

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 620.193:667.6:547.56

DOI DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.2.2/15>**Воробйова В.І.**<https://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Сікорський О.О.<https://orcid.org/0000-0002-3730-2016>

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІРЖІ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ ПОЛІФЕНОЛЬНИХ СПОЛУК

Представлено експериментальне дослідження застосування таніну як активного перетворювального компонента водно-дисперсійних антикорозійних покриттів. Екстракцію таніну здійснювали з подрібненої кори мімози у водно-спиртових системах із ультразвуковою обробкою протягом 40 хв, що забезпечувало різну полярність екстрагенту та впливало на інгібуючі властивості отриманих розчинів. Результати показали, що зменшення полярності розчинника (збільшення вмісту етанолу) корелює зі зростанням коефіцієнта гальмування (17,97–23,49) та ступеня захисту металу (94,44–95,74 %), що свідчить про формування ефективного захисного шару та підвищення антикорозійної активності. IR-ATR спектри підтвердили утворення стабільних Fe-танінових комплексів і захисної плівки на поверхні металу, а XRD-аналіз показав трансформацію кристалічних оксидів заліза у більш стабільні аморфні сполуки. Механізм дії екстрактів мімозового таніну ґрунтується на хелатуванні іонів Fe^{2+}/Fe^{3+} , утворенні стабільних комплексів та полімеризації танінів на поверхні металу, що забезпечує формування бар'єрної плівки та ефективний антикорозійний захист. Оцінка адгезії покриттів методом хреста у камері сольового туману підтвердила високу стійкість покриттів, що містять екстракт таніну, у порівнянні з покриттями без попередньої обробки. Таким чином, мімозовий танін виступає перспективним природним компонентом для перетворювачів іржі та антикорозійних водно-дисперсійних покриттів, здатним підвищувати довговічність металевих конструкцій і забезпечувати стійкий захисний ефект. Екологічна сталість запропонованого підходу була оцінена за допомогою інструменту *ComplexMoGAPI*, що демонструє потенціал використання цього природного компонента в «зелених» технологіях захисту металу.

Ключові слова: водно-дисперсійне покриття, антикорозійний захист, зелена хімія, корозія, поліфенольні сполуки.

Постановка проблеми. Одним із найбільш затребуваних у промисловості, водночас науково недостатньо опрацьованих і актуальних напрямів є створення екологічно безпечних («зелених») інгібіторів корозії та інгібованих матеріалів на їх основі, призначених для захисту технологічного обладнання й виробів металообробної галузі від корозійного руйнування. В умовах повномасштабної війни, у яку Україна була втягнута з 2022 року,

проблема протикорозійного захисту озброєння та військової техніки під час експлуатації, зберігання і транспортування набуває особливого значення як складова забезпечення національної безпеки та обороноздатності держави. Згідно з даними маркетингових досліджень *Global Market Insight*, стабільне зростання попиту на інгібітори корозії та матеріали і покриття на їх основі для хімічної, електротехнічної промисловості, оборонного комп-



лексу та суміжних галузей є одним із ключових чинників розвитку світового й вітчизняного ринку інгібованих полімерних матеріалів. Очікується, що до кінця 2027 року його глобальна ринкова капіталізація сягне приблизно 13,5 млрд доларів США. Актуальність зумовлена зростаючою потребою у створенні ефективних та екологічно безпечних протикорозійних матеріалів на основі відновлюваної рослинної сировини, здатних замінити традиційні токсичні інгібітори корозії [1-2]. Мімозовий танін є перспективною сировиною для антикорозійного захисту завдяки високій реакційній здатності, добрій розчинності у водних середовищах та хімічній стійкості конденсованих танінів. Водночас антикорозійна ефективність танінів істотно залежить від їх компонентного складу, який визначається типом екстрагенту, проте питання цілеспрямованого вибору розчинника для одержання оптимального екстракту мімозового таніну залишається недостатньо вивченим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування інгібіторів корозії як засобів протикорозійного захисту характеризується відносною дешевизною, високою ефективністю та технологічною простотою. Водночас, попри очевидні переваги, цей підхід супроводжується низкою проблем, зумовлених здатністю інгібіторів, які часто проявляють властивості поверхнево-активних речовин або окисників, взаємодіяти з плівкоутворювачами, що може призводити до зниження їх інгібуючої активності. Крім того, введення інгібіторів до складу багатокомпонентних систем, зокрема лакофарбових матеріалів, може спричинити хімічну взаємодію з плівкоутворювальними компонентами або пігментами з утворенням нових сполук, які здатні проявляти як захисні, так і потенційно агресивні властивості [3-4].

