

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра теоретичної та прикладної хімії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Людмила ПОНОМАРЬОВА

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 102 «Хімія»,
освітньо-професійної програми «Хімія»,
на тему: «Дослідження впливу функціональних добавок на антикорозійні властивості лакофарбових покриттів».

Здобувача групи ПХ.м-31 Ярової Тетяни Юріївни

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



(підпис)

Тетяна ЯРОВА

Керівник доцент кафедри ТПХ, к.х.н., Яновська Г.О.



(підпис)

Співкерівник начальник ВНД, ТОВ «ВП «ПОЛІСАН»,
Хмизенко Р.В.



(підпис)

Суми – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра теоретичної та прикладної хімії

Спеціальність 102 «Хімія»

Освітня програма «Хімія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри
теоретичної та прикладної хімії
Л.М. Пономарьова
“ ” 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Студентці Яровій Тетяні Юріївні Група ПХ.м-31

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження впливу функціональних добавок на антикорозійні властивості лакофарбових покриттів

2. Вихідні дані: Зразки антикорозійних добавок «Фосфат цинку Neucoros» та «Askonium», методики визначення фізико-хімічних властивостей антикорозійних покриттів

3. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	20.10.2024	
2	Аналіз проблеми	01.11.2024	
3	Проведення дослідження ефективності антикорозійних добавок у водно-дисперсійних акрилових емалях	20.11.2024	
4	Обговорення результатів аналізу	29.11.2024	
5	Оформлення роботи	01.12.2024	
6	Захист роботи	13.12.2024	

Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 р.

Здобувач освіти 

Керівник 

Співкерівник 

Ярова Т.Ю.

Яновська Г.О.

Хмизенко Р.В.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 3 розділів і загальних висновків. Загальний обсяг роботи 83 сторінки, зокрема 20 рисунків, 9 таблиць, 33 літературних джерел.

Предметом кваліфікаційної роботи магістра є оцінка ефективності функціональних добавок з антикорозійними властивостями для вододисперсійних емалей.

Робота складається з трьох частин:

1. Аналіз сучасних підходів до захисту металу від корозії;
2. Матеріали та методи дослідження;
3. Визначення ефективності антикорозійних добавок у водно-дисперсійних акрилових емалях.

Об'єкт дослідження - механізм роботи антикорозійних добавок та їх вплив на властивості водно-дисперсійних емалей.

Головною метою цієї кваліфікаційної роботи є встановлення ефективності застосування антикорозійних добавок різних типів у водно-дисперсійних акрилових емалях для захисту металу від корозії та підвищення довговічності металевих конструкцій.

У роботі виконано дослідження впливу функціональних добавок на антикорозійні властивості лакофарбових покриттів.

Ключові слова: корозія, антикорозійні добавки, захист від корозії, сольовий туман, лакофарбові покриття, довговічність лакофарбових покриттів.

Дослідження було проведено за фінансової підтримки та на базі науково-дослідницької лабораторії ТОВ «ВП «ПОЛІСАН»».

ABSTRACT

Master's thesis consists of introduction, 4 sections and general conclusions. The total volume of work is 83 pages, including 20 figures, 9 tables, 33 references.

The subject of the master's thesis is the evaluation of the effectiveness of functional additives with anti-corrosion properties for water-dispersion enamels.

The work consists of three parts:

1. Analysis of modern approaches to metal corrosion protection;
2. Materials and research methods;
3. Determination of the effectiveness of anti-corrosion additives in water-dispersion acrylic enamels.

The object of the study is the mechanism of action of anti-corrosion additives and their influence on the properties of water-dispersion enamels.

The primary aim of this thesis is to establish the effectiveness of using various types of anti-corrosion additives in water-dispersion acrylic enamels to protect metal from corrosion and enhance the durability of metal structures.

The influence of functional additives on the anti-corrosion properties of paint and coating systems were examined in this study.

Keywords: corrosion, anti-corrosion additives, corrosion protection, salt spray, paint coatings, durability of lacquer coatings.

The study was carried out with financial support and on the basis of the research laboratory of MC "POLYSAN" LTD.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ЗАХИСТУ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ	11
1.1 Сутність корозійних процесів та їх вплив на метали	11
1.1.1 Класифікація корозійних процесів.....	13
1.2 Сучасні технології захисту від корозії.....	19
1.2.1 Переваги та недоліки різних методів захисту металевих конструкцій	21
1.2.2 Антикоровіні лакофарбові покриття	23
1.3 Механізми антикорозійного захисту лакофарбових покриттів.....	24
1.4 Антикоровіні добавки: огляд та класифікація.....	29
1.4.1 Традиційні пігменти - властивості та застосування	29
1.4.2 Модифіковані пігменти	31
1.4.3 Інноваційні комплексні добавки: структура, механізми дії	34
1.5 Особливості антикорозійних добавок для водно-дисперсійних лакофарбових матеріалів	35
1.6 Вплив сольового середовища на хімічні властивості покриття.....	37
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	39
2.1 Дослідження складу та механізму дії антикорозійних добавок в водно-дисперсійні акрилові емалі	39
2.2 Дослідження фізико-хімічних властивостей антикорозійних покриттів	43
2.2.1 Визначення стійкості до дії вологи	43
2.2.2 Випробування на ударну міцність.....	46
2.2.3 Оцінювання адгезії покриття	48
2.3 Оцінка антикорозійних властивостей покриттів	49
2.3.1 Методика випробувань у камері сольового туману	49
2.3.2 Інтерпретація результатів тестування.....	52
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АНТИКОРОЗІЙНИХ ДОБАВОК У ВОДНО-ДИСПЕРСІЙНИХ АКРИЛОВИХ ЕМАЛЯХ	55
3.1 Аналіз структури та складу досліджуваних антикорозійних добавок	55

3.2	Вплив антикорозійних добавок на збереження фізико-хімічних властивостей покриття.....	59
3.3	Проведення випробувань у сольовому тумані та оцінка корозійної стійкості	70
3.3.1	Умови проведення тесту.....	70
3.3.2	Фіксація результатів за кількістю утворення пухирів іржі, відшарувань, розтріскувань	72
ВИСНОВКИ		77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		80
ДОДАТОК А.....		85
ДОДАТОК Б.....		86
ДОДАТОК В.....		90
ДОДАТОК Г.....		91
ДОДАТОК Д.....		92
ДОДАТОК Е.....		93

ВСТУП

Актуальність теми

Прийнято вважати, що корозія справляє суттєвий вплив на багато сфер промисловості, таких як інфраструктура, транспорт, енергетика та електроніка. Вона викликає погіршення властивостей матеріалів, руйнування конструкцій і вихід обладнання з ладу, що призводить до значних економічних збитків і загроз безпеці. Таким чином, важливо запобігати корозії, мінімізувати її наслідки та здійснювати контроль, щоб гарантувати надійність, безпеку та довговічність різних систем і технологічних процесів.

Корозійні дослідження важливі з трьох основних причин. Перша — економічна: вони спрямовані на зниження матеріальних збитків від корозії у трубопроводах, резервуарах, частинах машин, суднах, мостах, морських конструкціях і на обладнанні гідро-, тепло- та атомних електростанцій.

Друга причина — забезпечення надійності обладнання. Руйнування через корозію може мати серйозні наслідки для виробничих процесів, персоналу і навколишнього середовища. Це особливо актуально для посудин високого тиску, контейнерів для токсичних речовин, лопатей і роторів турбін, мостів і елементів літальних апаратів. Надійність критично важлива для обладнання атомних електростанцій та сховищ радіоактивних відходів.

Третя причина — збереження світових металевих ресурсів. Оскільки запаси металів обмежені, виготовлення нового металу для заміни втраченого через корозію призводить до зменшення ресурсів руд, а також до зростання витрат енергії та води [1].

З прогресом у матеріалознавстві розробляються нові системи антикорозійного покриття. Розробка цих покриттів зосереджена на підвищенні функціональності, включаючи захист від корозії та адгезію, екологічно чисті матеріали, виявлення корозії та механічних пошкоджень, покращену зносо- та водостійкість [2].

Корозійностійкі покриття привертають багато уваги протягом багатьох років завдяки своїй простоті та ефективності [3-5].

Антикорозійні властивості лакофарбових покриттів є важливим аспектом у забезпеченні довговічності та надійності різноманітних матеріалів, зокрема в будівництві, машинобудуванні, суднобудуванні та інших галузях промисловості.

Враховуючи сучасні вимоги до якості та ефективності матеріалів, зокрема в умовах агресивних середовищ, зростає потреба в удосконаленні лакофарбових покриттів, здатних протистояти корозійним процесам. Одним з перспективних напрямків є використання функціональних добавок, які можуть значно підвищити антикорозійні властивості покриттів.

Функціональні добавки мають потенціал для покращення якості лакофарбових покриттів, збільшення їх стійкості до вологи, агресивних хімічних речовин та механічних пошкоджень. Вивчення їх впливу на характеристики покриттів є важливим кроком для розробки нових матеріалів, які забезпечать більш ефективний захист від корозії при збереженні екологічної безпеки та економічної вигоди.

Таким чином, актуальність дослідження впливу функціональних добавок на антикорозійні властивості лакофарбових покриттів зумовлена необхідністю удосконалення захисних матеріалів для промисловості, підвищення їх ефективності, а також розв'язанням екологічних і економічних проблем, пов'язаних з корозією металів.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у встановленні ефективності застосування антикорозійних добавок різних типів у водно-дисперсійних акрилових емалях для захисту металу від корозії та підвищення довговічності металевих конструкцій.

Досягнення даної мети потребує вирішення наступних *завдань*:

- Проаналізувати існуючі добавки для ЛФМ з антикорозійними властивостями;
- Ознайомитися з механізмом дії антикорозійних добавок;

- Визначити ефективність функціональних добавок різних типів до запобігання корозійних процесів на металевих поверхнях;
- Визначити як впливають антикорозійні добавки на фізико-хімічні показники якості ЛФМ матеріалів;
- Дати оцінку ефективності захисту металевих поверхонь від корозії за рахунок додавання функціональних добавок в ЛФМ.

Об’єктом дослідження є механізм роботи антикорозійних добавок та їх вплив на властивості водо-дисперсійних емалей.

Предмет дослідження – оцінка ефективності функціональних добавок з антикорозійними властивостями для вододисперсійних емалей.

Методи дослідження:

- Проаналізували існуючі антикорозійні добавки та дослідили механізм їх дії *бібліографічним методом*;
- Дослідили структуру та елементний склад комплексної функціональної добавки з невідомим складом *методом скануючої електронної мікроскопії*;
- Визначили корозійну стійкість покриттів *методом випробування на корозію в штучній атмосфері (випробування сольовим туманом)*;
- Опрацювання та узагальнення експериментальних даних виконували за допомогою комп’ютерних програмних пакетів (Word, Exel, Origin).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вдосконаленні складу антикорозійних лакофарбових покриттів через використання комплексних добавок, зокрема таких, як Askonіum. Це дозволяє підвищити ефективність антикорозійного захисту, порівняно з традиційними пігментами, як-от фосфат цинку. Комплексні добавки містять декілька активних компонентів, що забезпечують багатофункціональність покриття, покращуючи бар’єрні властивості, адгезію та водостійкість одночасно. Дослідження демонструє новий підхід до оцінки довговічності покриттів через тестування у сольовому тумані, що дозволяє точніше вивчити поведінку покриттів в агресивних середовищах. Це розширює можливості проектування антикорозійних лакофарбових систем для

металевих конструкцій, забезпечуючи більшу стійкість та триваліший захист від корозії.

Практичне значення одержаних результатів:

Наукові результати і висновки використано для оптимізації технологічних параметрів виробництва антикорозійних емалей та вдосконалення їх рецептур і передано для розроблення вихідних даних до компанії ТОВ «ВП «ПОЛІСАН».

Практичне значення одержаних результатів полягає в оптимізації захисту металевих конструкцій від корозії шляхом застосування антикорозійних лакофарбових покриттів із сучасними комплексними добавками. Завдяки використанню таких добавок, як Askonium, можна покращити адгезію, водостійкість і стійкість покриття до корозії, що дозволяє збільшити термін служби металевих конструкцій, знизити витрати на їхнє обслуговування та ремонт, а також мінімізувати екологічний вплив корозії. Дослідження також показує важливість проведення тестів, як-от випробування в умовах сольового туману, для оцінки довговічності захисних покриттів, що допомагає точніше прогнозувати їхню ефективність у реальних умовах експлуатації.

Особистий внесок здобувача: проведення комплексних лабораторних випробувань з основних фізико-хімічних методів для оцінки ефективності застосування антикорозійних добавок різних типів у водно-дисперсійних акрилових емалях для захисту металу від корозії; обробка вхідних даних для досліджень; наукове обґрунтування доцільності впровадження у виробництво нових рецептур акрилових водно-дисперсійних емалей з використанням високоефективних антикорозійних добавок.

Апробація результатів

Результати магістерської роботи опубліковані у статті [6] та апробовані на конференції [7].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ЗАХИСТУ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ

1.1 Сутність корозійних процесів та їх вплив на метали

Науково-технічний розвиток суспільства вимагає створення матеріалів зі спеціальними, інколи унікальними фізико-хімічними властивостями. Під час розробки таких матеріалів слід враховувати не лише технологічні особливості та складності їх виробництва, але й можливість максимально продовжити термін збереження їхніх експлуатаційних властивостей у складних умовах — при дії руйнівних факторів, таких як високі температури, агресивні корозійні середовища, ерозія, механічні навантаження, різні види випромінювання тощо.

На жаль, потенціал багатьох матеріалів, особливо нових, залишається реалізованим лише частково, зокрема їх корозійна стійкість за різних умов, що пов'язано з недостатнім розумінням фізико-хімічних процесів, які відбуваються в них під багатофакторним впливом зовнішніх руйнівних чинників.

Корозія, на жаль, є одним із найбільших викликів для всіх матеріалів, як конструкційних, так і функціональних. За оцінками експертів, навіть у провідних економічно розвинених країнах корозія щорічно завдає непоправних збитків, що становлять до 6 % від вартості валового національного продукту (наприклад, корозійні втрати сталей досягають 15–30 % від річного обсягу виробництва) [1].

Корозія металів – це процес спонтанного руйнування металевих матеріалів через їх хімічну або електрохімічну реакцію з навколишнім середовищем. Під поняттям "метали" маються на увазі як прості метали, так і їхні сплави, а також різноманітні металеві вироби і конструкції. Зазвичай корозія відбувається у середовищах, представлених різними рідинами та газами. Таке середовище називають **корозійним або агресивним**. У результаті взаємодії металу з корозійним середовищем утворюються хімічні сполуки, відомі як **продукти корозії**.

Термін «корозія» стосується хімічного руйнування металу його середовищем. Ці реакції найчастіше є гетерогенними реакціями окислення-

відновлення і відбуваються на межі поділу метал–середовище. Анодною реакцією зазвичай є окиснення металу, а катодною – відновлення неметалу, зазвичай кисню. Якщо продукт окиснення металу утворює щільну та адгезійну плівку, процес корозії може бути самообмежувальним. Якщо ж продукти корозійної реакції є розчинними в корозійному середовищі або проникні для нього, корозія металу може продовжуватися.

Корозію часто описують через просту електрохімічну модель. Анодна та катодна напівреакції корозійного елементу можуть відбуватися на сусідніх або віддалених ділянках поверхні металу; електричний ланцюг замикається завдяки електронній провідності всередині металу, що кородує, і іонній провідності в водному електроліті. При природній корозії часто буває, що анодні і катодні ділянки корозійної реакції розділені на певну відстань. У таких випадках анодні ділянки схильні до закислення, а катодні – до лужності [8].

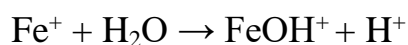
Залізо є основним металом, що піддається корозії у водних розчинах. У присутності окислювальних агентів поверхня заліза може пасивуватися шляхом утворення оксидної плівки; якщо утворена оксидна плівка недосконала, корозія може швидко поширюватися. У найпростішій формі реакція утворення оксиду заліза виглядає так:



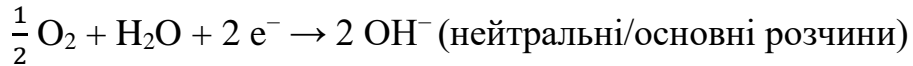
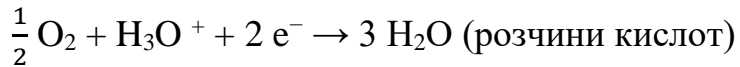
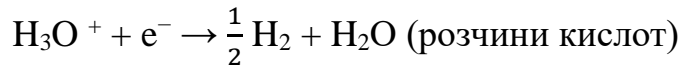
Першим кроком у процесі корозії є розчинення заліза з утворенням іона феруму (Fe^{2+}):



Загалом, на ділянках анодного розчинення значення рН знижується через реакції гідролізу, такі як:



Зазвичай катодними реакціями є виділення водню та відновлення кисню; виділення водню кінетично переважає в кислих умовах, тоді як відновлення кисню переважає в нейтральних і лужних умовах.



На катодних ділянках рН зазвичай підвищується через утворення гідроксид-іонів та/або поглинання іонів водню.

Щорічні витрати розвинених країн на боротьбу з корозією сягають величезних сум, оцінюваних у мільярди доларів щороку [9]. Витрати на корозію можуть становити до 6% від валового внутрішнього продукту в країнах, що розвиваються [10].

Вважається, що впровадження сучасних антикорозійних технологій, зокрема ізолюючих покриттів, дозволить знизити витрати на корозію приблизно на 20–25% [11].

Органічні та лакофарбові покриття є найбільш поширеним і найстарішим методом антикорозійного захисту металів, становлячи до 90% від загальних витрат на боротьбу з корозією [10]. У 2017 році світовий ринок антикорозійних покриттів оцінювався в 24,84 мільярда доларів, із середнім річним темпом зростання витрат близько 5%.

1.1.1 Класифікація корозійних процесів

За механізмом процесу [12]:

1. Хімічна корозія - виникає через хімічну взаємодію металів із зовнішнім середовищем, при якій окиснення металу та відновлення окисника відбуваються одночасно. Цей процес зазвичай спостерігається під впливом сухих газів (наприклад, повітря чи продуктів згоряння палива) або неелектролітів (таких як нафта чи бензин) і є гетерогенною хімічною реакцією.

Основні характеристики хімічної корозії:

- електрони передаються безпосередньо від атомів металу до окиснювача, який міститься у корозійному середовищі;
- відсутність електричного струму в процесі корозії.

Види хімічної корозії залежно від середовища:

- Газова корозія – відбувається за високих температур у середовищі агресивних сухих газів (F_2 , Cl_2 , SO_2 , NO_2 , H_2S). Як приклад, можна навести корозію деталей двигунів внутрішнього згорання, турбін або ракетних двигунів.
- Корозія в неелектролітах – виникає у середовищах струмонепровідних рідин, таких як Br_2 , нафта та її похідні.

Прикладом хімічної корозії є реакція металу з киснем у такій формі:



Ця реакція демонструє утворення оксидного шару на поверхні металу під дією кисню.

2. Електрохімічна корозія – це мимовільний процес руйнування металів, що виникає внаслідок електрохімічної взаємодії з навколишнім електропровідним середовищем. У цьому процесі іонізація атомів металу та відновлення окисника в середовищі відбуваються окремо, причому їх швидкість визначається електродним потенціалом металу. Це гетерогенний процес.

