Žbulj, K., Hrnčević, L., Bilić, G., & Simon, K. (2022). Dandelion-Root Extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in CO₂-saturated brine solution. *Energies*, 15 (9), 3074. <https://doi.org/10.3390/en15093074> [in English].

Отримано: 25.04.2025

Прийнято: 15.05.2025