У цьому контексті першочерговим науково-практичним завданням є принципова заміна традиційних токсичних інгібіторів на екологічно безпечні альтернативи, отримані з вторинної рослинної сировини. У межах цього напряму автором вже виконано комплекс досліджень, за результатами яких встановлено, що екстракція рослинної сировини розчинниками помірної полярності забезпечує одержання суміші різноманітних органічних сполук, що включає як водорозчинні, так і жиророзчинні компоненти. Такий багатокомпонентний склад обумовлює універсальність їх захисної дії та відкриває можливості для створення нових інгібованих матеріалів [6-7].

Водночас другим важливим напрямом є цілеспрямоване використання «зелених» інгібіторів

для підвищення корозійної стійкості захисних лакофарбових і полімерних матеріалів. Це передбачає детальний аналіз хімічного складу екстрактивних речовин агропромислових рослинних відходів України, встановлення механізмів їх інгібуючої дії, особливостей адсорбційної поведінки та фізико-хімічних процесів взаємодії природних органічних сполук у складі покриттів з металевою поверхнею [8]. Слід зазначити, що модифікування лакофарбових покриттів інгібіторами корозії принципово відрізняється від підвищення їх захисних властивостей шляхом введення антикорозійних пігментів. Використання «зелених» інгібіторів дає змогу варіювати їх концентрацію в широких межах, а також забезпечує можливість взаємодії з плівкоутворювачами, що дозволяє цілеспрямовано регулювати фізико-механічні характеристики плівок і покриттів, зокрема твердість, пластичність та кінетику затвердіння.

Постановка завдання. Визначення впливу природи розчинника на склад екстракту мімозового таніну та оцінка його ефективності як активного компонента перетворювача іржі для воднодисперсійних захисних покриттів.

Виклад основного матеріалу

Методика експериментальних досліджень.

Як активний перетворювальний компонент воднодисперсійних покриттів було обрано мімозовий танін - природні поліфенольні сполуки, що отримуються з кори однойменного дерева. Прискорені та натурні корозійні випробування проводили на зразках листової сталі марки Ст.3 прямокутної форми розміром 50×20×1,5 мм; кожен зразок мав технологічний отвір діаметром 5–6 мм. Екстракцію таніну здійснювали з подрібненої кори мімози з використанням водно-спиртових систем із застосуванням ультразвукової обробки, 40 хвилин.

Оцінку інгібуючої дії здійснювали за вимірюванням втрати маси відповідно до стандарту ASTM G31-72 з використанням зразків із сталі розмірами 5,0 × 3,0 × 0,2 см. Перед кожним експериментом зразки послідовно шліфували та полірували абразивними шкірками (220–1200), ретельно промивали дистильованою водою, знежирювали ацетоном та висушували. Початкову масу кожного зразка фіксували аналітичною вагою, після чого зразки занурювали у 3 % розчин NaCl, як без додавання інгібітора, так і з різними концентраціями екстракту таніну Мімози. Після заданого часу занурення зразки витягували, обережно промивали, висушували та повторно зважували. Втрату маси визначали як різницю між початковою та кінцевою масою. Усі експерименти

проводили в трьох повтореннях, а середнє значення втрати маси використовували для подальших розрахунків.

Розчин, що був використаний як перетворювач іржі містив екстракту таніну Мімози складався з наступних компонентів (мас. %): екстракт таніну Мімози – 68,10 %, щавлева кислота ($C_2H_2O_4$) – 28,34 %, нітрат срібла ($AgNO_3$) – 0,56 %, етидренова кислота-1 ($C_2H_8O_7P_2$) – 3,00 %. Листи холоднокатаного металу ($5 \times 10 \times 0,05$ см) спочатку знежирювали, промивали дистильованою водою і залишали на відкритому повітрі протягом трьох місяців для природного утворення іржі. Після цього поверхню очищали від будь-яких відшарованих частинок іржі. Перетворювач іржі наносили рівномірно за допомогою ручного валика, після чого зразки залишали для висихання при кімнатній температурі протягом 24 годин. Після висихання поверхню покривали водно-дисперсійним покриттям і залишали сушитися ще 24 години в тих же умовах. Компоненти змішували при кімнатній температурі до отримання однорідного розчину, який використовували як робочий перетворювач іржі для обробки металевих зразків.