Прикладом електрохімічної корозії є взаємодія металів з рідкими електролітами, такими як вода, розчини солей, кислот, лугів або розплави солей і лугів. Типові випадки електрохімічної корозії включають:

- іржавіння металевих конструкцій на повітрі, зокрема заводського обладнання, мостів, будівельних каркасів та транспорту;
- корозію металевої обшивки кораблів у морській і річковій воді;
- іржавіння елементів гідротехнічних споруд;
- корозію трубопроводів, розміщених у ґрунті;
- пошкодження металевих резервуарів та обладнання під дією розчинів кислот, солей, лугів на хімічних підприємствах;

– втрати металу при кислотному очищенні від іржі (окаліни) або при нагріванні в розплавлених солях і лугах.

Механізм виникнення електрохімічної корозії

Електрохімічна корозія виникає, коли метал вступає в контакт з розчином електроліту або сплавом, що містить деполяризуючий агент. Поверхня металу або сплаву - неоднорідна і складається з багатьох ділянок з різними фізичними та хімічними властивостями. При взаємодії з електролітом ці ділянки набувають різного потенціалу, в результаті чого на поверхні металу створюється мережа замкнутих мікрогальванічних елементів. Область з більшим негативним потенціалом стає анодом, де метал окиснюється, тоді як область з більшим позитивним потенціалом діє як катод, де проходить відновлення окисника (деполяризатора).

Ця теорія процесу корозії, запропонована швейцарським хіміком де ла Рівом в 19 столітті, пояснює механізм корозії в результаті неоднорідності поверхні металу. Основними причинами такої гетерогенності є неоднорідність металевої фази (мікродомішки в металі, різна товщина і пористість шару, анізотропія металевого кристала); неоднорідність рідкої фази (різні концентрації іонів металу, середовища та кисню біля поверхні металу) і неоднорідність зовнішніх умов, таких як температура або електричні поля.

Умовами для виникнення електрохімічної корозії є:

- присутність електроліту (електропровідного середовища);
- різниця електричних потенціалів між різними ділянками металу.

Механізм електрохімічної корозії полягає в анодному руйнуванні металу (окисненні), що відбувається внаслідок утворення та роботи гальванічного корозійного елементу. У цьому процесі метал на анодній ділянці окиснюється за рівнянням: (А): $Me - ne^- = Me^{n+}$.

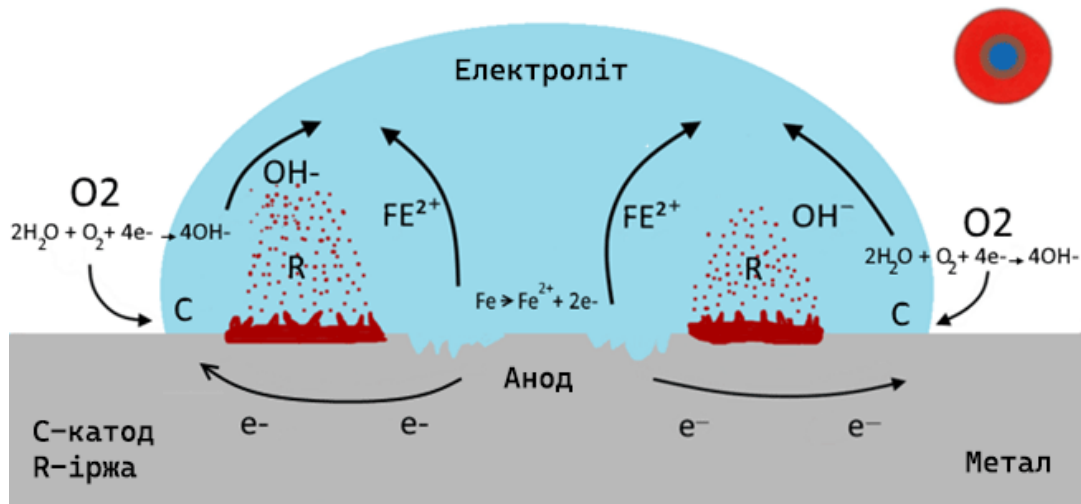
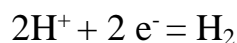


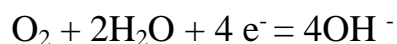
Рисунок 1 – Корозійний гальванічний елемент

На катодній ділянці відбувається відновлення компонентів середовища, яке може проходити за рахунок водневої або кисневої деполяризації, залежно від типу середовища.

При **водневій деполяризації** на катоді відбувається відновлення іонів водню:

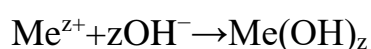


При **кисневій деполяризації** на катоді відновлюється кисень, розчинений у середовищі:

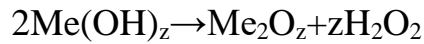


Речовини, які відновлюються на катоді, називають деполяризаторами. У кислому середовищі деполяризаторами є іони H^+ , а в умовах атмосферної корозії (у присутності вологого повітря), корозії у воді або ґрунті з розчиненим киснем деполяризатором є кисень.

Окрім електрохімічних процесів, під час корозії відбуваються також побічні хімічні реакції. Наприклад, іони металу можуть реагувати з гідроксид-іонами за реакцією:



Згодом отриманий гідроксид може поступово втрачати молекули води в процесі дегідратації:



Ці вторинні реакції призводять до утворення оксидів металу, які можуть впливати на швидкість корозійного процесу й утворення захисного шару на поверхні металу.

За умовами корозійного впливу [12]:

1. **Газова корозія** – корозія, що виникає в газовому середовищі, зазвичай при високих температурах (наприклад, окислення металу під час нагрівання);
2. **Корозія в неелектролітах** – корозія металів у рідинах, що не проводять електричний струм (наприклад, корозія сталі в бензині);
3. **Атмосферна корозія** – корозія, що відбувається в природному повітряному середовищі (іржавіння металів на відкритому повітрі або в приміщеннях);
4. **Корозія в електролітах** – корозія в провідних рідинах. Залежно від природи електроліту, виділяють:
 - Кислотну корозію
 - Лужну корозію
 - Сольову корозію
 - Корозію в морській воді
 - Корозію в розплавлених солях та лугах;
5. **Ґрунтова корозія** – корозія металів, що контактують із ґрунтом (наприклад, корозія трубопроводів);
6. **Структурна корозія** – корозія, пов'язана зі структурною неоднорідністю металу, що може сприяти утворенню катодних включень, наприклад, карбідів у сталі або графіту в чавуні;
7. **Корозія зовнішнім струмом** – електрохімічна корозія металів, викликана зовнішнім електричним струмом (наприклад, розчинення анодного заземлення в катодній захисній системі підземного трубопроводу);
8. **Електрокорозія** – корозія металів під дією струмів розсіювання (наприклад, руйнування трубопроводу через блукаючі струми);

9. **Контактна корозія** – електрохімічна корозія, що виникає при контакті металів із різними потенціалами в спільному електроліті (наприклад, корозія алюмінієвих деталей у контакті з мідними в умовах морської води);
10. **Щілинна корозія** – корозія, інтенсивність якої зростає у вузьких щілинах або зазорах, заповнених електролітами;
11. **Корозія під напругою** – корозія металів, що виникає внаслідок одночасного впливу корозійного середовища та механічного напруження.
Вона буває:
 - Під постійним навантаженням (наприклад, корозія металів у парових котлах);
 - Під змінним навантаженням (корозія ресор, насосів, сталевих тросів), що призводить до корозійної втоми – зниження міцності металу;
12. **Корозія при терті (корозійна ерозія)** – руйнування металу внаслідок впливу корозійного середовища у поєднанні з тертям;
13. **Біокорозія** – корозія, обумовлена впливом речовин, що утворюються в процесі життєдіяльності мікроорганізмів;
14. **Корозійна кавітація** – поєднаний корозійний та ударний вплив на метал, наприклад, руйнування лопатей гребних гвинтів у морській воді. Чинники, що впливають на швидкість корозії

На швидкість корозії металів впливають як внутрішні, так і зовнішні чинники, які визначають інтенсивність цього процесу [13]:

1. Внутрішні чинники

Природа металу: Хімічна активність металу, а також його здатність до пасивації суттєво впливають на корозійну стійкість. Метали, які легко утворюють захисні оксидні плівки (наприклад, алюміній, титан), мають вищу корозійну стійкість.

Структура сплаву: Гомогенні сплави кородують повільніше порівняно з гетерогенними сплавами, що складаються з кількох мікрофаз. Наявність

включень з менш активного металу (наприклад, мідь або нікель у залізі) може прискорювати корозійні процеси, створюючи катодні ділянки на поверхні.

Стан поверхні металу: Ретельна механічна або термічна обробка, що знімає напруги та згладжує поверхню, покращує корозійну стійкість. Гладка поверхня сприяє рівномірному утворенню захисного шару, що захищає від корозії.

2. Зовнішні чинники

Температура середовища: Підвищення температури зазвичай прискорює корозійні реакції, збільшуючи швидкість анодних і катодних процесів.

Тип і концентрація електроліту: Присутність іонів, таких як хлориди (Cl⁻), посилює корозійні процеси, оскільки ці іони здатні руйнувати захисні оксидні шари.

pH середовища: Кисле середовище (низький pH) сприяє корозії, особливо через водневу деполяризацію, оскільки висока концентрація H⁺-іонів прискорює процеси окиснення.

Наявність кисню: Кисень, особливо в присутності вологи, прискорює корозію шляхом кисневої деполяризації на катодних ділянках, що утворюються на поверхні металу.

Електрохімічний потенціал: У випадку контактної корозії різниця електрохімічних потенціалів між різними металами викликає електрохімічну корозію, де один з металів виступає анодом і швидко кородує.

Ці чинники можуть діяти одночасно або окремо, формуючи корозійний процес із певними характеристиками та швидкістю для кожного окремого випадку.

1.2 Сучасні технології захисту від корозії

Корозія є найпоширенішою формою руйнування, адже вона виникає скрізь, де використовуються або обробляються металеві конструкції. Корозійні процеси розвиваються в різних середовищах: у повітрі, морській та річковій воді, ґрунті, під впливом газів, високих температур, кислот, лугів та інших факторів. Тому

дослідження корозійних процесів і створення ефективних та економічно вигідних методів захисту металевих конструкцій від корозії є одними з найважливіших завдань для багатьох галузей економіки.

На сьогоднішній день особливий акцент робиться на розробці нових типів металевих і неметалевих покриттів, а також на впровадженні сучасних методів модифікації поверхневих шарів металевих матеріалів. Здатність металів протистояти руйнівному впливу зовнішнього середовища називається корозійною стійкістю [1].

Існують різні методи захисту металів від корозії, які включають: покращення хімічної стійкості металу (легування); ізоляцію металевої поверхні від агресивного середовища (нанесення покриттів, металевих або неметалевих); зміну властивостей агресивного середовища; електрохімічний захист та хімічний захист.

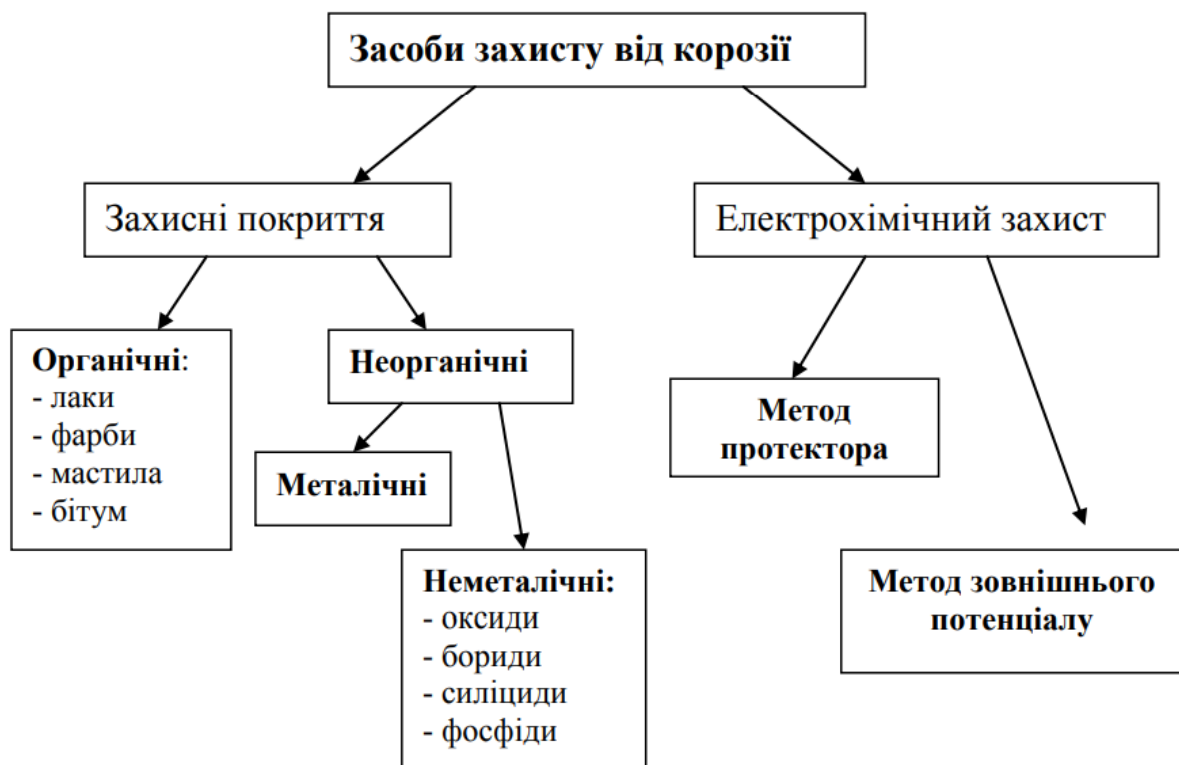


Рисунок 2 – Засоби захисту від корозії

1.2.1 Переваги та недоліки різних методів захисту металевих конструкцій

Сучасні методи захисту металів від корозії включають такі підходи [14]:

Підвищення хімічної стійкості металу (легування металів)

Метод полягає у зміні складу металу шляхом додавання легувальних елементів, які підвищують його стійкість до корозії. Легування зменшує схильність металу до хімічних реакцій з агресивними речовинами. Наприклад, нержавіюча сталь, яка містить хром, формує на поверхні захисну оксидну плівку, що запобігає корозії. Додавання нікелю або молібдену підвищує стійкість металу в кислотних середовищах.

Основною перевагою цього методу є те, що захист інтегрований у сам метал, забезпечуючи його довговічність. Однак леговані сплави мають високу вартість, що є їхнім недоліком.

Ізоляція поверхні металу від агресивного середовища

Цей підхід полягає у створенні захисного бар'єру між металом і агресивним середовищем. **Металеві покриття** можуть бути нанесені методами гарячого оцинкування, хромування або алюмініювання. Такі покриття виконують функцію анодного або катодного захисту. Наприклад, цинкове покриття забезпечує анодний захист сталі, поступово розчиняючись і запобігаючи корозії основного металу. **Неметалеві покриття**, такі як лаки, фарби або пластмаси, утворюють шар, який фізично ізолює поверхню металу від впливу води, повітря та інших корозійних агентів.

Основними перевагами цього методу є простота нанесення і можливість відновлення пошкоджених ділянок покриття. Однак для підтримання ефективності захисту потрібен регулярний контроль і ремонт.

Зміна властивостей агресивного середовища

Метою цього методу є зниження активності середовища, в якому перебуває метал. Для цього використовуються різні підходи. Зокрема, додають інгібітори

корозії — спеціальні речовини, що зменшують корозійну активність середовища, наприклад, фосфати у воду теплообмінників. Також здійснюють контроль рівня рН, нейтралізуючи кислоти або луги, а іноді знижують концентрацію кисню чи інших окислювачів у середовищі. Наприклад, у нафтовій промисловості інгібітори широко застосовуються для захисту трубопроводів від корозії.

Основною перевагою цього методу є ефективне зниження корозійних ризиків у великих системах, однак його недоліком є постійні витрати на використання спеціальних добавок.

Електрохімічний захист

Захист металу здійснюється шляхом створення умов, за яких він стає катодом і не піддається окисленню. Один із методів — катодний захист, який полягає у підключенні металу до зовнішнього джерела електричного струму для створення негативного потенціалу на його поверхні. Цей підхід широко використовується для захисту підземних трубопроводів або суден, проте його недоліком є необхідність постійного джерела живлення. Інший метод — протекторний захист, при якому до металу приєднується жертвений анод із матеріалу, що кородує замість основного металу, наприклад, із цинку чи магнію. Такий спосіб ефективний і надійний у багатьох умовах, зокрема для захисту днищ кораблів чи резервуарів. Однак основним недоліком є поступове витрачання протекторного матеріалу, який потребує заміни.

Хімічний захист

Цей метод передбачає обробку поверхні металу хімічними речовинами для створення захисних плівок. Один із підходів — фосфатування, яке полягає в утворенні захисного шару шляхом обробки металу фосфатами. Інший спосіб — оксидування, що забезпечує формування оксидного шару, який зменшує доступ кисню до поверхні металу. Також застосовується нанесення мастил і восків, що забезпечують тимчасовий захист, наприклад, під час зберігання. Яскравим прикладом є обробка алюмінію для створення анодованої поверхні. Основним

недоліком цього методу є обмежена довговічність захисту, особливо у вологих умовах [12].

Для забезпечення ефективного захисту металів від корозії часто використовують поєднання кількох методів. Оптимальний вибір способу залежить від умов експлуатації, характеристик агресивного середовища та економічної вигідності.

1.2.2 Антикоровісні лакофарбові покриття

Одним із найбільш ефективних методів захисту від атмосферної корозії є нанесення захисних лакофарбових покриттів (ЛФП), які широко застосовуються на практиці. На лакофарбові покриття припадає близько 39 % світових витрат на протикоровісний захист, що вдвічі більше за витрати на розробку та виробництво корозійностійких матеріалів. Хоча корозія є неминучим процесом, використання органічних покриттів значно знижує її швидкість. Антикоровісне покриття слугує фізичним бар'єром між металевою поверхнею та агресивним середовищем [15].

Всі види лакофарбових покриттів (ЛФП) належать до групи органічних покриттів і являють собою тверду плівку органічних сполук з пігментами та наповнювачами, яка утворюється під час висихання нанесеного складу на поверхню, що потребує захисту. Захисні властивості ЛФП залежать від цілісності та щільності плівки, яка ізолює металеву поверхню від навколишнього середовища, а також від характеру взаємодії покриття з металом. Товщина покриттів може варіювати від десятків до сотень мікрометрів, в залежності від їхнього призначення.

Основними перевагами лакофарбових покриттів є [15]:

- можливість їх застосування для захисту конструкцій будь-якого розміру безпосередньо на монтажних і будівельних майданчиках;
- простота та можливість механізації процесу нанесення покриттів;

- можливість ремонту та відновлення покриттів на металоконструкціях, трубопроводах та обладнанні під час експлуатації;

- низька витрата матеріалів на одиницю площі і економічність порівняно з іншими типами захисних покриттів.

Одним із ключових показників ефективності використання покриттів є їх довговічність, тобто здатність зберігати захисні властивості до досягнення граничного стану при наявності належного технічного обслуговування та ремонту. Довговічність покриття залежить від багатьох чинників, зокрема його фізико-механічних і хімічних властивостей, якості підготовки поверхні металу перед фарбуванням, а також правильного вибору покриття або системи покриттів для конкретних умов експлуатації.

1.3 Механізми антикорозійного захисту лакофарбових покриттів

Система органічних покриттів захищає металеві поверхні від корозії за допомогою одного або декількох механізмів [16]:

- Зменшення швидкості анодних (окислення) та/або катодних (відновлення) корозійних напівреакцій, що відбуваються на межі розділу метал/фарба.
- Внесення високого електричного опору в ланцюг корозійної комірки метал/електроліт, що викликано непровідною органічною плівкою, яка нанесена на металеву підкладку.
- Діє як ефективний фізичний бар'єр проти транспортування агресивних речовин, таких як вода, яка є основою електроліту/вологісного режиму; кисень, який є окислювачем; і різні корозійні іони (Cl^- , SO_4^{2-} та ін.) до поверхні металу.