Оцінка корозійної стійкості та адгезії покриттів. Для оцінки корозійної стійкості антикорозійного покриття використовували нейтральний сольовий туман відповідно до стандарту ASTM B117. Адгезію покриттів до поверхні визначали методом хреста в камері сольового туману (cross-cut method), який є стандартним для прискорених випробувань. Параметри камери сольового туману: Температура: 35 ± 2 °C, Концентрація NaCl у розчині: 5 % мас., рН розчину перед запуском: 6,5–7,2, Осадження туману: 1,0–2,0 мл/80 см²/год.

Металеві зразки спочатку обробляли екстрактом таніну Мімози (нанесення пензлем). Концентрації таніну у розчині для обробки становили 136,2; 120,0; 79,5 та 99,9 г/л, оптимальні значення визначали експериментально. Після нанесення екстракту поверхню залишали для висихання при кімнатній температурі. Потім наносили водно-дисперсійне покриття товщиною 50–100 мкм та сушили 4 години.

Для оцінки адгезії на поверхні наносили хрест (ISO 2409 або ASTM D3359) з розміром квадрата 11×11 і глибиною до основного металу. Шкала оцінки адгезії (ISO 2409): 0 – ідеальна адгезія, відшарування відсутнє; 1 – незначні дефекти (≤ 5 % площі); 2–4 – поступове збільшення площі відшарування.

Отримані експериментальні результати

Оцінка інгібуючих властивостей та перетворюючої здатності екстрактів таніну Мімози. Досліджували розчини екстракту, отримані з використанням водно-спиртових систем із різним співвідношенням (табл. 1), що зумовлює різну полярність екстрагенту. Аналізуючи разом із даними антикорозійної активності, можна спостерігати, що зниження полярності розчинника корелює зі збільшенням коефіцієнта гальмування (від 17,9 до 23,4) та ступеня захисту (від 94,44 % до 95,74 %). Це свідчить про те, що більш неполярні розчинники (з вищим вмістом етанолу) сприяють формуванню більш ефективного захисного шару на поверхні металу та підвищують антикорозійну активність розчинів.

Для оцінки здатності екстрактів до перетворення іржі використовували IR-ATR спектроскопію. Метод дозволяє виявляти як органічні залишки (наприклад, Fe-таніни), так і неорганічні фази (оксиди та гідроксиди заліза) (табл. 3, рис. 1). Спектри показують відмінності у інтенсивності піків у ключових діапазонах, що відображає різний склад і структуру захисних плівок на поверхні металу після обробки екстрактами.

Широкий піковий діапазон 3200–3600 см⁻¹ відповідає ОН-групам, інтенсивність якого залежить від залишкової вологи та гідроксильних груп на поверхні. Піки 1600–1700 см⁻¹ відображають C=O і C=C зв'язки та утворення метал-органічних комплексів (Fe-таніни). Найбільшу інтенсивність у цьому діапазоні показав екстракт із розчинником 20Вода/80EtOH, що свідчить про ефективне зв'язування компонентів екстракту з продуктами корозії. Піки 1400–1600 см⁻¹ відповідають ароматичним групам флавоноїдів, а діапазон 1000–1300 см⁻¹ свідчить про утворення C-O-C ефірних зв'язків під час полімеризації тані-

Таблиця 1

Досліджувані екстракти таніну Мімози, що отримані різними системами розчинників, інгібуюча ефективність екстракту

| Розчинник | Розчин 1 | Розчин 2 | Розчин 3 | Розчин 4 |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Вода | 80 | 70 | 30 | 20 |
| Етанол (EtOH) | 20 | 30 | 70 | 80 |
| Полярність розчинника | 9,2 | 8,7 | 6,7 | 6,2 |
| Коефіцієнт гальмування | 17,970 | 19,122 | 22,096 | 23,488 |
| Ступінь захисту, % | 94,44 | 94,77 | 95,47 | 95,74 |

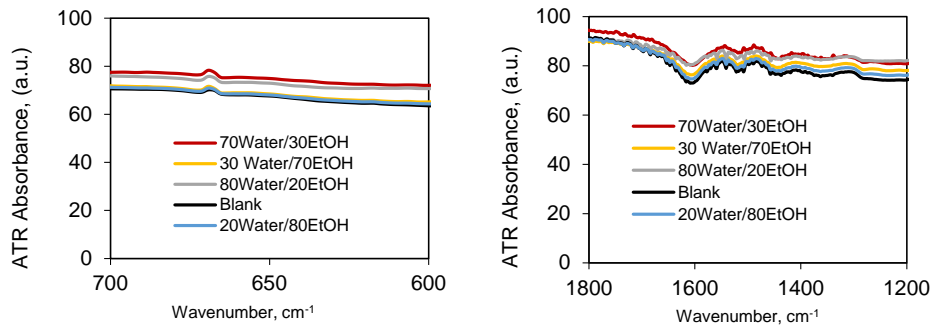


Рис. 1. ATR-спектри (атенюованої повної рефлексії) продуктів іржі оброблених що попередньо була оброблена досліджуваними

нів на металі. Екстракти з високим вмістом етанолу (80 %) забезпечують глибше проникнення у пористу структуру іржі та сприяють формуванню стабільних Fe-танінових комплексів. Натомість системи з високим вмістом води (80Вода/20EtOH) показують найменшу ефективність перетворення продуктів корозії. Це пояснюється залежністю розчинності активних компонентів екстракту від співвідношення вода/етанол: таніни добре розчиняються у воді, а деякі поліфеноли – у водно-етанольних сумішах з переважанням етанолу.

Таблиця 2

Характеристика фаз заліза та довжини їх піків

| Фаза іржі | Довжина хвилі |
|--|---------------|
| γ -FeOOH | 1020 |
| α -FeOOH | 880, 795 |
| Fe ₃ O ₄ | 580 |
| δ - FeOOH | 1110, 465 |
| α -Fe ₂ O ₃ | 535 |

Таким чином, можна зробити висновок, що екстракти таніну Мімози, будучи природними поліфенольними сполуками, здатні взаємодіяти з металами та утворювати стабільні комплекси. Механізм їхньої перетворюючої дії при обробці іржі полягає в наступному. По-перше хелатування іонів заліза. Танінові молекули містять численні гідроксильні (-OH) та фенольні групи, які здатні зв'язуватися з іонами Fe²⁺ та Fe³⁺. Взаємодія з оксидами заліза призводить до утворення стабільних танатів заліза, що зменшує доступність іонів для подальшої корозії та стабілізує поверхню металу [9-10]. Утворені Fe-танінові комплекси створюють тонку стійку плівку на поверхні металу, яка перешкоджає проникненню вологи та кисню, знижуючи швидкість окиснення заліза та забезпечуючи антикорозійний ефект. Взаємодія з металом може спричинити полімеризацію танінів, що призводить до формування додаткових полімерних структур,

які посилюють бар'єрні властивості плівки. Підсумовуючи дані ІЧ-спектроскопії, дія екстрактів таніну Мімози на іржу ґрунтується на хелатуванні іонів заліза, утворенні стабільних комплексів та формуванні захисної плівки, що ефективно запобігає подальшій корозії та продовжує термін служби металевих конструкцій. Екстракти таніну Мімози, що виступають як перетворювач іржі, взаємодіють із кристалічними оксидами заліза, що призводить до утворення аморфного шару. Зменшення інтенсивності XRD-піків кристалічних фаз іржі (гетит, лепідокроцит, магнетит) та поява додаткових смуг танатів заліза в ІЧ-спектрах після обробки підтверджують хімічну реакцію між перетворювачем іржі та оксидами. Після обробки шар іржі трансформується у компактні та гладкі сполуки, при цьому вміст α -FeOOH та γ -FeOOH значно зменшується, що підкреслює ефективність перетворення. Механізм дії екстрактів ґрунтується на їх здатності реагувати з оксидами заліза та перетворювати їх у стабільніші форми, а також на полімеризації танінових сполук на поверхні металу. Гідроксильні (-OH) та фенольні групи танінів зв'язуються з іонами Fe²⁺ та Fe³⁺, утворюючи стабільні комплекси, які формують тонку плівку на поверхні металу. Ця плівка перешкоджає проникненню вологи та кисню, запобігаючи подальшому окисненню заліза, і діє як антикорозійний бар'єр. Полімеризація сполук посилює бар'єрні властивості утвореної плівки, підвищуючи її захисний ефект.