Загалом, антикорозійна ефективність органічної плівки залежить від чотирьох факторів [16]:

- Природа металевої основи, тобто її схильність до окислювальної корозії.
- Стан поверхні розділу метал/ЛКМ - наприклад, її електричний опір і ємність, природа іонів або молекул, присутніх в цій області, і т.д.

- Склад плівки та ефективність антикорозійних пігментів і будь-яких інших інгібіторів.
- Корозійна агресивність навколишнього середовища і характерні особливості, яким піддається метал з покриттям.

Бар'єрний захист

Бар'єрні добавки призначені для посилення бар'єрних властивостей покриттів, перешкоджаючи транспорту корозійних іонів із навколишнього середовища до металевої основи. Зазвичай це пластинчасті пігменти, які орієнтуються паралельно підкладці та створюють звивистий шлях дифузії [17]. Бар'єрні покриття можна використовувати як фінішне покриття, базове покриття або ґрунтовку, і зазвичай їх наносять для занурених умов. Основним механізмом їх дії на корозію є забезпечення непроникності покриття, тому їх захисна здатність залежить від товщини шару покриття [18].

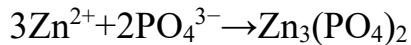
Бар'єрний ефект досягається за рахунок додавання до ЛФМ наступних добавок:

- *Шаруваті структури:* Добавки на основі слюди або тальку створюють багат шарові бар'єри, які ускладнюють дифузійно-активних речовин через лакофарбове покриття.
- *Наповнювачі:* Крім шаруватих матеріалів, використовуються інші мінерали (каолін, діоксид кремнію), що підвищують густину покриття, зменшуючи проникність.
- *Додаткові компоненти:* Ультратонкі добавки, такі як наночастинки графену або вуглецевих нанотрубок, значно підвищують бар'єрну ефективність завдяки високій площі поверхні.

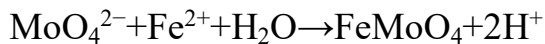
Хімічна пасивація

Хімічна пасивація передбачає взаємодію інгібіторів корозії з металевою поверхнею, в результаті чого утворюються нерозчинні продукти реакції, які запобігають подальшій корозії. Наприклад, фосфати, такі як цинк-фосфат,

створюють тонкий, але міцний захисний шар на поверхні металу, який ефективно працює як у нейтральних, так і у слабкокислих середовищах:



Молібдати виступають як екологічно безпечна альтернатива хроматам, утворюючи стабільні оксидні плівки, що пригнічують анодні реакції корозії, наприклад:



Органічні фосфонати також проявляють схожий ефект, але можуть бути використані у водорозчинних покриттях, забезпечуючи додаткову екологічну безпеку та ефективність у різних умовах.

Електрохімічний захист

Цей механізм базується на впливі добавок на електрохімічний потенціал металу або на створенні умов для контролю електрохімічних реакцій.

– Жертовні аноди

Жертовний анод зазвичай є електрохімічно більш активним, ніж металева частинка підкладки, і реагує (буде принесений в жертву), щоб захистити металеву підкладку. Найбільш широко використовуваним жертовним пігментом є частинки металевого цинку (багаті цинком праймери). Захист від корозії заснований на передачі гальванічного струму, що означає, що частинки пігменту повинні бути електрично з'єднані. Незважаючи на пігментну провідність, тимчасові покриття вимагають електричного контакту з основою, тому їх можна наносити лише як ґрунтовки.

– Електропровідні добавки

Використання графену, вуглецевих нанотрубок або провідних полімерів (наприклад, поліаніліну) допомагає вирівняти електричні потенціали на поверхні, знижуючи утворення локальних корозійних елементів .

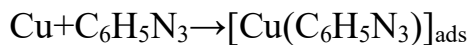
Адсорбція органічних інгібіторів

Інгібіторні покриття застосовуються для конструкцій, які піддаються атмосферній корозії, і не рекомендуються для занурених середовищ. Органічні

сполуки створюють адсорбційні шари на металевій поверхні, які блокують доступ води та кисню, пригнічуючи окислювальні процеси.

Коли покриття втрачає свої бар'єрні властивості і вода проникає до основи, інгібіторні добавки розчиняються і переміщуються до поверхні металу. Там інгібіторні іони реагують із субстратом і утворюють захисний шар [19].

Прикладами ефективних органічних інгібіторів є бензотриазол, толуоламід та стеарати. Ці сполуки утворюють міцні адсорбційні плівки, що не тільки захищають метал від корозії, але й покращують адгезію покриття до поверхні. Механізм дії таких сполук базується на їхній взаємодії з металевою поверхнею, яка призводить до утворення стійких хімічних або фізичних зв'язків. Наприклад, бензотриазол взаємодіє з міддю, утворюючи стабільну захисну плівку:

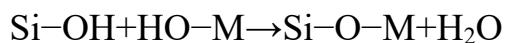


Органічні інгібітори демонструють високу ефективність у середовищах з підвищеною вологістю, зберігаючи стабільність захисного шару навіть у агресивних умовах, наприклад, у присутності хлоридів. Це робить їх незамінними в умовах, де застосування інших методів захисту є обмеженим або неефективним.

Гідрофобізація поверхні

Гідрофобні добавки зменшують здатність покриття поглинати воду, що суттєво знижує ризик корозії за рахунок утворення бар'єру для проникнення вологи до металевої поверхні. Серед найбільш ефективних гідрофобних добавок виділяються силіконові полімери, фторвмісні полімери та парафінові емульсії.

Силіконові полімери формують водовідштовхувальну плівку, яка значно ускладнює змочування поверхні водою. Їх дія базується на утворенні стійких ковалентних зв'язків між силіконовою молекулою і поверхнею металу:



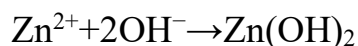
Фторвмісні полімери мають виняткову хімічну стійкість завдяки високій енергії зв'язку C-F, що забезпечує захист навіть у присутності агресивних хімічних реагентів. Їх водовідштовхувальна дія полягає в зменшенні поверхневої енергії покриття. Парафінові емульсії є недорогим і екологічно безпечним

варіантом для зменшення змочування поверхні. Вони утворюють тонкий шар парафіну, який діє як фізичний бар'єр для проникнення води.

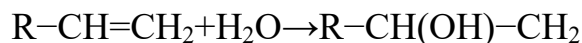
Такі гідрофобні добавки забезпечують тривалий захист металу, знижуючи ризик корозії навіть у складних експлуатаційних умовах.

Самовідновлення покриття

Інкапсульовані добавки забезпечують здатність лакофарбових покриттів до самовідновлення, що дозволяє ефективно усувати дефекти, які виникають під час експлуатації. Такий підхід ґрунтується на використанні мікрокапсул, які містять інгібітори корозії або смоли. Ці мікрокапсули вивільняють свій вміст при утворенні тріщин чи інших пошкоджень у покритті, формуючи новий захисний шар. Наприклад, інгібітори корозії, що виділяються з мікрокапсул, можуть реагувати з металевою поверхнею, утворюючи захисний осад:



Смоли, які інкапсульовані у вигляді полімерів, здатні утворювати гідрофобний бар'єр, що запобігає подальшому проникненню вологи і поширенню тріщин. Полімеризація смол може відбуватися за участю вологи або повітря:



Головною перевагою інкапсульованих добавок є значне подовження терміну служби покриттів, особливо в агресивних умовах експлуатації, таких як висока вологість, хімічні речовини або морське середовище. Завдяки такій технології покриття стають більш стійкими до механічних і хімічних пошкоджень.

Більшість сучасних антикорозійних добавок поєднують кілька механізмів дії. Наприклад, цинк-фосфат може забезпечувати як хімічну пасивацію, так і бар'єрний захист. Інкапсульовані системи здатні діяти в кілька етапів: відновлення плівки при пошкодженні та подальший захист за допомогою вивільнених інгібіторів.

У сукупності ці механізми дозволяють створювати високоефективні покриття, що забезпечують тривалий захист металевих конструкцій у різних умовах експлуатації.

1.4 Антикоровізійні добавки: огляд та класифікація

1.4.1 Традиційні пігменти - властивості та застосування

Антикоровізійні пігменти відіграють важливу роль у захисті металевих поверхонь, забезпечуючи як фізичний бар'єр, так і хімічну пасивацію. Серед традиційних пігментів найчастіше використовуються фосфат цинку та хромати, кожен із яких має свої унікальні властивості та сфери застосування.

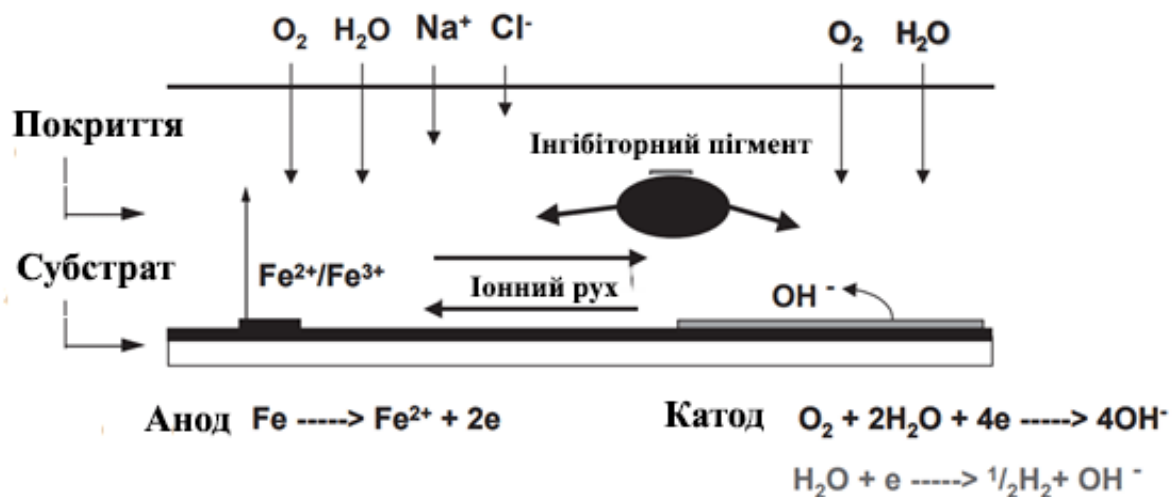
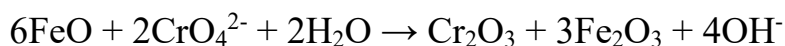


Рисунок 3 – Основний ефект антикоровізійних покриттів та інгібіторних пігментів у контролі корозії металевої основи.

А) Хромати

Хромати є дуже ефективними інгібіторами для захисту металів від корозії. Зокрема, хромат цинку Zn_2CrO_4 протягом багатьох років був успішним інгібіторним пігментом разом із суриком Pb_3O_4 . Іони CrO_4^{2-} можуть діяти як типовий інгібітор окиснення [19]. На сталі присутність хроматів цинку призводить до утворення плівки з сумішшю оксидів і гідроксидів Cr і Fe [20,21]. У разі нейтральних умов рН CrO_4^{2-} іони можуть спричинити подальше окислення

попередньо утворених продуктів оксиду/гідроксиду заліза, прилиплих до субстрату відповідно до реакції:



Незважаючи на добрі антикорозійні властивості хроматних інгібіторів і інгібіторних пігментів, їх використання обмежене через токсичність і канцерогенні ефекти хроматних сполук.

Тому фосфати були запропоновані як «нетоксична» альтернатива хроматам.

Б) Фосфати

Фосфат цинку використовується в комерційних цілях як екологічно чиста альтернатива особливо небезпечним хроматним сполукам. Однак механізм дії гальмування досі не повністю вивчений. Цинк-фосфатні пігменти продемонстрували хороші антикорозійні властивості під час зовнішнього застосування, достатньо хороші, щоб ефективно замінити хроматні сполуки. Однак, коли проводилися прискорені випробування, ефективність інгібування була низькою. Різницю в продуктивності можна пояснити досить високою швидкістю корозії у випадку прискорених випробувань. Таким чином, низька розчинність фосфату цинку і низькі швидкості реакції не можуть відповідати швидкості корозії в прискорених випробуваннях [22].

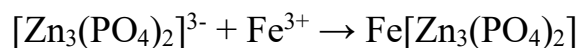
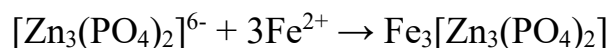
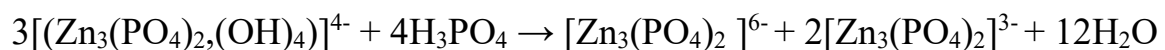
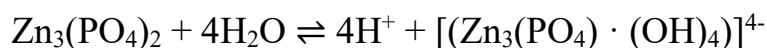
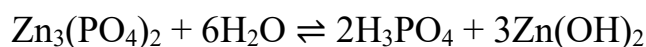
Низька реакційна здатність і низька розчинність пігменту дають йому явну перевагу в рецептурі в порівнянні з більш основними, менш стабільними нетоксичними пігментами. Вважається, що фосфат цинку пригнічує корозію трьома способами:

- Через донорство фосфат-іонів.
- Утворюючи захисну анодну плівку.
- Шляхом утворення антикорозійних екстрактів у присутності певних масляно-смолистих носіїв.

Фосфат цинку має ряд ефективних показників у реальних випробуваннях, але показує набагато нижчі результати у випробуваннях розпиленням солі та

інших прискорених випробуваннях. Таку погану продуктивність можна пояснити тим, що солоня вода та висока вологість часто погіршують ефективність пігменту.

Для кращого розуміння механізм інгібування фосфату цинку розділили на два випадки. У разі додавання фосфату цинку до кислотної смоли він реагує зі смолою та утворює металеві мила, які діють як анодні інгібітори [23]. У ЛФМ, які не містять кислотних смол, фосфат цинку може або розчинятися, коли вода проникає в смолу, і знову утворюється на поверхні, забезпечуючи певний ступінь пасивації, або після розчинення він повільно реагує з основою [24]. Хороші антикорозійні властивості фосфату цинку в кислих смолах і в кислому середовищі тісно пов'язані з вищою розчинністю пігменту в кислих умовах [23]. Для нейтральних умов рН дослідження механізму роботи фосфату цинку проводилися як у розчині, так і в складі покриття. Захисна дія фосфату цинку щодо сталі залежить від фосфатизації поверхні металу [25]. У цьому випадку запропоновано наступний шлях реакції.



1.4.2 Модифіковані пігменти

Цинк калій хромат

Цей інгібуючий пігмент, також відомий як хромат цинку або цинковий жовтий, є продуктом реакції між біхроматом калію, оксидом цинку та сірчаною кислотою. Універсальні та високоефективні хромати цинку є ефективними інгібіторами навіть при відносно низьких рівнях навантаження. Через їх жовтий колір їх, як правило, обмежують використанням як ґрунтовок. Хоча хромати цинку мають порогове граничне значення 0,001 мг/м³ і тому є досить токсичними, ці пігменти є одними з найбільш широко використовуваних антикорозійних

продуктів. Хоча конкретний механізм не повністю зрозумілий, існує кілька теорій на тему, як хромати цинку запобігають корозії, а саме:

- Хромати цинку є анодними інгібіторами.
- Хромати цинку покращують антикорозійний захист існуючої оксидної плівки.
- Осаджені хроматами цинку солі заліза містять захисну суміш оксидів заліза і хрому.

Цинку тетраоксихромат

Тетраоксихромат цинку, який часто називають основним хроматом цинку, зазвичай використовується у виробництві двокомпонентних полі(вінілбутирил) (PVB) промивних праймерів, які складаються з фосфорної кислоти та тетраоксихромату цинку, диспергованих у спиртовому розчині. Ці ґрунтовки, які також називають травильними ґрунтовками або зв'язуючими покриттями, використовуються для пасивування сталевих, оцинкованих та алюмінієвих поверхонь, покращуючи адгезію фінішних покриттів. Оскільки вони зазвичай мають низький вміст твердих частинок і наносяться з досить малою товщиною плівки, ці промивні праймери мають дуже погану покриваючу здатність.

Хромат стронцію

Хромат стронцію в основному використовується для запобігання корозії алюмінію, а ґрунтовки, що містять цей пігмент, є стандартними для авіаційної промисловості. Хромат стронцію настільки ефективний при низьких навантаженнях, що його часто використовують для інгібування покриттів рулона, незважаючи на те, що він є найдорожчим інгібітором хромату. Пігмент іноді поєднується з хроматом цинку в складах на водній основі. У цих випадках, щоб уникнути проблем зі стабільністю, навантаження зберігаються на низьких рівнях, близько 2% загального хромату.

Інші інгібітори хромату

Хромат барію, хромат кальцію та дихромат амонію також використовуються для боротьби з корозією та швидкою іржею, але їх використання дуже обмежене і не заслуговує на подальше обговорення тут.

Модифіковані фосфати цинку [26]

Промисловість покриттів випустила кілька варіантів фосфату цинку, які використовують інші неорганічні інгібітори та органічну обробку поверхні для покращення ефективності пігменту при тестуванні в сольовому тумані. Універсальність складу та рекомендовані рівні завантаження цих модифікованих версій фосфату цинку приблизно такі ж, як у стандартного немодифікованого фосфату цинку. Незважаючи на те, що модифіковані фосфати цинку, здається, забезпечують покращену продуктивність у прискорених тестах, існує мало доказів, які підтверджують ці твердження в реальних комерційних застосуваннях. Модифіковані версії фосфату цинку включають:

- Алюміній цинк фосфат - вищий вміст фосфату та розчинність цього співосадженого фосфату алюмінію та цинку сприяють його посиленому інгібуванню корозії.
- Основний гідрат фосфату цинку - органічна обробка поверхні (яка вважається електрохімічно ефективним інгібітором) покращує ефективність цього пігменту.
- Основний цинкмолібденфосфат - це пігмент використовує низький рівень молібдату (1,5%) для посилення інгібування.
- Гідрат силікофосфату цинку - цей пігмент, здається, є складною сумішшю сульфату барію, діоксиду кремнію, оксиду магнію та біхромату натрію. Слідові кількості шестивалентного хрому можуть пояснити покращену продуктивність пігменту, але навіть ці дуже низькі рівні хромату можуть створити проблеми з утилізацією відходів.

Трифосфат алюмінію

Трифосфат алюмінію є відносно новим інгібітором, що не містить хроматів. Продукт конденсації, його часто модифікують іонами цинку або силікатом, щоб

мінімізувати його розчинність і реакційну здатність. Вважається, що інгібування є результатом здатності триполіфосфат-іонів хелатувати іони заліза, а також вищих рівнів фосфату в результаті деполімеризації триполіфосфат-іонів в ортофосфат-іони. Ці пігменти демонструють типову фосфатну ефективність відносно рівнів навантаження [27].

Оксид цинку

Дослідження показали, що оксид цинку має як пасивуючу, так і катодну інгібіторну здатність [28].

Оксид цинку, який часто використовується з більш звичайними активними інгібіторами, такими як хромат цинку та боросилікати кальцію, підвищує щільність поперечних зв'язків багатьох плівок фарби, роблячи їх твердішими. Оксид цинку також може поглинати ультрафіолетове світло, таким чином захищаючи смолу. Оскільки пігмент, як правило, має проблеми із зародженням і може спричинити крихкість плівки, слід бути обережним, використовуючи оксид цинку в інгібіторних покриттях.

1.4.3 Інноваційні комплексні добавки: структура, механізми дії

Структура антикорозійних комплексних добавок складається з базових, допоміжних і функціональних компонентів, кожен з яких виконує певну роль у забезпеченні захисту металевих поверхонь.