Для оцінки адгезії покриттів до поверхні застосовували метод хреста в камері сольового туману (cross-cut method), що є стандартним способом при прискорених випробуваннях [11]. Метод дозволяє визначити, наскільки ефективно покриття разом із попередньою обробкою перетворювачем захищає метал від корозії у сольовому середовищі. Досліджували наступні зразки: Зразок «0» – пластина, пофарбована двома шарами без обробки пере-

творювачем. Зразок «Н» – пластина, оброблена комерційним перетворювачем та пофарбована двома шарами білої радіаторної емалі Тріора.

Зразок № 3 – пластина, оброблена водно-дисперсійними покриттями за рецептурою що містить екстракт мімози та пофарбовані двома шарами тієї ж емалі. Зразки витримували в камері сольового туману при температурі 35 °С з розчином NaCl 5 % (рН 6,5–7,2), осадження туману

становило 1,0–2,0 мл/80 см²/год. Після випробування зразки промивали дистильованою водою, висували та оглядали поверхню на наявність корозії, підриву покриття та відшарування в зоні хреста. Оцінка адгезії проводилась за шкалою ISO 2409: 0: жодних пошкоджень; 1: незначне відшарування (<5 % площі); 5: сильне відшарування (>65 % площі). Після 72 годин експозиції корозійні процеси стають більш вираженими.