Базові компоненти включають інгібітори корозії, які захищають метал від корозійного впливу, створюючи захисний шар або пригнічуючи електрохімічні реакції. Серед них виділяють аніонні інгібітори, такі як фосфати та молібдати, катіонні інгібітори, до яких належать аміни, а також органічні інгібітори, наприклад, бензотриазоли та стеарати. Ще одним важливим елементом є антикорозійні пігменти, які виконують як захисну, так і декоративну функцію, наприклад, цинк-фосфат або оксиди металів.

Допоміжні компоненти спрямовані на покращення загальних властивостей покриття. Гідрофобізатори, такі як силіконові полімери та фторвмісні сполуки,

запобігають проникненню вологи. Наповнювачі, зокрема слюда та тальк, підвищують механічну міцність і створюють бар'єрні шари. Інкапсульовані добавки, що містять мікрокапсули, вивільняють активні інгібітори у разі пошкодження покриття, забезпечуючи його самовідновлення.

Функціональні добавки додають спеціальні властивості антикорозійним матеріалам. Антиоксиданти запобігають окисненню металів, електропровідні добавки сприяють анодному або катодному захисту, а антибактеріальні компоненти зменшують біокорозію, викликану мікроорганізмами.

Така комплексна структура забезпечує надійний і довготривалий захист металів від корозії навіть у найскладніших умовах експлуатації.

1.5 Особливості антикорозійних добавок для водно-дисперсійних лакофарбових матеріалів

Традиційна хімія покриттів на основі розчинників зазвичай не потребувала вирішення питання швидкої появи іржі, оскільки розчинники створювали бар'єр для проникнення води та кисню. Однак у випадку сучасних покриттів на водній основі проблема миттєвої корозії стала критично важливим аспектом, який необхідно враховувати при їх розробці. Це пов'язано з тим, що водно-дисперсійні фарби містять в своєму складі воду, яка при наявності кисню спричиняє процеси окиснення підкладки металу, до того як покриття висохне.

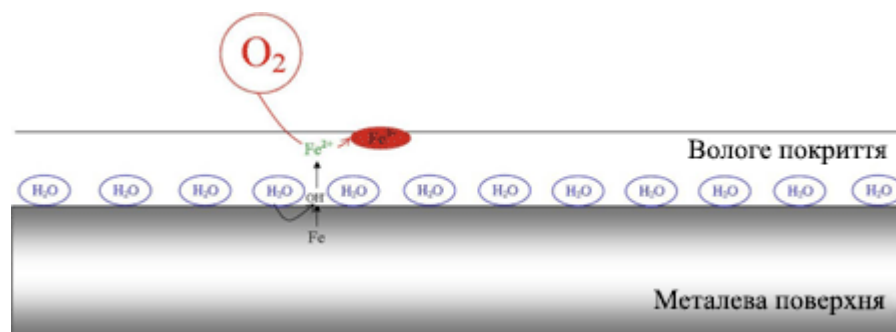


Рисунок 4 – Схема процесу корозії у вологому покритті

Оскільки фарба на водній основі сама по собі є провідником, між різними ділянками з різницею потенціалів утворюється канал міграції заряду, так що в

процесі плівкоутворення водо-дисперсійної фарби протягом короткого проміжку часу відбувається корозія, що призводить до утворення іржі. Очевидно, що чим довше сохне плівка мокрої фарби, тим більше стає осередок іржі, що може пояснити причину, чому явище спалаху іржі є більш серйозним в умовах низької температури і високої вологості.



Рисунок 5 – Утворення миттєвої корозії

Інгібітори миттєвої корозії для лакофарбових матеріалів (ЛФМ) — це спеціалізовані добавки, які застосовуються для захисту металевих поверхонь від корозії. Вони забезпечують ефективний захист одразу після нанесення ЛФМ і до повного затвердіння покриття. Такі інгібітори особливо важливі у випадках, коли є ризик підвищеної вологості, впливу хімічних агентів або електрохімічної корозії. Вони діють, утворюючи тимчасовий бар'єр на поверхні металу, який запобігає потраплянню води на метал і спричиняє швидке іржавіння.

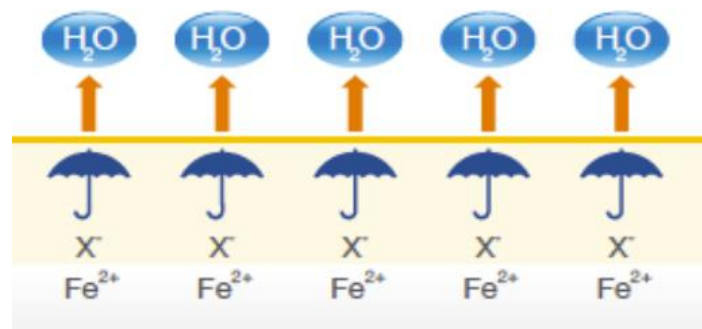


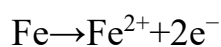
Рисунок 6 – Схема роботи інгібіторів миттєвої корозії

Вимоги до інгібіторів миттєвої корозії включають сумісність з лакофарбовою системою, відсутність негативного впливу на властивості ЛФМ, такі як адгезія, колір або текстура, ефективність у тонких шарах покриття, а також екологічну безпечність та відповідність стандартам. Сучасні тренди зосереджуються на розробці екологічно чистих інгібіторів на основі органічних сполук, які не містять важких металів, використанні наноматеріалів, що забезпечують кращий захист завдяки високій реактивності, а також створенні багатофункціональних добавок, які поєднують антикорозійні, антибактеріальні та гідрофобні властивості. Для вибору оптимального інгібітора корозії необхідно враховувати тип металу, умови експлуатації та вимоги до покриття.

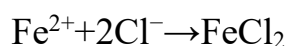
1.6 Вплив сольового середовища на хімічні властивості покриття

Сольове середовище суттєво впливає на хімічні властивості лакофарбових покриттів, особливо в умовах морського клімату або в промислових зонах, де на поверхню активно діють іони хлоридів, сульфатів або інших солей. Проникнення іонів через пори чи мікротріщини покриття може призводити до прискорення корозійних процесів і деградації захисного шару, впливаючи на його механічні та бар'єрні властивості.

Основним ефектом сольового середовища є проникнення хлоридів. Іони Cl^- , що мають високу активність, здатні дифундувати через покриття, досягаючи металевої основи. Це сприяє активації анодних процесів корозії, наприклад:



При цьому у присутності Cl^- утворюються комплексні сполуки, які руйнують оксидний шар:



Таке руйнування оксидного шару послаблює захист металевої основи, сприяючи прогресуванню корозії.

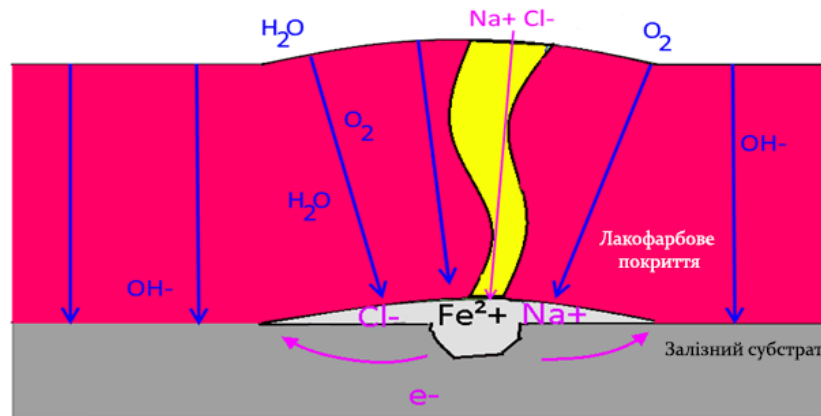
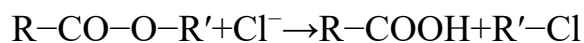


Рисунок 7 – Схема процесу корозії під покриттям

Крім того, сольове середовище спричиняє ослаблення адгезії. Вода та солі, що накопичуються під покриттям, створюють осмотичний тиск, який призводить до утворення пухирців і відшарування шару покриття. Це значно знижує ефективність захисту від вологи та кисню.

Хімічна деградація полімерів є ще одним важливим наслідком дії сольового середовища. У деяких випадках іони солей можуть каталізувати розрив хімічних зв'язків у полімерній матриці покриття, особливо при дії ультрафіолетового випромінювання або високих температур. Наприклад, у поліефірних покриттях можуть відбуватися такі реакції:



Це призводить до втрати еластичності, механічної міцності та бар'єрних властивостей покриття.

Сольове середовище також сприяє зниженню бар'єрних властивостей покриттів, оскільки волога з розчиненими солями може проникати через мікропори, створюючи шляхи для дифузії кисню та корозійних агентів до металевої основи. Усе це в комплексі значно прискорює деградацію покриттів та скорочує термін їхньої служби.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дослідження складу та механізму дії антикорозійних добавок в водно-дисперсійні акрилові емалі

Незахищена сталь піддається корозії в умовах атмосфери, води та ґрунту, що може призвести до її пошкодження. Тому для запобігання корозійному руйнуванню сталеві конструкції зазвичай покривають захисними шарами, які забезпечують їх стійкість до корозії протягом встановленого терміну експлуатації. Одним із найбільш ефективних і практичних способів захисту металів є використання антикорозійних покриттів, що здобуває все більшу популярність [29]. Важливим завданням є розробка покриттів, які поєднують корозійну стійкість, твердість, зносостійкість і каталітичну активність, оскільки саме такі матеріали стали основою розвитку новітніх технологій у різних галузях [30].

Антикорозійні добавки для водно-дисперсійних акрилових емалей відіграють важливу роль у захисті металевих поверхонь від корозії та збільшенні терміну служби покриттів. Для поліпшення антикорозійних властивостей лакофарбових покриттів часто використовуються такі добавки як фосфати цинку, модифіковані силікати, інгібітори корозії на основі оксидів металів, органічні інгібітори корозії, нано-оксиди металів, полімерні добавки, пасиватори металу. Кожна з цих добавок може бути використана для конкретних умов експлуатації акрилових емалей, залежно від типу металу, агресивності середовища та вимог до довговічності покриття.

Нами було проведене дослідження ефективності антикорозійних добавок в водно-дисперсійній акриловій емалі. У дослідженні були використані наступні функціональні добавки - фосфат цинку «Неусорос» та рідкий інгібітор корозії «ASCONIUM». Для порівняння третім зразком була взята емаль без додавання антикорозійних добавок.

Фосфат цинку - широко застосовується як антикорозійна добавка в лакофарбових покриттях для захисту металевих поверхонь. Фосфат цинку утворює на поверхні металу пасивний шар, який запобігає контакту з корозійно-активними речовинами, такими як кисень і вода. Він ефективний у захисті металів в умовах підвищеної вологості та агресивних хімічних впливів. На відміну від інших пігментів, таких як хромати, фосфат цинку вважається більш екологічно безпечним.

«ASCONIUM» - це вдосконалений рідкий інгібітор корозії, розроблений для використання в покриттях на основі води та розчинників, особливо в системах прямого контакту з металом. Він дуже ефективний у забезпеченні тривалого захисту від корозії, а також покращує адгезію, водонепроникність і зменшує утворення пухирів на плівці. ASCONIUM дозволяє отримати лакофарбові покриття, які відповідають вимогам класу корозійної стійкості C5 [29], що робить його ідеальним для суворих умов. Крім того, це допомагає покриттям зберігати високий блиск і дозволяє фарбувати без шкоди для продуктивності.

На відміну від фосфату цинку, який утворює пасивний шар за допомогою хімічних процесів, ASCONIUM адсорбується на поверхні металу, утворюючи захисний шар. Цей шар ізолює метал від агресивних речовин, таких як вода, кисень або хлориди, які спричиняють корозію. Це зменшує кількість активних центрів на поверхні, де може початися корозія.

Для оцінки ефективності інноваційного органічного інгібітора корозії ASCONIUM було проведено дослідження якісних та кількісних характеристик інтерфейсу добавки. Фізико-хімічні властивості морфології та елементного складу зразків досліджували за допомогою *методів скануючої електронної мікроскопії (SEM) і енергодисперсійного рентгенівського аналізу (EDX)*.

Скануюча електронна мікроскопія (SEM) — це метод дослідження структури поверхні мікрооб'єктів через аналіз електронного зображення. Завдяки цьому методу можна отримати високоякісні зображення поверхні зразків з

роздільною здатністю до кількох нанометрів. Зображення, що генеруються за допомогою скануючого електронного мікроскопа, мають тривимірний вигляд і використовуються для дослідження таких характеристик поверхні, як форма, глибина, кількість нанопор та їхня відносна площа. Для цих досліджень застосовувався скануючий електронний мікроскоп SEO-SEM Inspect S50-B (рис. 8).

Цей пристрій призначений для вимірювання лінійних параметрів, форми, орієнтації та інших характеристик наноструктур, а також для аналізу мікроскульптури поверхні різних об'єктів. Він дозволяє досліджувати нанорозмірні властивості металів і сплавів, процеси окиснення та корозії, зварювання, полірування, а також аналізувати магнітні й надпровідні матеріали, кераміку, композити та полімери. Пристрій також ефективно застосовується для дослідження геологічних профілів, мінералів, а також м'яких матеріалів, таких як полімери, фармацевтичні препарати, фільтри, гелі, тканини та рослинні матеріали. Крім того, він дозволяє проводити елементний аналіз зразків за допомогою енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX).



Рисунок 8 – Скануючий електронний мікроскоп SEO-SEM Inspect S50-B

Особливості скануючого електронного мікроскопа SEO-SEM Inspect S50-B:

- Оснащений енергодисперсійним спектрометром AZtecOne із детектором X-MaxN20 від Oxford Instruments plc.
- Використовує вольфрамовий термоіонний катод як джерело електронів.
- Містить систему електромагнітного регулювання отвору променя, що виключає необхідність у встановленні механічних діафрагм.
- Підтримує автоматичне налаштування оптимального струму для катодного нагрівача та автоматичне фокусування електронної гармати.
- Оснащений восьмиполюсним електромагнітним стигматором із функцією запам'ятовування параметрів для роботи при різних рівнях збільшення та прискорювальних напругах.
- Має електромагнітну систему позиціонування колони.
- Передбачає автоматичне регулювання струму електромагнітних лінз і електрооптичної системи з можливістю ручного налаштування.

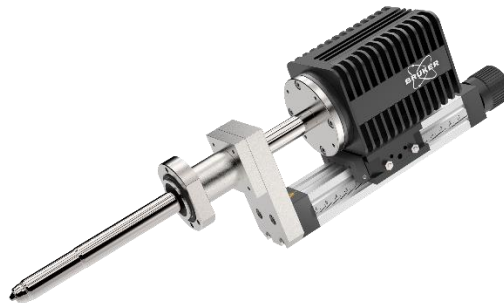


Рисунок 9 – Енергодисперсійний спектрометр EDS

Цей детектор використовується для визначення елементного складу мікрочастинок та частинок. Межа виявлення детектора EDS становить менше ніж 0,1 мас. %, зокрема для азоту – близько 0,1 мас. %, а для кобальту – від 0,03 до 0,05 мас. %. Існують методи, які дозволяють досягати більш тонких меж виявлення, ніж детектори EDS, проте вони зазвичай надають середні значення складу зразка. У свою чергу, детектори EDS здійснюють локальний аналіз складу, визначаючи індивідуальний вміст кожного мікроелемента, що часто є

важливішим за точність загального аналізу. Крім того, цей метод не потребує використання реагентів [31].

2.2 Дослідження фізико-хімічних властивостей антикорозійних покриттів

Вибір лакофарбової системи для конкретних умов зазвичай ґрунтується на досвіді її використання в подібних ситуаціях. Це зумовлено тим, що довговічність фарбувальної системи залежить від низки зовнішніх чинників, таких як навколишнє середовище, тип конструкції, підготовка поверхні, а також методи нанесення і сушіння. Безумовно, на довговічність також впливають хімічні та фізичні властивості системи, наприклад, тип плівкоутворюючої речовини та товщина сухої плівки. Вплив цих характеристик на довговічність можна оцінити за допомогою тестів штучного старіння. Особливу увагу слід звернути на стійкість до води або вологи, а також до сольового туману, оскільки це вказує на вологу адгезію і бар'єрні властивості. Тести на старіння та довговічність, що описані тут і в подальших розділах, були обрані для того, щоб з високою ймовірністю підтвердити, що лакофарбові системи мають необхідні характеристики для забезпечення бажаної довговічності у передбачуваному застосуванні. Однак, результати тестів на штучне старіння не завжди відображають природний вплив і повинні використовуватися з обережністю [29].

2.2.1 Визначення стійкості до дії вологи

Визначення стійкості до дії вологи відповідає ДСТУ ISO 6270-1 [32]. Цей метод має на меті надати узгоджені умови та процедури для кондиціонування попередньо підготовлених зразків для випробувань, які мають бути оцінені на наявність дефектів, що можуть виникнути під час перебування у вологому середовищі, наприклад, в атмосфері постійного конденсату і води або в атмосфері конденсату і води, що змінюється.

Випробування призначені для з'ясування поведінки зразків у вологому середовищі та виявлення будь-яких дефектів у захисті зразків від корозії. Після кондиціонування зразки оцінюють або відповідно до узгоджених документів, таких як відповідні частини ДСТУ ISO 4628.

Метод застосовується до покриттів як на пористих основах, таких як дерево, штукатурка і гіпсокартон, так і на непористих основах, таких як метал. Він дає уявлення про експлуатаційні характеристики, які можуть бути отримані за суворих умов впливу, коли на поверхні відбувається безперервна конденсація вологи. Процедура може виявити дефекти покриття (включаючи утворення пухирів, плям, розм'якшення, зморшкуватість і крихкість) і погіршення стану основи.

Конструкція приладу:

- Пристрій повинен бути виготовлений з хімічно стійких матеріалів і складатися, головним чином, з водяної бані з електричним нагріванням, сконструйованої таким чином, щоб кришку утворювали холості зразки або випробовувані зразки, верхні поверхні яких піддаються впливу навколишнього середовища, таким чином, щоб зазори були зведені до мінімуму і на внутрішній поверхні випробовуваних зразків утворювалася конденсація.
- Верхня частина ванни повинна бути сконструйована таким чином, щоб випробовувані зразки утримувалися під бажаним кутом (60 ± 5)° до горизонталі для забезпечення стікання сконденсованої води, а також таким чином, щоб вода, яка стікає з одного зразка, не контактувала з іншим зразком. У будь-якому разі кут нахилу зразків до горизонталі має становити від 15° до 75°.
- Відповідні інертні холості зразки повинні бути надані для використання при налаштуванні приладу, якщо кількість зразків для випробування недостатня для формування повного покриття.
- Бокові стінки водяної бані повинні бути належним чином ізольовані для забезпечення того, щоб температура в повітряному просторі над водою, виміряна приблизно на 25 мм нижче випробовуваних зразків, підтримувалася на рівні ($38 \pm$

2)°C, якщо не зазначено інше. Якщо температура $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$ є занадто низькою, рекомендується підтримувати температуру $(49 \pm 2)^\circ\text{C}$ і $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$.

– Вода повинна підтримуватися на постійному рівні за допомогою автоматичного контрольного пристрою. Якщо пристрій не регулює рівень води автоматично, регулюйте рівень води шляхом регулярного додавання води.

Приклад кліматичної камери показаний на малюнку.

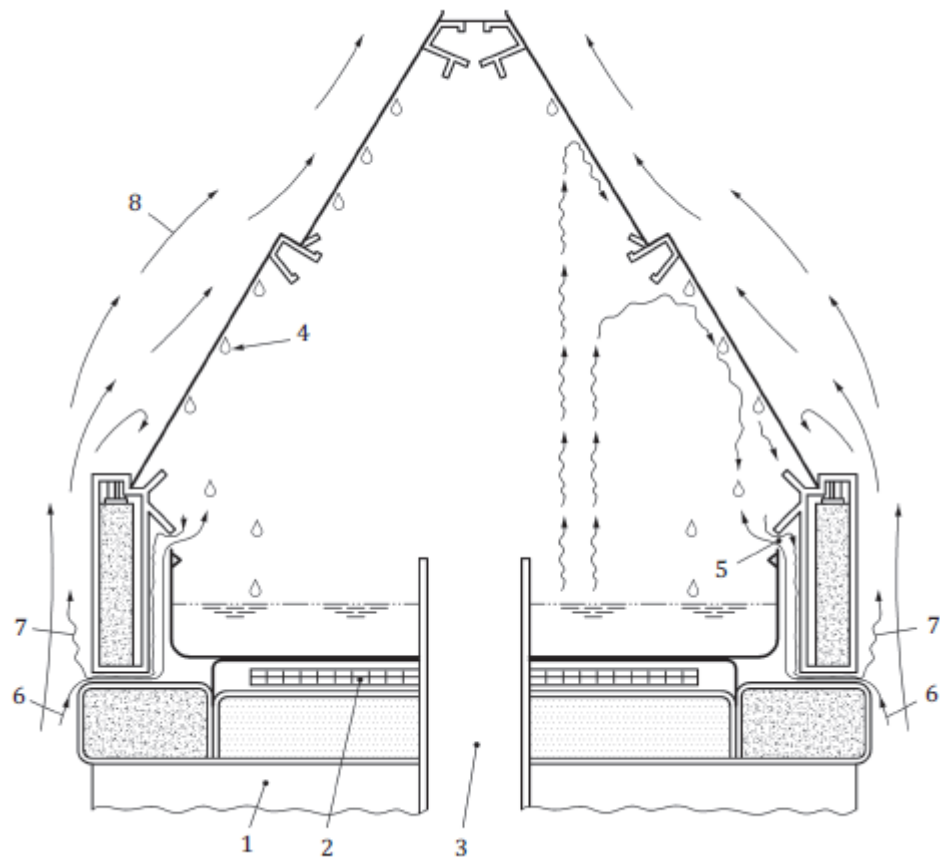


Рисунок 10 – Схема кліматичної камери: 1. Підставка; 2. Обігрівач; 3. Осушувальний повітропровід; 4. Конденсаційна волога; 5. Канал дифузії вологи; 6. Впуск повітря; 7. Вивід вологи; 8. Конвекційні течії

Оцінювання кількості та розмірів дефектів:

Кількість дефектів і середній їх розмір, що проявляються у вигляді неоднорідностей або інших вад, розподілених по досліджуваній ділянці покриття з більш-менш однорідною структурою, оцінюють відповідно до таблиці.

Таблиця 1 – Шкала оцінювання кількості та розмірів дефектів

Ступінь	Кількість дефектів	Розмір дефекту
0	відсутність, тобто немає видимих дефектів	невидимі при 10-кратному збільшенні
1	дуже мала, тобто несуттєва кількість дефектів	видимі тільки при збільшенні до x10
2	мала, але суттєва кількість дефектів	ледве видимі неозброєним оком (до 0,2 мм)
3	помірна кількість дефектів	чітко видимі неозброєним оком (від 0,2 до 0,5 мм)
4	значна кількість дефектів	від 0,5 до 5 мм
5	щільне розташування дефектів	більш ніж 5 мм

Тип дефекту, його кількість та розмір (таблиця 1) подають у такому вигляді:

- утворення пухирів: ступінь 2(S2), що відповідає кількості 2 і розміру 2;
- лушення: ступінь 3(S2), що відповідає кількості 3 і розміру 2.

2.2.2 Випробування на ударну міцність

Випробування на ударну міцність згідно ДСТУ ISO 6272-2 [33] описує метод оцінювання стійкості сухої плівки фарби до розтріскування або відшаровування від основи, коли вона піддається деформації, спричиненій падінням вагою, що падає за стандартних умов і діє на сферичний індентор невеликої площі.

Конструкція приладу:

- Апарат з падаючим вантажем (рисунок 11), що складається в основному з вертикальної трубки, яка направляє циліндричний циліндричного вантажу, який падає на індентор, що лежить на випробувальній панелі.
- Направляюча трубка, довжиною від 0,6 м до 1,2 м, встановлена вертикально на опорній плиті.

- Вантаж, що складається з металевого циліндра, який вставляється всередину направляючої трубки. З одного боку вантажу вмонтовано штифт, який слугує ручкою, за допомогою якої гирю можна піднімати і опускати. Маса гирі становить $(1\ 000 \pm 10)$ г або $(2\ 000 \pm 20)$ г.
- Індентор, виготовлений із загартованої сталі (від 55 HRC до 60 HRC), масою (150 ± 15) г і з напівсферичною головкою діаметром $(12,7 \pm 0,06)$ мм або $(15,9 \pm 0,06)$ мм. Головка спирається на індентор утримується вертикально за допомогою направляючого кільця.
- Панельна опора, що складається зі сталевого пристосування з циліндричним отвором діаметром $(16,3 \pm 0,1)$ мм, розташованим по центру під індентором для підтримки випробувальної панелі.
- Оглядова лінза зі збільшенням $\times 10$.

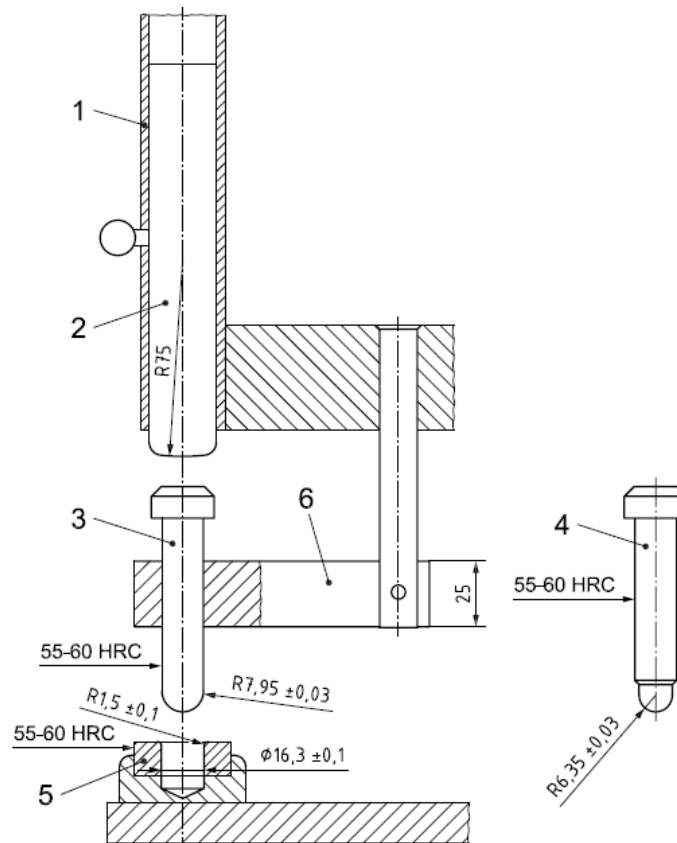


Рисунок 11 – Пристрій падаючого вантажу із зазначенням необхідних розмірів:

1. Напрямна трубка; 2. Вага; 3. Індентор, діаметр головки 15,9 мм; 4. Індентор, діаметр носа 12,7 мм; 5. Опора панелі; 6. Направляюче кільце

2.2.3 Оцінювання адгезії покриття

Метод оцінювання адгезії покриття до підкладки за ДСТУ ISO 2409 [34] - це простий і швидкий спосіб визначення якості адгезії покриттів, який широко застосовується у промисловості. Покриття має бути повністю висохлим або затверділим відповідно до специфікацій, а зразок повинен бути рівним і чистим. Для оцінки адгезії на поверхню зразка наноситься серія паралельних надрізів та адгезивна стрічка, яку потім швидко видаляють, залежно від типу покриття і вимог випробування.

Відстань між надрізами в кожному напрямку повинна бути однаковою і залежати від товщини покриття і від типу основи наступним чином:

- до 60 мкм: відстань 1 мм, для твердих (наприклад, металевих і пластмасових) підкладок;
- до 60 мкм: крок 2 мм, для м'яких (наприклад, дерево та штукатурка) основ;
- від 61 мкм до 120 мкм: крок 2 мм для твердих і м'яких основ;
- від 121 мкм до 250 мкм: 3 мм для твердих і м'яких основ.

Тест на поперечний зріз не підходить для покриттів загальною товщиною понад 250 мкм.

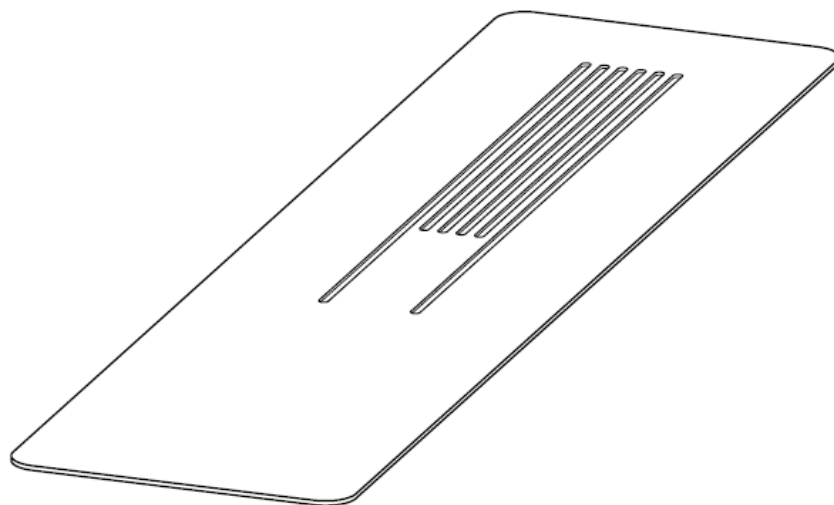


Рисунок 12 – Схематичне зображення направляючого шаблону

Оцінюють адгезію у балах відповідно до таблиці, порівнюючи її з ілюстраціями. У таблиці в додатку А наведено класифікацію, що складається з шести балів. Перші три є задовільними для загальних цілей. Можуть виникнути особливі обставини, в яких випадку буде необхідна повна шестиступенева класифікація.

2.3 Оцінка антикорозійних властивостей покриттів

2.3.1 Методика випробувань у камері сольового туману

Випробування сольовим туманом є одним з найпоширеніших методів прискорених тестів на корозію. Цей метод передбачає вплив агресивного корозійного середовища на металеві та неметалеві матеріали протягом тривалого часу для оцінки їх стійкості до корозії в спеціальній камері сольового туману. Типова камера для таких випробувань (рис. 13) оснащена баштою для насичення повітря, що стабілізує концентрацію солі, резервуаром для розчину, розпилювальною форсункою для створення туману, механізмами для утримання зразків, системою рівномірного розподілу тепла всередині камери та регулятором температури [35].

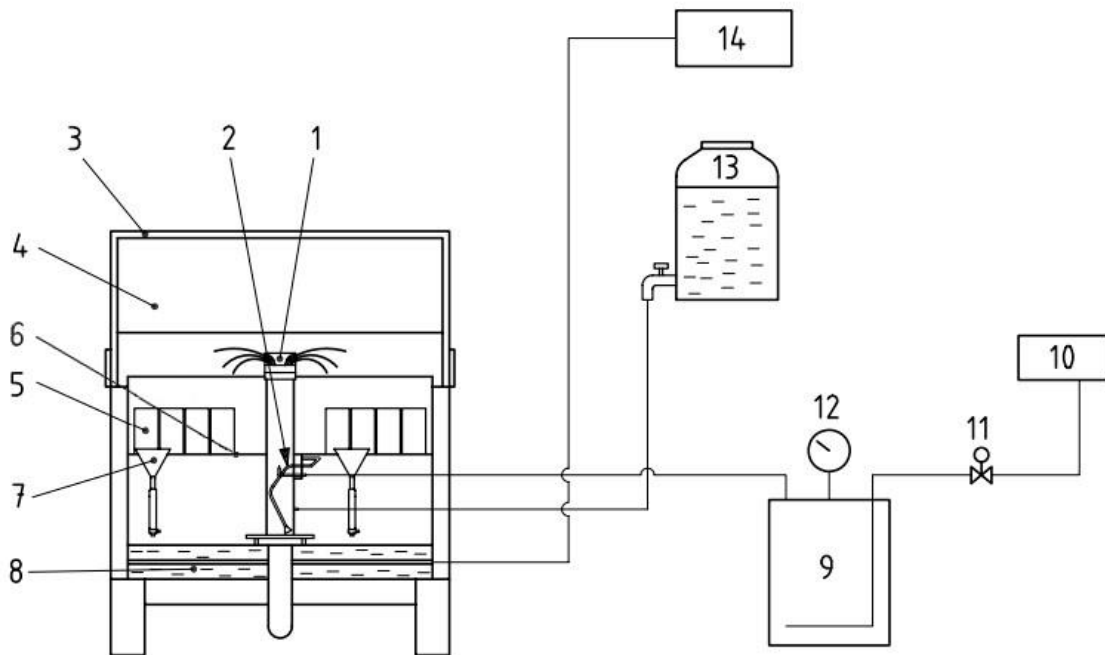


Рисунок 13 – Схема камери сольового туману BGD 881/S (Вид спереду):

1. Вежа розсіювання туману, 2. Розпилювач, 3. Кришка, 4. Випробувальна камера, 5. Дослідний зразок, 6. Опора для тестових зразків, 7. Туманозбірник, 8. Камера, 9. Зволожувач повітря, 10. Повітряний компресор, 11. Електромагнітний клапан, 12. Манометр, 13. Резервуар для розчину, 14. Регулятори температури

Випробування сольовим туманом — це метод прискореного тестування на корозію, який імітує корозійні умови для зразків з покриттям, з метою оцінки їх придатності для експлуатації в агресивних середовищах. Протягом випробування аналізується поява корозійних продуктів (оксидів), що відбувається через певний час. Тривалість випробування залежить від корозійної стійкості покриття: чим більше покриття стійке до корозії, тим довший період випробування без появи ознак корозії [36].

Установка для випробувань складається з закритої камери, де за допомогою спеціальної насадки розпилюється сольовий розчин (5% розчин хлориду натрію). Це створює середовище щільного сольового туману в камері, що забезпечує інтенсивні корозійні умови для зразків. Тривалість тесту може варіюватися від кількох годин до кількох тижнів чи місяців, залежно від стандартів і вимог.

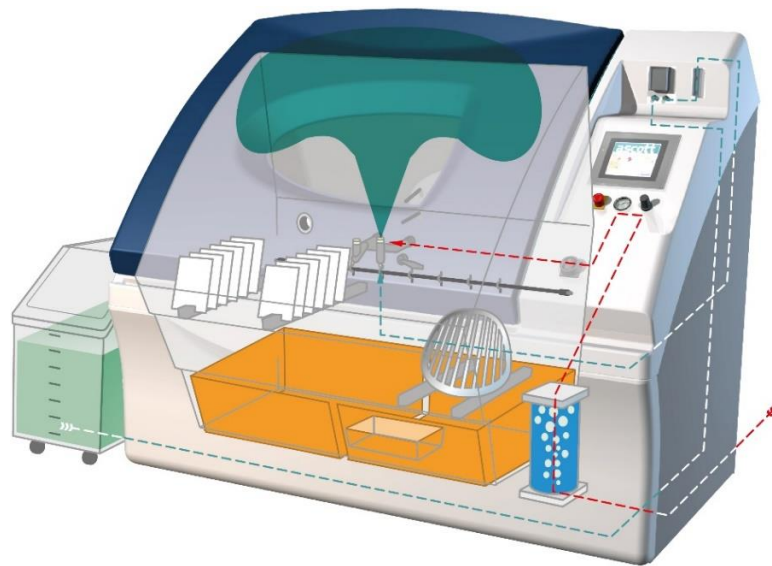


Рисунок 14 – Схематичне зображення камери сольового туману

Процедура кліматичного тестування в установках сольового туману здійснюється двома способами [37]:

- Безперервне розпилення концентрованого розчину;
- Циклічна дія на об'єкт.

Тестування циклічного типу включає такі етапи:

1. Створення сольового туману – стандартна фаза передбачає розпилення дрібних частинок сольового розчину, які потрапляють на досліджуваний матеріал;
2. Висушування - проводиться сушіння матеріалу при заданих параметрах вологості та температури;
3. Формування конденсату – процедура характеризується підвищенням параметрів вологи у робочому середовищі до 100%, оскільки осідання конденсату забезпечує сприятливі умови у розвиток корозійних процесів;
4. Регулювання показників вологості передбачають встановлення та стабільну підтримку необхідних показників вологості та температури.

Модифікації кліматичного обладнання включають установки для короткострокових випробувань (до 10 днів) та довгострокового тестування, тривалість якого перевищує 240 годин. Пристрої оснащуються контролерами,

призначеними для фіксації стану зразків, та звуковими індикаторами, що сповіщають оператора обладнання про зміни структури матеріалу.

2.3.2 Інтерпретація результатів тестування

Для оцінки ефективності антикорозійного захисту лакофарбового покриття були використанні наступні параметри оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів:

1. Оцінювання ступеня утворення пухирів за ДСТУ ISO 4628-2 [38]

Кількість та розмір пухирів лакофарбових покриттів оцінюють використовуючи графічні стандарти, які наведені на рисунках 1-4 у додатку Б.

Якщо оцінювана площа має пухирі різних розмірів, то оцінювання розміру здійснюють для пухирів, які є типовими для оцінюваної ділянки.

2. Оцінювання ступеня іржавіння за ДСТУ ISO 4628-3 [39]

Ступінь іржавіння в покритті (R_i) оцінюють з використанням графічних стандартів, які наведено на рисунках 1-5. В додатку В наведена відповідність площі пошкодженої ділянки (внаслідок видимої наскрізної та підплівкової корозії) графічним стандартам. Якщо необхідно, порядок оцінювання невидимого іржавіння під покриттям узгоджують між зацікавленими сторонами.

Якщо на різних частинах оцінюваної ділянки спостерігаються різні ступені іржавіння, ці ступені повинні бути вказані із зазначенням частини ділянки, на якій вони виявлені.

3. Оцінювання ступеня відшарування та корозії навколо надрізу або іншого штучного дефекту за ДСТУ ISO 4628-8 [40], додаток Г.

Відшарування навколо надрізу або іншого штучного дефекту оцінюють або безпосередньо після закінчення терміну випробування; або негайно після виїмки випробувальної пластини із попереднього середовища, де відбувалось кондиціонування; або після кондиціонування протягом зазначеного терміну.

Корозію навколо надрізу або іншого штучного дефекту оцінюють або негайно після виїмки випробувальної пластини із попереднього середовища, де відбувалось кондиціонування, або після видалення покриття.

Як ступінь відшарування, так і ступінь корозії визначають вимірюванням і розрахунком.

4. Оцінювання адгезії покриття до підкладки до та після випробування за ДСТУ ISO 2409 [34]

Таблиця 2 – Оцінка після штучного старіння протягом заданого часу (ДСТУ ISO 12944-6) [29]

Методи оцінки	Вимоги	Час оцінки
ДСТУ ISO 4628-2, утворення пухирів	0 (S0)	Негайно
ДСТУ ISO 4628-3, ступінь іржавіння	Ri 0	Негайно
ДСТУ ISO 4628-8, корозія від надрізу після сольового тесту	Макс. 1,5 мм корозії від надрізу як середнє значення	Якомога швидше, але протягом 8 годин після закінчення тесту
ДСТУ ISO 2409, випробування методом решітчастих надрізів	Класифікація від 0 до 2	Оцінка після 7 днів в стандартній атмосфері, як визначено в ДСТУ ISO 3270

Будь-який дефект, що виникає в межах 1 см від країв випробовуваних пластин, не береться до уваги.