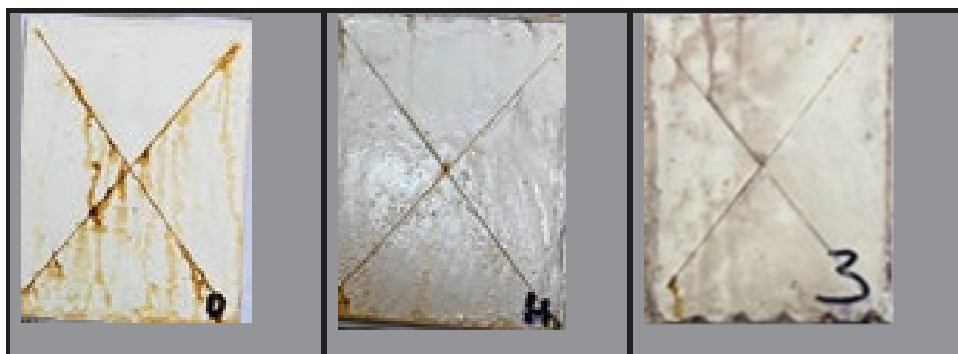


Рис. 2. Вигляд зразків після 72 годин у камері сольового туману

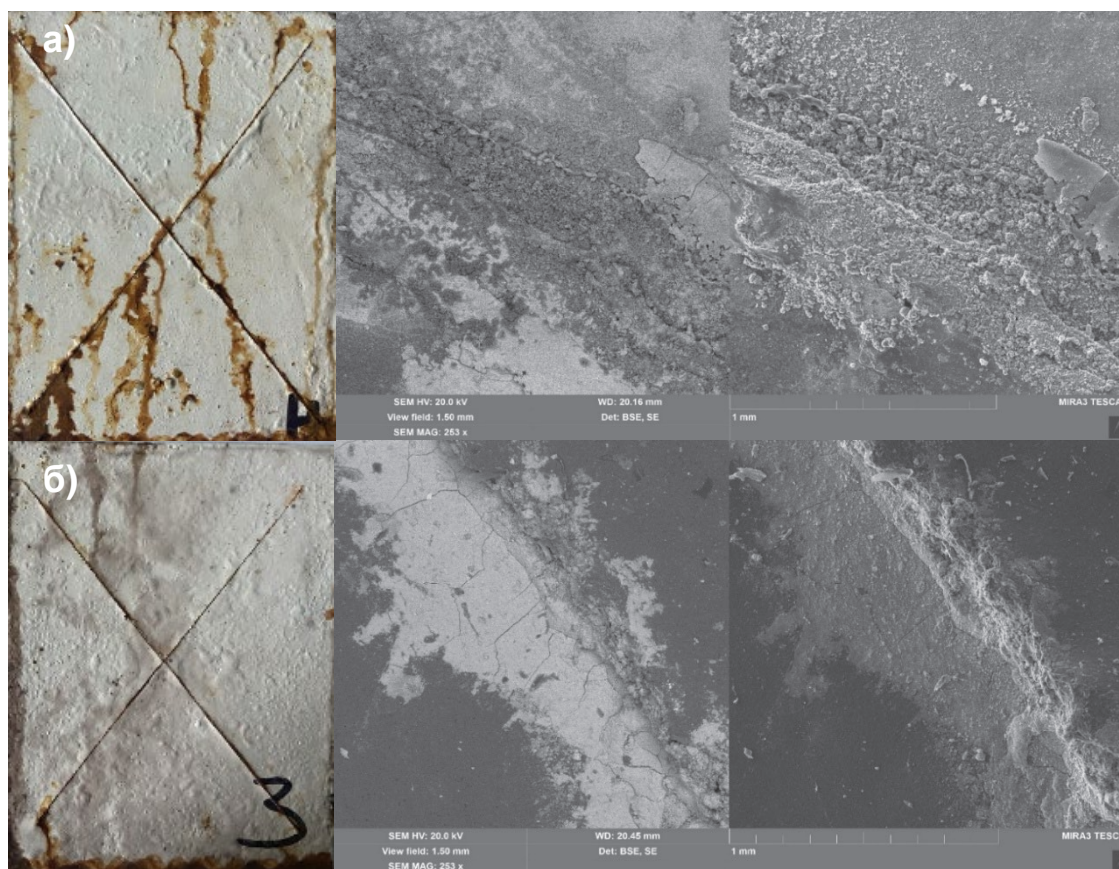


Рис. 3. SEM місця надрізу зразків після 140 годин у камері сольового туману: а - Зразок «Н» – пластина, оброблена комерційним перетворювачем та пофарбована двома шарами білої радіаторної емалі Тріора; б - 3–пластина, оброблена водно-дисперсійними покриттями за рецептурою що містить екстракт мімози та пофарбовані двома шарами тієї ж емалі

У зразках із низькою адгезією («0» та «Н») спостерігаються інтенсивні сліди рудого нальоту, що свідчить про більш глибоке ураження металу. Зразок 3 із високою адгезією зберігає захисні властивості покриття, продовжуючи захищати поверхню від корозії.

Оцінка екологічної стійкості та «зеленості» розробленого методу отримання екстракту поліфенольних сполук таніну мімози та його використання у складі перетворювача іржі була проведена за допомогою спеціалізованого інструменту AGREEprep та ComplexMoGAPI (рис. 4 а). Нижче наведено детальний опис результатів цієї оцінки: Оцінка проводилася відповідно до 12 принципів аналітичної «зеленості». Кожен критерій оцінювався за шкалою від 0 до 1, де вищі значення вказують на мінімальний негативний вплив на довкілля. При розрахунках враховувалися вагові коефіцієнти для кожного принципу, що дозволило отримати об'єктивний підсумковий індекс. Ключові показники «зеленості»:

1) Мінімальна токсичність. Основна увага приділялася використанню безпечних реагентів та розчинників. Вибір етанолу та води як основних компонентів для екстракції дозволив значно знизити екологічне навантаження порівняно з традиційними методами, що використовують агресивніші хімікати.

2) Енергоефективність. Процес був розроблений з метою оптимізації енергетичних витрат на кожному етапі підготовки.

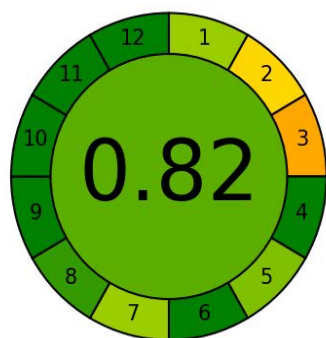
3) Безпека процесу. Головною метою було отримання ефективного антикорозійного засобу з мінімальним ризиком для дослідника та навколишнього середовища.

4) Підсумковий результат. За допомогою програмного забезпечення AGREEprep було згенеровано загальний індекс «зеленості» (відображений

у формі кругової діаграми), який підтверджує високу екологічну безпечність та сталість запропонованої технології.

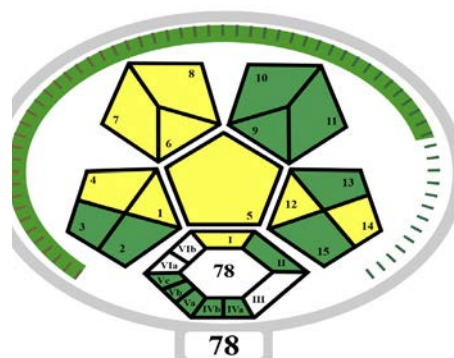
Використання AGREEprep дозволило авторам науково обґрунтувати, що розроблений перетворювач іржі на основі поліфенольних сполук танінів мімози є не лише ефективною, але й екологічно відповідальною альтернативою комерційним аналогам.