Вважається, що покриття витримало випробування сольовим туманом, якщо результати оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів досліджуваних зразків відповідають вимогам за ДСТУ ISO 12944-6. Після визначення відповідності оцінок, кожному зразку покриття надається клас довговічності. Якщо руйнування не відповідають вимогам, покриттю присвоюється нижчий клас довговічності, для відповідного періоду випробування [23]

Таблиця 3 – Процедури випробувань для лакофарбових систем, що застосовуються до вуглецевої сталі, гарячої оцинкованої сталі або сталі з металевим покриттям з термічним напиленням для категорій атмосферної корозії [29]

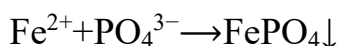
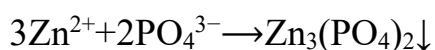
Корозійна категорія у відповідності до ДСТУ ISO 12944-2	Довговічність у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1	Випробувальний режим	
		ДСТУ ISO 6270-1 (конденсія, вода), год	ДСТУ ISO 9227 (нейтральний сольовий туман), год
C2	низький	48	-
	середній	48	-
	високий	120	-
	дуже високий	240	480
C3	низький	48	120
	середній	120	240
	високий	240	480
	дуже високий	480	720
C4	низький	120	240
	середній	240	480
	високий	480	720
	дуже високий	720	1440
C5	низький	240	480
	середній	480	720
	високий	720	1440
	дуже високий	-	-

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АНТИКОРОЗІЙНИХ ДОБАВОК У ВОДНО-ДИСПЕРСІЙНИХ АКРИЛОВИХ ЕМАЛЯХ

3.1 Аналіз структури та складу досліджуваних антикорозійних добавок

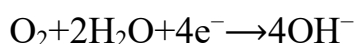
Для визначення ефективності антикорозійних добавок нами були дослідженні традиційна добавка – Фосфат Цинку «Neucoros» та інноваційний рідкий інгібітор корозії «ASCONIUM».

Фосфат цинку ($Zn_3(PO_4)_2$) є одним із найефективніших антикорозійних пігментів, який забезпечує комплексний захист металів від корозії завдяки кільком механізмам. Його дія характеризується пасивацією металевої поверхні. Фосфат цинку реагує з іонами металу, які утворюються внаслідок корозійних процесів, наприклад, з іонами Fe^{2+} , утворюючи нерозчинні сполуки, такі як фосфат заліза $FePO_4$. Ці сполуки формують щільний захисний шар, що ізолює метал від зовнішнього середовища. Реакції на поверхні включають:

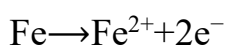


Цей шар хімічно інертний і механічно стійкий, що уповільнює подальше окиснення металу.

Додатково, часткове розчинення фосфату цинку у вологих умовах призводить до виділення іонів PO_4^{3-} , які підтримують нейтральний або слабо лужний рН на поверхні металу. Це знижує активність анодних і катодних процесів корозії. Зокрема, катодна реакція у присутності води та кисню виглядає так:



А анодна реакція:



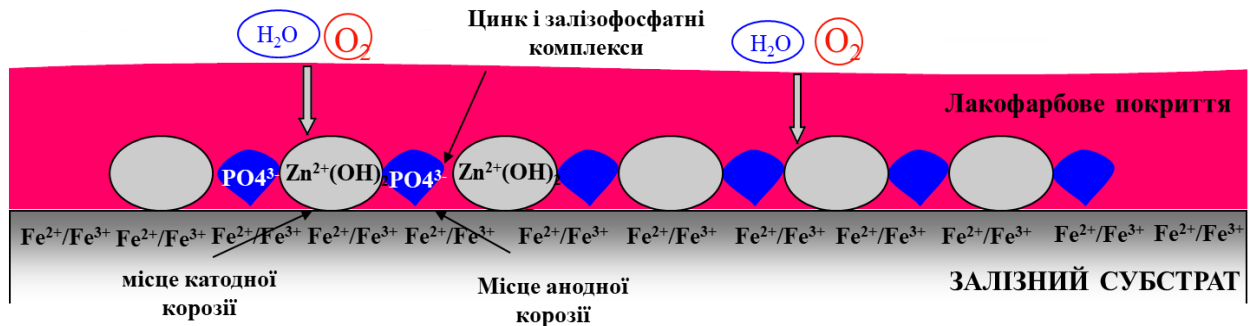


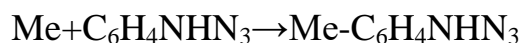
Рисунок 15 – схема утворення пасивуючого шару фосфатом цинку

Іони цинку Zn^{2+} , які також вивільняються в процесі, інгібують корозійні реакції, взаємодіючи з катодними зонами металу та зменшуючи їх активність. Одночасно вони пригнічують розчинення анодних зон, стабілізуючи покриття.

Отже, фосфат цинку забезпечує хімічний – відповідає за пасивацію металу та інгібування реакцій корозії. Він ефективний для різних металів і умов експлуатації, водночас залишається екологічно безпечним, на відміну від традиційних хроматних або свинцевих пігментів.

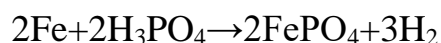
Asconium, як антикорозійна добавка для покриттів, ймовірно, містить комбінацію органічних інгібіторів корозії та координаційних сполук, які утворюють захисні шари на металі, запобігаючи його подальшому окисненню. Оскільки точний склад не розкривається, можливі компоненти можуть включати:

1. Азотовмісні гетероциклічні сполуки (наприклад, бензотриазол або толілтриазол), що мають загальну формулу $C_6H_4NHN_3$ і відомі здатністю до адсорбції на металевих поверхнях, особливо на міді та її сплавах. Взаємодія з металом описується реакцією комплексоутворення:



де Me - представляє атом металу.

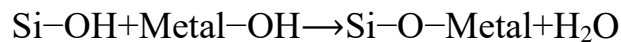
2. Органофосфати (такі як фосфорна кислота, H_3PO_4 , та її похідні) часто входять до складу для створення на поверхні металу фосфатного захисного шару. Реакція фосфорної кислоти з металом, таким як залізо, може описуватись рівнянням:



Утворений FePO_4 є нерозчинним і утворює щільний шар, що захищає від подальшої корозії.

3. Гідрофобні компоненти

Компоненти, такі як **силіконові сполуки (R_2SiO)** або **органічні воски**, формують водовідштовхувальну плівку. Силіконові агенти реагують із поверхнею металу, утворюючи захисний шар:

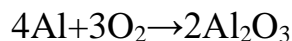


Таким чином вони забезпечують гідрофобний бар'єр, зменшуючи проникнення вологи, яка може каталізувати корозійні реакції. Вони діють за рахунок фізичного захисту, знижуючи контакт металу з водою та киснем.

4. Металеві пігменти

Металеві добавки, такі як **алюмінієві пігменти**, створюють фізичний бар'єр:

Алюмінієві пігменти утворюють захисну оксидну плівку і покращують відбивання ультрафіолету, проте їхній хімічний внесок обмежений фізичним захистом.



Ці компоненти діють синергетично, утворюючи пасивуючий шар, захисний бар'єр та інгібуючи реакції окиснення, тим самим значно сповільнюючи корозійний процес.

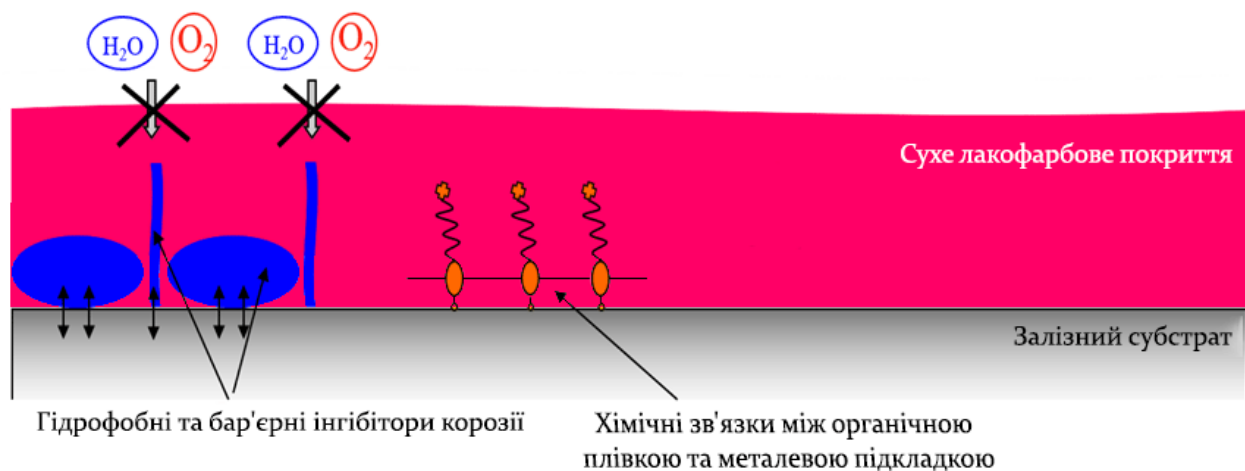


Рисунок 16 – Органічні інгібітори корозії: Технологія «Askonium»

Для перевірки цього теоретичного складу добавки «Askonium» було проведено дослідження її морфології методом скануючої електронної мікроскопії за допомогою скануючого електронного мікроскопа SEO-SEM Inspect S50-B.

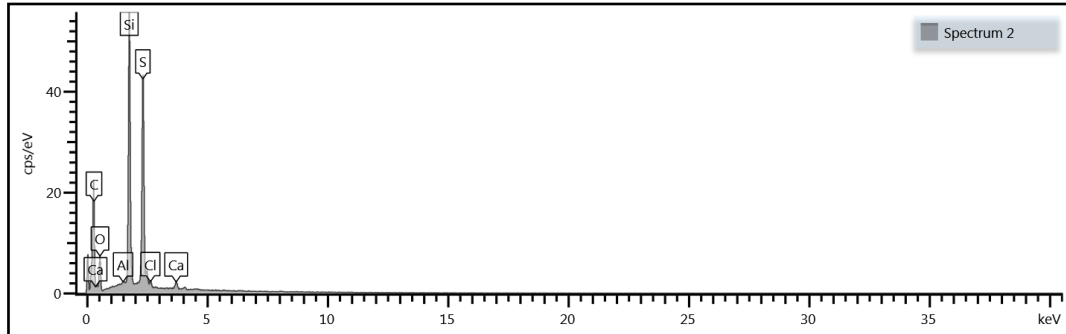


Рисунок 17.1 – Елементний склад добавки «Askonium», спектр 2:

Spectrum Label	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Total
Spectrum 2	56.56	0.22	20.51	21.27	0.73	0.70	100.00

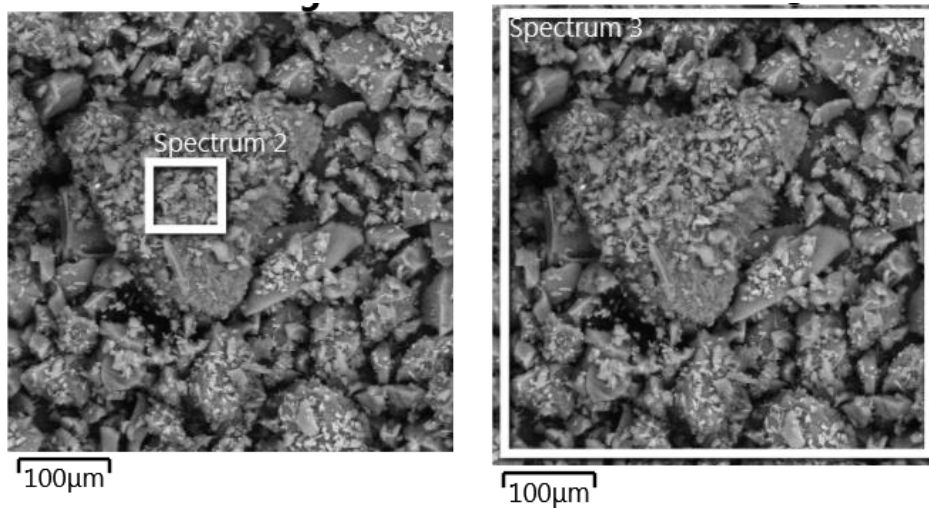


Рисунок 18 – Зображення поверхні зразка добавки «Askonium»

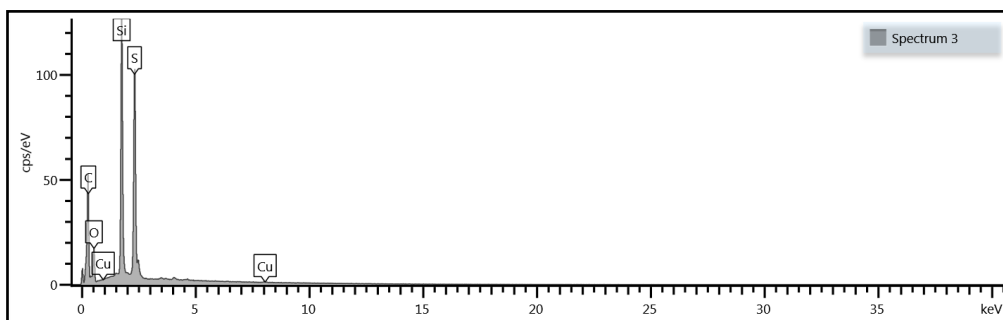


Рисунок 17.2 – Елементний склад добавки «Askonium», спектр 3:

Spectrum Label	O	Si	S	Cu	Total
Spectrum 3	55.74	21.09	23.06	0.12	100.00

Висновок:

Дослідження морфології вказує на те, що антикорозійна добавка «Askonium» дійсно може містити силіконові сполуки, в якості гідрофобних агентів та металеві пігменти, як основу захисту від корозії. А також теоретично можлива присутність таких компонентів як азотовмісні гетероциклічні сполуки, для забезпечення адгезії покриття до металу, а також органофосфати, що утворюють захисний шар безпосередньо на металі.

3.2 Вплив антикорозійних добавок на збереження фізико-хімічних властивостей покриття

На довговічність покриття впливають такі фізико-хімічні властивості, як адгезія до підкладки, яка забезпечує міцне зчеплення покриття з поверхнею матеріалу, запобігаючи відшаруванню та утворенню тріщин. Важливу роль відіграє стійкість до дії вологи, адже покриття має перешкоджати проникненню води, щоб уникнути корозії основи. Ударна міцність визначає здатність покриття витримувати механічні впливи без руйнування, що є критичним у разі фізичних навантажень. Хімічна стійкість, тобто опір агресивним речовинам, таким як солі, кислоти чи луги, допомагає уникнути деградації покриття в агресивному середовищі.

Бар'єрні властивості покриття забезпечують ефективний захист від проникнення газів і вологи, що сприяє запобіганню корозійним процесам. Механічна стійкість покриття дозволяє йому протистояти стиранню, подряпинам та іншим механічним пошкодженням, а еластичність забезпечує збереження цілісності при деформаціях підкладки, викликаних температурними розширеннями чи навантаженнями. Термостійкість покриття визначає його здатність витримувати перепади температури без утворення тріщин, а УФ-

стійкість захищає покриття від фотодеградації, що є особливо важливим для зовнішніх умов.

Крім того, низька проникність покриття до рідин і газів сприяє захисту підкладки від впливу зовнішніх факторів. Поєднання цих властивостей визначає ефективність та тривалість служби покриття в різних умовах експлуатації.

Дослідження фізико-хімічних властивостей антикорозійних покриттів охопило оцінку їх ключових характеристик, таких як стійкість до впливу вологи, ударна міцність та адгезія до підкладки. Ці параметри є визначальними для забезпечення ефективного захисту від корозії та довговічності покриття в різних експлуатаційних умовах:

1. Визначення стійкості до дії вологи

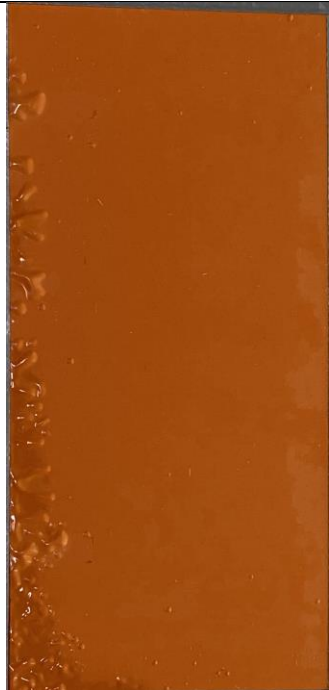



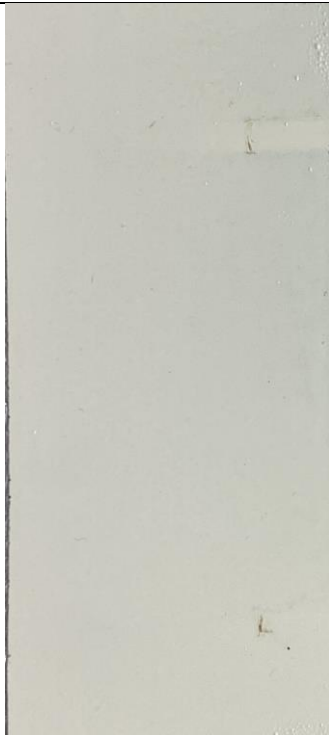

Принцип методу згідно з ДСТУ ISO 6270-1 [32] полягає у створенні умов постійної конденсації вологи на поверхні зразка, що дозволяє оцінити стійкість покриття до впливу вологого середовища.

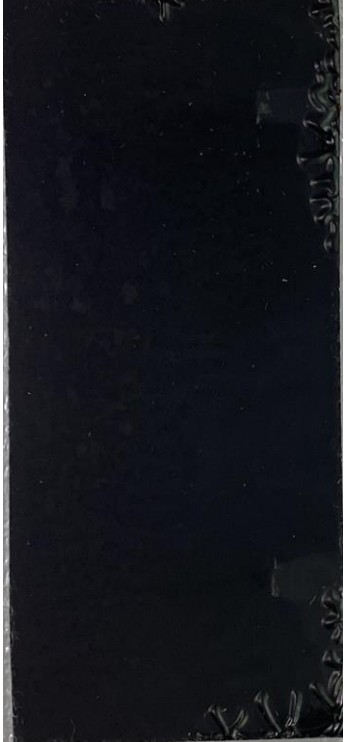


У випробувальній камері нагрівали демінералізовану воду до такої температури, щоб утворювався водяний пар, який конденсується на охолодженій поверхні зразка, імітуючи вплив вологи в реальних умовах. Вода конденсувалася безпосередньо на поверхні зразка за рахунок температурної різниці між паром і самим зразком, при цьому температура камери підтримувалася на рівні $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ для забезпечення стабільної конденсації. Зразки витримувались у вологому середовищі протягом 120 годин, при цьому вони постійно перебували під впливом конденсату. Після завершення випробування була проведена візуальна оцінка зразків для визначення, чи виникли тріщини, здуття, зміна кольору чи блиску, зниження адгезії покриття або сліди корозії основи. Конденсаційна волога створює екстремальні умови, які дозволяють швидко оцінити довговічність покриття, що є зручним для тестування матеріалів, які піддаються впливу вологи в природних умовах, наприклад, під час дощів або при високій вологості повітря.



Рисунок 19 – Тестування зразків у камері конденсації вологи

Таблиця 4 – Оцінювання стійкості до дії вологи згідно ДСТУ ISO 6270-1

Колір	Стійкість до дії вологи		
	Без добавок	Askonium	Фосфат цинку Neucopos
Помаранчева	 3(S5)	 S0	 5(S3)
Біла	 4(S2)	 1(S2)	 3(S3)

Колір	Стійкість до дії вологи		
	Без добавок	Askonium	Фосфат цинку Neucoros
Чорна	 3(S5)	 1(S2)	 3(S2)

Таким чином, зразки всіх трьох кольорів з додаванням інгібітора корозії «Askonium», продемонстрували найменшу кількість утворених пухирів і зберегли свої експлуатаційні характеристики після впливу вологи та виявились є найкращими за стійкістю до вологи серед досліджуваних зразків покриття.

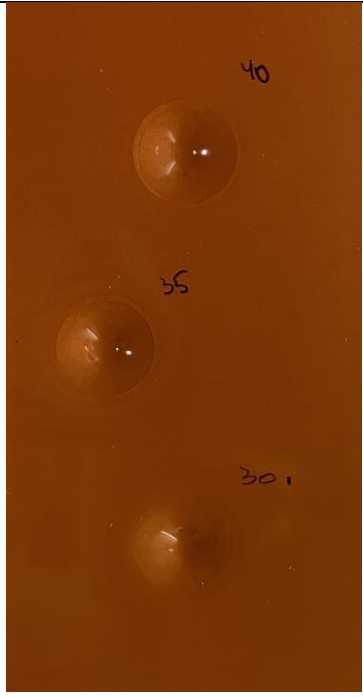
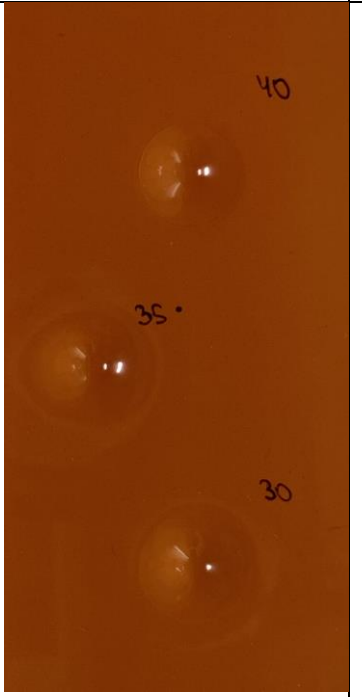
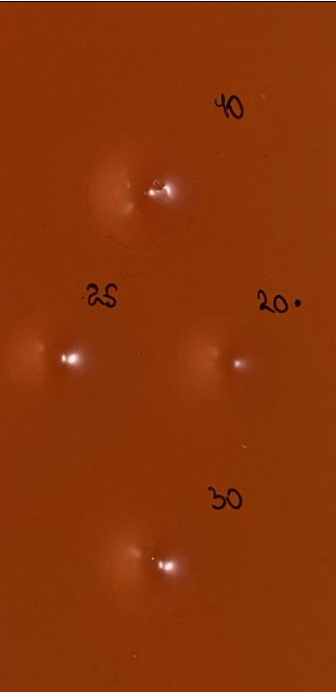
2. Випробування на ударну міцність

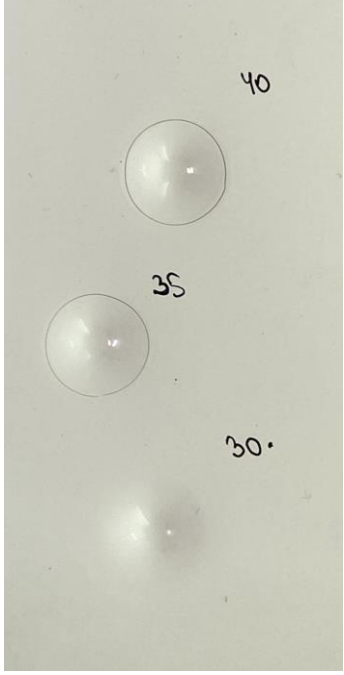
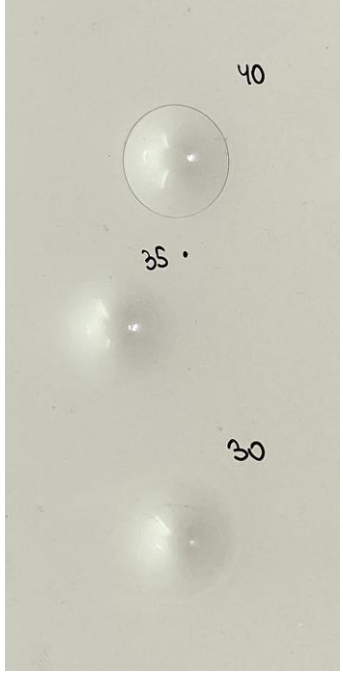
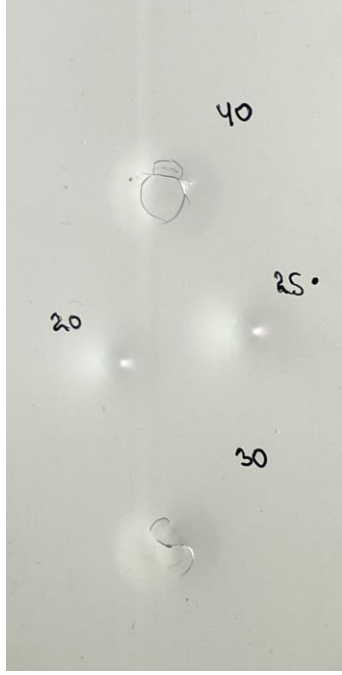


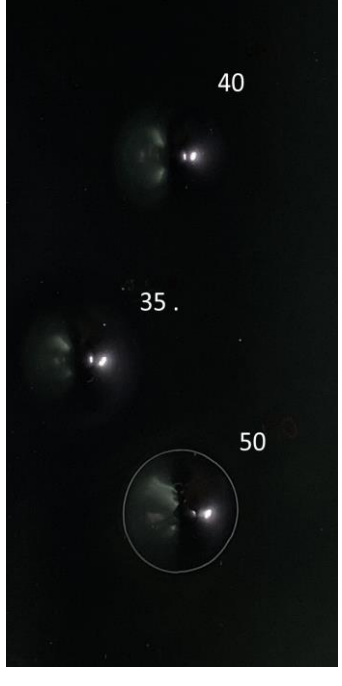
Покриття, що тестується, було нанесене на відповідні металеві пластини. Після того, як покриття затверділо, механізм удару зі стандартним вантажем, масою 1 кг, піднімали на певну висоту, який влучав в індентор, що деформує покриття і підкладку. Випробування можна проводили, повернувши пластину з покриттям догори (тобто до падаючого вантажу та індентора. Поступово збільшуючи відстань, з якої падає вантаж на індентор, можна визначити точку, в

якій відбувається розрив. Плівки зазвичай руйнуються через розтріскування, яке стають більш помітними за допомогою лупи.

Висновок про найкращу ударну міцність серед досліджуваних зразків покриття можна зробити на основі енергії падаючого тіла, яка прямо пропорційна висоті падіння (h). Чим більша висота падіння, тим більша енергія удару, яку має витримати покриття. Кожне покриття тестується до граничної висоти, після якої на ньому з'являються видимі дефекти, такі як тріщини, відшарування чи деформації. Найкращий зразок покриття — це той, який витримав найбільшу висоту падіння і, відповідно, найвищу енергію удару без пошкоджень.

Таблиця 5 – Оцінювання ударної міцності покриття згідно ДСТУ ISO 6272-2 [33]

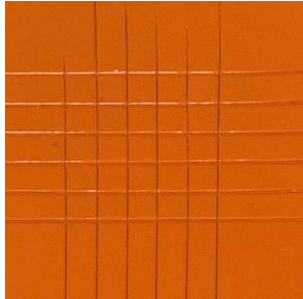
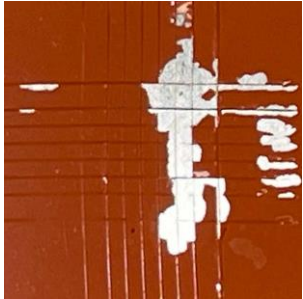
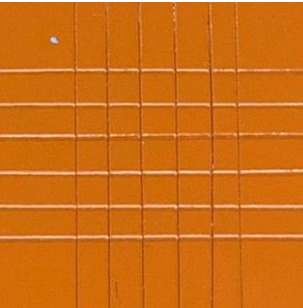
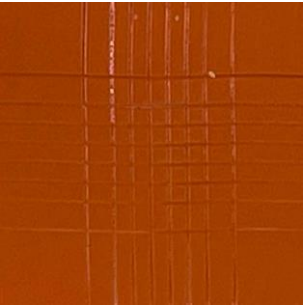


Колір	Ударна міцність		
	Без добавок	Askonium	Фосфат цинку Неусорос
Помаранчева			
	300 мм	350 мм	200 мм



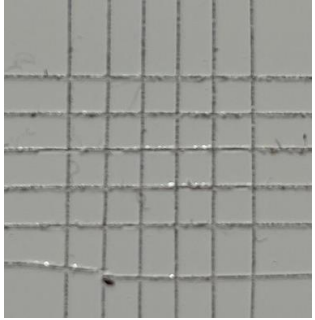
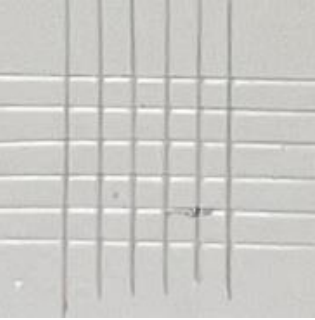
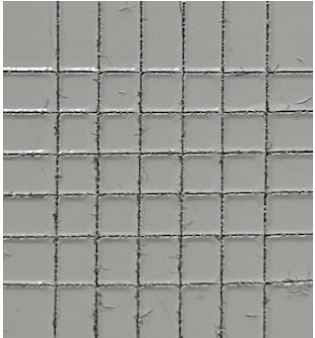

Колір	Ударна міцність		
	Без добавок	Askonium	Фосфат цинку Неусорос
Біла	 <p>300 мм</p>	 <p>350 мм</p>	 <p>250 мм</p>
Чорна	 <p>350 мм</p>	 <p>400 мм</p>	 <p>350 мм</p>

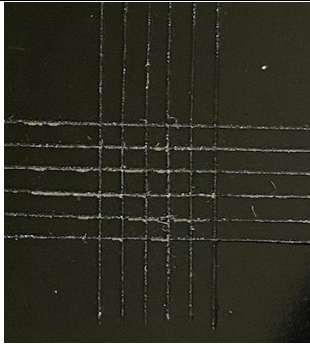
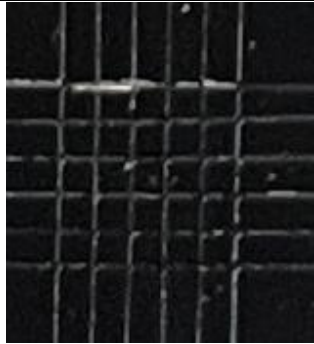
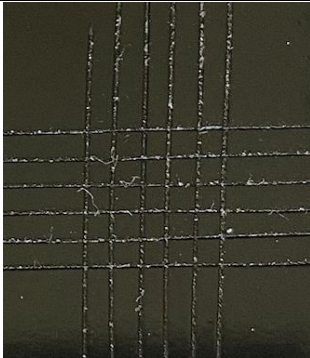
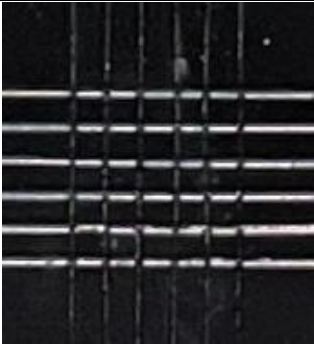
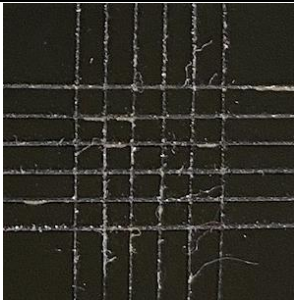

Отже, найкращу ударну міцність продемонстрували зразки всіх трьох кольорів з додаванням інгібітора корозії «Askonium». Усі інші зразки показали нижчу стійкість до удару, оскільки при меншій висоті їхні покриття зазнали пошкоджень. Наприклад, зразок чорної емалі з додаванням «Askonium» витримав енергію удару з висоти падіння 400 мм, що є найкращим результатом серед досліджених покриттів. Такий підхід дозволяє точно визначити зразок з найкращими характеристиками та оцінити граничні умови експлуатації.

3. Оцінювання адгезії покриття

Таблиця 6 – Оцінювання адгезії покриття згідно ДСТУ ISO 2409 [34]

Колір	Функціональна добавка	Адгезія до сольового туману	Адгезія після сольового туману
Помаранчева	Без добавок	 0 балів	 3 бали
	Askonium	 0 балів	 0 балів
	Фосфат цинку Neucoros	 1 балл	 3 бали

Колір	Функціональна добавка	Адгезія до сольового туману	Адгезія після сольового туману
Біла	Без добавок	 1 бал	 3 бали
	Askonium	 0 балів	 1 бал
	Фосфат цинку Neucoros	 0 балів	 2 бали

Колір	Функціональна добавка	Адгезія до сольового туману	Адгезія після сольового туману
Чорна	Без добавок	 0 балів	 1 бал
	Askonium	 0 балів	 0 балів
	Фосфат цинку Neucopos	 1 бал	 1 бал

Оцінювання адгезії покриття до підкладки за ДСТУ ISO 2409 базується на створенні сітки надрізів на поверхні покриття та оцінці ступеня його відшарування або руйнування.

Ріжучим інструментом виконали серію паралельних надрізів на поверхні покриття, після чого створили перпендикулярну серію надрізів, утворюючи сітку. Глибина надрізів досягала підкладки, але не пошкоджувала її.

За результатами тесту найкращу адгезію покриття до металу виявили зразки емалей трьох кольорів з додаванням інгібітора корозії «Askonium». Зразки помаранчевого та чорного кольорів з додаванням Фосфат цинку «Neucoros» показали гіршу адгезію ніж покриття без додавання антикорозійних добавок. Однак, всі досліджуванні зразки мають задовільну адгезію для експлуатації покриттів.

Висновок:

Отже, за результатами дослідження впливу антикорозійних добавок на збереження фізико-хімічних властивостей покриття, зразки емалі в помаранчевому, білому та чорному кольорах з додаванням інноваційного інгібітора корозії «Askonium» виявилися найкращими, оскільки продемонстрували найкращі результати в трьох важливих характеристиках: адгезії, ударній міцності та стійкості до дії вологи. Оскільки, висока адгезія забезпечує надійне зчеплення з основою, що гарантує тривалу експлуатацію покриття без ризику відшарування або зносу. Завдяки цьому, емаль залишається міцною і стійкою до механічних пошкоджень навіть при інтенсивному використанні. Краща ударна міцність зразка емалі свідчить про його здатність витримувати великі механічні навантаження без утворення тріщин чи деформацій, що робить його ідеальним для умов, де можливі удари або інші фізичні впливи. Крім того, емаль, яка продемонструвала високу стійкість до вологи, не зазнає пошкоджень навіть при тривалому впливі води або вологого середовища. Вона не схильна до набухання, корозії чи втрати естетичних якостей, що забезпечує її довготривалу службу в умовах підвищеної вологості. Таким чином, зразок емалі є найкращим через свою високу міцність, надійність та здатність витримувати екстремальні умови експлуатації, що робить його ідеальним вибором для широкого спектра застосувань.

3.3 Проведення випробувань у сольовому тумані та оцінка корозійної стійкості

3.3.1 Умови проведення тесту

Нами було проведене дослідження ефективності антикорозійних добавок в акриловій емалі. Випробування проводили за допомогою камери сольового туману BGD 881/S. У випробуванні брали участь зразки емалі в трьох кольорах: білий, чорний, помаранчевий.

Методика проведення випробувань лакофарбових матеріалів в камері сольового туману дозволяє оцінити корозійну стійкість покриттів і їх здатність захищати основний матеріал (метал) від корозії під дією агресивного середовища. Це важливе випробування для матеріалів, які використовуються в умовах підвищеної вологості або морського середовища.

Дослідження складалось з наступних етапів:

1. Підготовка зразків

Зразки лакофарбових покриттів були підготовлені відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO 9227 [37]:

- Зразки мають бути виготовлені з того ж матеріалу, який використовуватиметься в кінцевому виробі (наприклад, метал або пластик).
- Покриття лакофарбовим матеріалом повинно бути нанесене рівномірно. Якщо покриття складається з кількох шарів, кожен шар повинен бути нанесений згідно з рекомендаціями виробника щодо товщини та часу висихання між шарами.
- Після нанесення покриття зразки повинні бути витримані в умовах, рекомендованих для повного висихання та затвердіння (зазвичай це кілька днів).

2. Підготовка камери для тестування

Температура в камері підтримувалася на рівні 35°C.

Вологість у камері складала 100%, щоб створити умови для конденсації вологи на зразках.

Розчин солі: для тестування використовувався розчин натрію хлориду NaCl, із концентрацією 5% (50 г солі на 1 літр води). Розчин піддавався аерозольному розпилюванню у камері для утворення сольового туману.

3. Процес тестування

Зразки з нанесеним лакофарбовим покриттям помістили у камеру сольового туману, де вони піддавалися дії агресивного середовища протягом 240 годин. Тривалість тесту залежить від вимог стандарту та може варіюватися від кількох годин до кількох тижнів.

Камера працює за таким принципом: у камері підтримується постійне подавання аерозолю, що складається із розчину NaCl, постійно регулюється температура, а також рівень вологи, щоб створити максимальні умови для корозії та деградації покриття. Протягом випробування температура та інші параметри не повинні змінюватися, і вони мають бути точно зафіксовані.

Таблиця 7 – Процедура випробування/аналізу результатів

Підкладка	Металева пластина 150 мм x 70 мм BGD 2313
Підготовка поверхні	Шліфування наждачним папером P320 вручну
Кількість шарів	2
Умови сушіння	14 д; міжшарове сушіння 4 год.
Товщина сухої плівки (ТСП)	≈ 40 мкм/шар
Випробування сольовим туманом	Горизонтальний надріз 2 мм ДСТУ ISO 12944-6 [29]; ДСТУ ISO 9227 [37] - 240 годин.
Адгезія	Відповідно до ДСТУ ISO 2409: до випробувань (додатковий зразок); після випробувань (зразки, що тестуються)

3.3.2 Фіксація результатів за кількістю утворення пухирів іржі, відшарувань, розтріскувань

Після завершення випробування зразки ретельно були оглянуті на наявність корозії, тріщин, відшарувань або інших дефектів, які можуть з'явитися внаслідок контакту з туманом.

Вигляд зразків з добавками та без них після 240 годин випробування сольовим туманом представлена на рисунку 20.

Оцінка пошкоджень базується на певних стандартних критеріях, таких як глибина корозії, площа пошкоджених ділянок, та інтенсивність руйнувань. Якщо покриття не відповідає вимогам (наприклад, значна корозія чи відшарування), йому присвоюється нижчий клас довговічності, що вказує на погіршення його захисних властивостей.

Для оцінки ефективності антикорозійного захисту лакофарбового покриття були використані наступні параметри оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів [29]: оцінювання ступеня утворення пухирів, оцінювання ступеня іржавіння, оцінювання ступеня відшарування та корозії навколо надрізу або іншого штучного дефекту, оцінювання адгезії покриття до металу до та після випробування.