Оцінка процесу екстракції мімозового таніну, призначеного для створення екологічного перетворювача іржі, була виконана із застосуванням програми ComplexMoGAPI, що дозволяє комплексно проаналізувати стадію підготовки зразка з позицій «зеленої» хімії, безпеки та відповідності принципам сталої економіки. За результатами аналізу встановлено, що стадія AMPLE Preparation характеризується мінімальним впливом на довкілля та оператора. Відбір і підготовка сировини здійснюються без етапів консервації, транспортування та спеціального зберігання, а сам процес реалізується у режимі on-line / at-line за нормальних умов. Методика екстракції базується на простих фізичних операціях (фільтрація, декантація) у масштабі мікроекстракції, що забезпечує зменшення кількості реагентів та відходів. У програмі ComplexMoGAPI процес класифіковано як такий, що використовує зелені розчинники та реагенти в об'ємі менше 10 мл з низькими показниками токсичності та пожежонебезпеки (NFPA 0–1). Інструментальне забезпечення не потребує спеціалізованих або енергоємних установок, а енергоспоживання не перевищує 1,5 кВт·год на зразок, що відповідає вимогам енергоефективності. Процес екстракції є герметизованим, що знижує професійні ризики, а кількість утворених відходів становить лише 1–10 мл із можливістю їх подальшого рециклінгу.



1. Sample treatment
2. Sample amount
3. Device positioning
4. Sample prep. stages
5. Automation, miniaturization
6. Derivatization
7. Waste
8. Analysis throughput
9. Energy consumption
10. Source of reagents
11. Toxicity
12. Operator's safety

а



б

Рис. 4. Оцінка «зеленості» методу отримання екстракту таніну мімози для перетворювача іржі (AGREEprep (а), ComplexMoGAPI (б))

Додаткові стадії очищення або кількісного визначення екстракту не застосовуються, оскільки отриманий танін використовується безпосередньо як функціональний активний компонент перетворювача іржі. Важливою перевагою, відображеною в оцінці ComplexMoGAPI, є поєднання м'яких умов процесу (кімнатна температура, тривалість менше 1 години) з високим виходом екстракту (70–89 %). Це підтверджує ефективність вилучення поліфенольних сполук без застосування агресивних реагентів або енергоінтенсивних стадій. Таким чином, результати моделювання в програмі ComplexMoGAPI свідчать, що розроблений підхід до екстракції мімозового таніну повністю відповідає концепції «green-by-design» і є придатним для масштабування в технологіях створення екологічно безпечних перетворювачів іржі.

Висновки. Тип розчинника суттєво впливає на компонентний склад та інгібуючі властивості. Оптимальним співвідношенням Вода/Етанол є 20/80, оскільки ця система забезпечує найкращий баланс для розчинення як полярних, так і менш полярних компонентів танінового комплексу, що гарантує максимальну антиоксидантну здатність. Гравіметричні дослідження

в нейтральному середовищі (3,0% NaCl) підтвердили високу ефективність поліфенольних сполук таніну як інгібітора корозії. Процес трансформації іржі під дією сполук є двостадійним. Перша стадія включає хелатування — реакцію активних сполук таніну з оксидами заліза (Fe_2O_3 та Fe_3O_4) з утворенням стабільних залізо-танінових комплексів. Друга стадія полягає у полімеризації танінів на поверхні сталі, що створює щільну органічно-неорганічну бар'єрну плівку, яка запобігає подальшому проникненню кисню та вологи. Розроблено рецептуру перетворювача іржі, яка продемонструвала значний потенціал для захисту сталі. Результати випробувань у камері соляного туману показали, що попереднє оброблення поверхні перетворювачем на основі поліфенольних сполук таніну суттєво покращує адгезію наступних лакофарбових покриттів та обмежує поширення корозії порівняно з комерційними аналогами. Оцінка за допомогою інструменту AGREErper та ComplexMoGAPI підтвердила екологічну безпечність процесу отримання екстракту та його використання у складі перетворювачів іржі, що робить цей підхід перспективним для створення сталіх антикорозійних технологій.

Список літератури:

1. Ross T. K., Francis R. A. The treatment of rusted steel with mimosa tannin. *Corrosion Science*. 1978. № 18. С. 351–361.
2. Flores Merino S., Caprari J. J., Vasquez Torres L., Figueroa Ramos L., Hadzich Girola A. Inhibitive action of tara tannin in rust converter formulation. *Anti-Corrosion Methods and Materials*. 2017. № 64. С. 136–147.
3. Nardeli J. V., Fugivara C. S., Taryba M., Pinto E. R. P., Montemor M. F., Benedetti A. V. Tannin: A natural corrosion inhibitor for aluminum alloys. *Progress in Organic Coatings*. 2019. № 135. С. 368–381.
4. Qian B., Hou B., Zheng M. The inhibition effect of tannic acid on mild steel corrosion in seawater wet/dry cyclic conditions. *Corrosion Science*. 2013. № 72. С. 1–9.
5. Saji V. S. Progress in rust converters. *Progress in Organic Coatings*. 2019. № 127. С. 88–99.
6. Li J., Ge S., Wang J., Du H., Song K., Fei Z., Shao Q., Guo Z. Water-based rust converter and its polymer composites for surface anticorrosion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018. № 537. С. 334–342.
7. Martinez S. Inhibitory mechanism of mimosa tannin using molecular modeling and substitutional adsorption isotherms. *Materials Chemistry and Physics*. 2003. № 77. С. 97–102.
8. Rahim A. A., Rocca E., Steinmetz J., Kassim M. J., Adnan R., Ibrahim M. S. Mangrove tannins and their flavanoid monomers as alternative steel corrosion inhibitors in acidic medium. *Corrosion Science*. 2007. № 49. С. 402–417.
9. Vorobyova V., Sikorsky O., Skiba M., Vasyliov G. Quebracho tannin as corrosion inhibitor in neutral media and novel rust conversion agent for enhanced corrosion protection. *South African Journal of Chemical Engineering*. 2023. № 44. С. 68–80.
10. Hao Y., Hu M., Li C., Shen Y., Liu S., Chang H., Li P., Yun Q., Song L. Anticorrosion mechanism of waterborne epoxy coating containing polyaniline-adsorbed aluminum ions for carbon steel. *Progress in Organic Coatings*. 2026. № 213. Article 109988. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2026.109988.
11. Mansour F.R., Omer K.M., Płotka-Wasyłka J., A total scoring system and software for complex modified GAPI (ComplexMoGAPI) application in the assessment of method greenness, *Green Anal. Chem.* 10 (2024) 100126.doi:10.1016/j.greac.2024.100126.

Vorobiova V.I., Sikorsky O.O. CREATION OF AN ECOLOGICAL RUST CONVERTER BASED ON NATURAL POLYPHENOL COMPOUNDS

An experimental study of the use of tannin as an active transforming component of water-dispersion anticorrosive coatings is presented. Tannin extraction was carried out from crushed mimosa bark in water-alcohol systems with ultrasonic treatment for 40 min, which provided different polarity of the extractant and affected the inhibitory properties of the obtained solutions. The results showed that a decrease in solvent polarity (an increase in ethanol content) correlates with an increase in the inhibition coefficient (17.97–23.49) and the degree of metal protection (94.44–95.74%), which indicates the formation of an effective protective layer and increased anticorrosive activity. IR-ATR spectra confirmed the formation of stable Fe-tannin complexes and a protective film on the metal surface, and XRD analysis showed the transformation of crystalline iron oxides into more stable amorphous compounds. The mechanism of action of mimosa tannin extracts is based on chelation of Fe²⁺/Fe³⁺ ions, formation of stable complexes and polymerization of tannins on the metal surface, which ensures the formation of a barrier film and effective anti-corrosion protection. Assessment of adhesion of coatings by the cross method in a salt spray chamber confirmed the high resistance of coatings containing tannin extract compared to coatings without pre-treatment. Thus, mimosa tannin is a promising natural component for rust converters and anti-corrosion water-dispersion coatings, capable of increasing the durability of metal structures and providing a stable protective effect. The environmental sustainability of the proposed approach was assessed using the AGREEprep and ComplexMoGAPI tool, demonstrating the potential of using this natural component in “green” metal protection technologies.

Keywords: *water-dispersion coating, anti-corrosion protection, green chemistry, corrosion, polyphenolic compounds.*

Дата першого надходження статті до видання: 27.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 11.05.2026