Рисунок 20 – Зразки після випробування у сольовому тумані (240 годин)

Таблиця 8 – Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів досліджуваних зразків після випробування

Колір	Функціональна добавка	Ступінь утворення пухирів	Ступінь іржавіння	Корозія від надрізу	Адгезія покриття до основи
Помаранчева	Без добавок	S1	Ri 0	0,5 мм – ступінь 2	3 бали
	Askonium	0(S0)	Ri 0	0,5 мм – ступінь 2	0 балів
	Фосфат цинку Неусорос	3(S3)	Ri 0	1 мм – ступінь 1	3 бали
Біла	Без добавок	3(S5)	Ri 2	4 мм – ступінь 2	3 бали
	Askonium	0(S0)	Ri 0	0,5 мм – ступінь 2	1 бал
	Фосфат цинку Неусорос	4(S4)	Ri 1	2 мм – ступінь 1	2 бали
Чорна	Без добавок	5(S5)	Ri 2	6 мм – ступінь 2	1 бал
	Askonium	0(S0)	Ri 0	1,5 мм – ступінь 2	0 балів
	Фосфат цинку Неусорос	5(S4)	Ri 1	2 мм – ступінь 1	1 бал

Принцип надання класу довговічності покриттю ґрунтується на порівнянні результатів випробувань з вимогами до матеріалу на різних етапах його служби. Клас довговічності визначається залежно від того, наскільки покриття зберігає свої функціональні характеристики в умовах корозії протягом визначеного періоду. Покриттям, що демонструє хорошу стійкість до корозії, надається високий клас довговічності, а тим, що швидко деградує — низький клас.

Таблиця 9 – Результати випробувань сольовим туманом досліджуваних вище зразків:

Колір	Функціональна добавка	Випробування сольовим туманом ISO 9227	Клас довговічності ISO 12944
Помаранчева	Без добавок	<240	С3 L низький
	Askonium	240	С3 М середній, С4 L низький
	Фосфат цинку Неусорос	<240	С3 L низький
Біла	Без добавок	<240	С3 L низький
	Askonium	240	С3 М середній, С4 L низький
	Фосфат цинку Неусорос	<240	С3 L низький
Чорна	Без добавок	<240	С3 L низький
	Askonium	240	С3 М середній, С4 L низький
	Фосфат цинку Неусорос	<240	С3 L низький

Довговічність досліджуваних зразків емалі за ДСТУ ISO 12944-1 (додаток Д) складає:

- для класу **С3 L (низький)** — до 7 років, для **С3 М (середній)** — від 7 до 15 років в умовах середньої корозійної агресивності. Це стосується таких умов, як міська та промислова атмосфера з помірним забрудненням діоксидом сірки, прибережні райони з низьким рівнем солоності, а також виробничі приміщення з високою вологістю і деяким забрудненням повітря, наприклад, харчові підприємства, прання, пивоварні, молочні заводи;
- для класу **С4 L (низький)** — до 7 років в умовах високої корозійної агресивності, що характерно для промислових та прибережних районів з помірною солоністю, хімічних заводів, плавальних басейнів, каботажних суден [29].

Висновок:

Серед запропонованих зразків емалей найкращі антикорозійні властивості виявилися у зразків емалі з додаванням Askonіum . Виходячі з результатів дослідження, ця добавка особливо підходить для систем на основі акрилу і може замінити традиційні антикорозійні пігменти, такі як фосфат цинку, перевершуючи їх при менших дозах.

Покриття зразка з додаванням Askonіum виявило кращу адгезію до поверхні металу та водостійкість. Тому, можна дійти висновку що для даної водо-дисперсної системи ця добавка є більш ефективною.

ВИСНОВКИ

1. Функціональні добавки мають великий потенціал для поліпшення якості лакофарбових покриттів, підвищення їх стійкості до вологи, агресивних хімічних речовин та механічних пошкоджень. Дослідження їх впливу на властивості покриттів є ключовим етапом у розробці нових матеріалів, які забезпечуватимуть ефективніший захист від корозії, при цьому зберігаючи екологічну безпеку та економічну вигоду.

2. Існують різні добавки для лакофарбових матеріалів (ЛФМ), які надають їм антикорозійні властивості. Це можуть бути хромати (наприклад, хромат цинку), які утворюють бар'єрні покриття і захищають метал від корозії, хоча через токсичність їх використання обмежено. Цинкові пігменти також використовуються для катодного захисту металу, оскільки цинк "жертвується" в процесі корозії. Фосфатні добавки, такі як фосфат цинку, покращують адгезію покриття і утворюють захисний шар на металі. Силікати створюють міцний бар'єр для захисту в агресивних умовах, а органічні інгібітори корозії, такі як органічні аміни, знижують активність корозійних процесів. Органічні інгібітори корозії можуть діяти запобігати корозії, знижуючи реакційну активність металу в агресивних середовищах. Прикладами таких добавок є органічні аміни, тиофени та інші органічні молекули, які утворюють захисні плівки на металі, що обмежують доступ води та кисню до його поверхні. Застосування таких добавок дозволяє покращити антикорозійні властивості ЛФМ і збільшити термін їх служби.

3. Спостереження виявили, що основною вимогою для підвищення ефективності антикорозійної добавки в акриловому ЛФМ є комплексний підхід в поліпшенні бар'єрних властивостей самого покриття, що додатково зменшує агресивний вплив середовища. Такий підхід об'єднує кілька методів та технологій, що дозволяють досягти найкращих результатів у боротьбі з корозією, з урахуванням специфічних умов експлуатації і вимог до покриттів.

Досліджуваний інноваційний рідкий інгібітор корозії «Askonium» є багатокомпонентною сумішшю активних речовин, кожен компонент якої відповідає за певні властивості лакофарбового покриття, таких як, захист від корозії, водостійкість, адгезію покриття до металу. Аналіз морфології вказує на те, що антикорозійна добавка «Askonium» дійсно може містити силіконові сполуки, в якості гідрофобних агентів та металеві пігменти, як основу захисту від корозії. А також теоретично можлива присутність таких компонентів як азотовмісні гетероциклічні сполуки, для забезпечення адгезії покриття до металу, а також органофосфати, що отворюють захисний шар безпосередньо на металі. Такі добавки забезпечують більш стабільний і довговічний захист, знижуючи ймовірність швидкого руйнування покриття. Фосфат цинку - однокомпонентна добавка, яка відповідає виключно за створення захисної плівки, що запобігає подальшій взаємодії металу з корозійним середовищем, але при цьому саме покриття є менш стійким до механічних пошкоджень та атмосферних чинників для водно-дисперсійних матеріалів. Отже, головною відмінністю і перевагою добавки Askonium є багатокомпонентність та комплексний підхід до створення бар'єрного покриття, завдяки чому, проявила найкращі антикорозійні властивості.

4. За результатами вивчення впливу антикорозійних добавок на збереження фізико-хімічних властивостей покриття, зразки емалі в помаранчевому, білому та чорному кольорах з додаванням інноваційного інгібітора корозії «Askonium» продемонстрували найкращі результати в таких важливих характеристиках, як адгезія покриття до металу, ударній міцності та стійкості до дії вологи. Висока адгезія гарантує тривалу експлуатацію покриття без ризику відшарування або зносу. Краща ударна міцність зразка емалі свідчить про його здатність витримувати великі механічні навантаження без утворення тріщин чи деформацій, що робить його ідеальним для умов, де можливі удари або інші фізичні впливи. Крім того, емаль, яка продемонструвала високу стійкість до вологи, не зазнає пошкоджень навіть при тривалому впливі води або вологого

середовища. Таким чином, зразок емалі є найкращим через свою високу міцність, надійність та здатність витримувати екстремальні умови експлуатації, що робить його ідеальним вибором для широкого спектра застосувань.

Під час експерименту було встановлено, що емалі з додаванням Askonіum за ДСТУ ISO 12944-1 належать до класу довговічності C3 M (середня), що відповідає експлуатації покриття протягом 7-15 років в умовах середньої корозійної активності та до класу C4 L (низька) - до 7 років в умовах високої корозійної агресивності. Натомість емалі без функціональних добавок та з фосфатом цинку відносяться до класу C3 L (низький), що гарантує термін довговічності до 7 років в умовах середньої корозійної активності.

5. Загалом, комплексний підхід у підвищенні антикорозійної стійкості покриттів дозволяє створювати більш ефективні, довговічні та універсальні рішення для захисту металевих поверхонь від корозії, значно підвищуючи експлуатаційні характеристики покриттів і знижуючи потребу в частих ремонтах чи заміні покриттів. Ця стратегія також включає врахування екологічної безпеки матеріалів. Використання нетоксичних та екологічно безпечних інгібіторів корозії й добавок дає змогу створювати покриття, які не тільки забезпечують ефективний захист від корозії, а й відповідають сучасним екологічним нормам. Таким чином, додаючи антикорозійну добавку Askonіum до емалей, виробник подовжує термін служби покриття з 7 до 15 років, що, в свою чергу, позитивно впливає на навколишнє середовище за рахунок меншого споживання цього продукту.

Для впровадження отриманих результатів на практиці необхідно підібрати кількість антикорозійної добавки, необхідної для певної рецептури емалі з відповідною сировиною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник / [П. І. Стоєв, С. В. Литовченко, І. О. Гірка, В. Т. Грицина]. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 216 с.].
2. S.R. Taylor, G.J. Shiflet, J.R. Scully, R.G. Buchheit, W.J. VanOoij, K. Sieradzki, R.E. Diaz, C.J. Brinker, A.L. Moran, *Corrosion Reviews*, 25 (2007) 491.
3. X.B. Chen, N. Birbilis, T.B. Abbott, *Corrosion*, 67 (2011) 754
4. F. Presuel-Moreno, M.A. Jakab, N. Tailleart, M. Goldman, J.R. Scully, *Materials Today*, 11 (2008) 14.
5. I.A. Podchernyaeva, A.D. Panasyuk, M.A. Teplenko, V.I. Podol'skii, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 39 (2000) 434.
6. [Yarova, T., Khmyzenko, . R., & Yanovska, A. (2024). Analysis of the functional additives effect on the corrosion resistance of paint coatings. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(3(79)), 13–17. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.313656>]
7. Ярова Т. Ю., Хмизенко Р. В., Яновська Г. О. Дослідження впливу функціональних добавок на антикорозійні властивості лакофарбових покриттів. Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма XI Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 23–26 квітня 2024 р.) / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 226 -267 с.
8. Petrunin, M.A. *Advances in Anti-Corrosion Polymeric and Paint Coatings on Metals: Preparation, Adhesion, Characterization and Application*. *Metals* 2022, 12, 1216. <https://doi.org/10.3390/met12071216>
9. McCafferty, E. *Introduction to Corrosion Science*; Springer Science+Business Media: New York, NY, USA, 2010.
10. Vogelsang, J.A. Anticorrosive pigments in organic coatings. In *Self-Healing Properties of New Surface Treatments*; Fedrizzi, L., Furbeth, W., Montemor, F., Eds.; Maney Publishing: Leeds, UK, 2011; pp. 1–11.

11. Sastri, V.S. Challenges in Corrosion. Costs, Causes, Consequences, and Control; John Wiley & Sons, Inc.: New York, NY, USA, 2015; p. 97.
12. Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування : навчальний посібник / Ю. В. Борисенко. – К. : КНУТД, 2016. – 111 с.
13. Нестеренко С. В. Конспект лекцій з дисциплін «Електрохімія і захист від корозії» для студентів 3–5 курсів денної і заочної форм навчання за напрямками підготовки 6.060101 – Будівництво, 6.060103 – Гідротехніка (водні ресурси) (фахові спрямування «Водопостачання та водовідведення», «Теплопостачання та вентиляція»)/С. В. Нестеренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 104 с.
14. 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.
15. В.А. Shaw, R.G. Kelly, What is Corrosion ?, (2006) 24–26
16. L. Veleva. Protective Coatings and Inorganic Anti-Corrosive Pigments" (Chapter 28). Paint and Coatings Testing Manual Book, MNL 17 (pp.282-299)
17. I.M. Zin, V.I. Pokhmurskii, J.D. Scantlebury, S.B. Lyon, Model Electrochemical Cell Study of CutEdge Corrosion Inhibition on Coil-Coated Steel Sheet by Chromate-, Phosphate-, and Calcium-Containing Pigments, J. Electrochem. Soc. 148 (2001) B293. <https://doi.org/10.1149/1.1381072>
18. M.R. Heydarpour, A. Zarrabi, M.M. Attar, B. Ramezanzadeh, Studying the corrosion protection properties of an epoxy coating containing different mixtures of strontium aluminum polyphosphate (SAPP) and zinc aluminum phosphate (ZPA) pigments, Prog. Org. Coatings. 77 (2014) 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.09.003>

19. J. Sinko, Challenges of chromate inhibitor pigments replacement in organic coatings, *Prog. Org. Coatings*. 42 (2001) 267–282. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(01\)00202-8](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(01)00202-8)
20. J.S. MCCAFFERTY, E; BERNETT, M. K.; and MURDAY, AN XPS STUDY OF PASSIVE FILM FORMATION IRON IN CHROMATE SOLUTIONS, *Corros. Sci.* 28 (1988) 559–576.
21. A.I. Onuchukwu, J.A. Lori, The mechanism of the corrosion inhibition of carbon steel in neutral medium by chromate and nickel ions, *Corros. Sci.* 24 (1984) 833–841. [https://doi.org/10.1016/0010-938X\(84\)90122-7](https://doi.org/10.1016/0010-938X(84)90122-7).
22. L.S. Hernández, B. Amo, R. Romagnoli, Anti-Corrosion Methods and Materials Emerald Article : Accelerated and EIS tests for anticorrosive paints pigmented with ecological pigments Contributed papers Accelerated and EIS tests for anticorrosive paints pigmented with, (2011).
23. M. Bethencourt, F.J. Botana, M. Marcos, R.M. Osuna, J.M. Sánchez-amaya, Inhibitor properties of “ green ” pigments for paints, 9440 (2003). [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(03\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(03)00013-4).
24. R. Romagnoli, V.F. Vetere, Heterogeneous reaction between steel and zinc phosphate, *Corrosion*. 51 (1995) 116–123. <https://doi.org/10.5006/1.3293583>.
25. R. Romagnoli, V.F. Vetere, Non-pollutant corrosion inhibitive pigments: Zinc phosphate, a review, *Corros. Rev.* 13 (1995) 45–64. <https://doi.org/10.1515/CORRREV.1995.13.1.45>.
26. Heubach Technical Bulletin 10/84, Hans Heubach GmbH andCo., Longelsheim, Federal Republic of Germany.
27. Technical Bulletin "K-White Aluminum Triphosphate," TaycaCorp., Osaka, Japan.
28. Evans, U. R., *Metallic Corrosion, Passivity and Protection*, Longmans Green and Co., New York, 1945
29. ДСТУ ISO 12944-2:2017. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 2: Класифікація

середовищ / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 22 с

30. Nenastina T.A., Ved' M.V., Zyubanova S.I., Proskurina V.O. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes. Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry. KNUTD. 2019. P. 60–66.

31. Центр колективного користування науковим обладнанням «Лабораторія матеріалознавства геліоенергетичних, сенсорних та наноелектронних систем» [Режим доступу: <https://sumdu.edu.ua/uk/science/science-info/scientific-infrastructure/scientific-centers-collective-use/ccse.html>].

32. ДСТУ ISO 6270-1:2022. Фарби та лаки. Визначення вологостійкості. Частина 1. Безперервна конденсація / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2022.

33. ДСТУ ISO 6272-2:2015. Фарби та лаки. Випробування швидкою деформацією (ударна міцність). Частина 2. Випробування падаючим вантажем, індентор малої площі / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. – 10 с.

34. ДСТУ ISO 2409:2013. Фарби та лаки. Випробування методом решітчастих надрізів / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. – 15 с.

35. Розуміння корозії та сольовий спрей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pfonline.com/articles/understanding-corrosion-and-salt-spray>

36. Сайт «Biuged laboratory instruments»: Programmable Salt Spray (Fog) Cabinets [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.biuged.com/En_Pr_d_gci_124_id_8.html

37. ДСТУ ISO 9227:2015. Випробування на корозію в штучних атмосферах. Випробування соляним туманом / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.

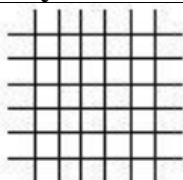
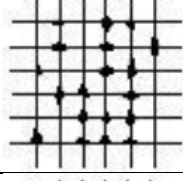
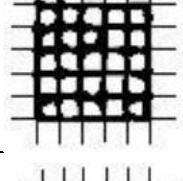
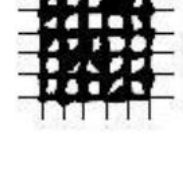
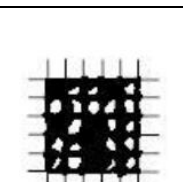
38. ДСТУ ISO 4628-2:2015. Фарби та лаки. Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів. Визначення кількості, розмірів дефектів та інтенсивності однорідних змін зовнішнього вигляду. Частина 2. Оцінювання ступеня утворення пухирців / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. – 14 с.

39. ДСТУ ISO 4628-3:2015. Фарби та лаки. Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів. Визначення кількості, розмірів дефектів та інтенсивності однорідних змін зовнішнього вигляду. Частина 3. Оцінювання ступеня іржавіння / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. – 12 с.

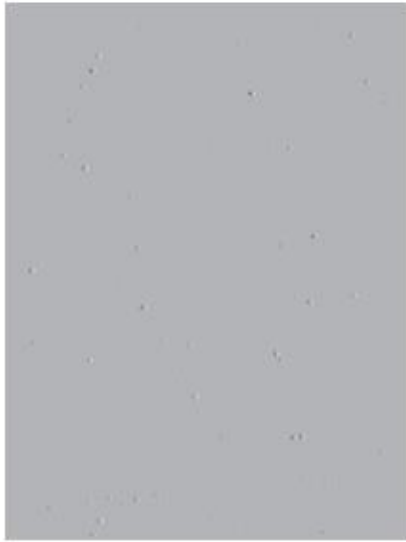
40. ДСТУ ISO 4628-8:2012. Фарби та лаки. Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів. Визначення кількості, розмірів дефектів та інтенсивності однорідних змін зовнішнього вигляду. Частина 8. Оцінювання ступеня відшарування та корозії навколо надрізу або іншого штучного дефекту / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2012. – 11 с.

ДОДАТОК А

Класифікація результатів випробувань на адгезію

Класифікація (бал)	Опис	Зовнішній вигляд поверхні ділянки надрізів з луценням
0	Краї надрізів повністю гладкі; жоден з квадратів решітки не відшарувався	
1	Відшарування невеликих лусочок покриття на перетині надрізів. Площа пошкоджень не перевищує 5% площі решітки	
2	Покриття відлущилося вздовж країв, та/або на перетині надрізів. Площа пошкоджень більш ніж 5%, але менш ніж 15% площі решітки.	
3	Покриття відлущилося вздовж країв частково або повністю у вигляді великих стрічок, та/або частково, або повністю в різних частинах квадратів. Площа пошкоджень більш ніж 15%, але менш ніж 35% площі решітки.	
4	Покриття відлущилося вздовж країв частково або повністю у вигляді великих стрічок, та/або деяких квадратів частково, або повністю. Площа пошкоджень більш ніж 35%, але менш ніж 65% площі решітки.	
5	Будь яка ступінь відшарування, яка не може бути класифікована навіть балом 4.	-

*Малюнки є прикладами надрізів для кожного балу класифікації. Зазначені відсотки ґрунтуються на візуальному сприйнятті малюнків і необов'язково будуть відтворюватися цифровим розпізнаванням образу.

ДОДАТОК Б**Оцінювання ступеня утворення пухирів (ДСТУ ISO 4628-2)**

а) Кількість (щільність) 2 – 2(S2)



б) Кількість (щільність) 3 – 3(S2)



с) Кількість (щільність) 4 – 4(S2)

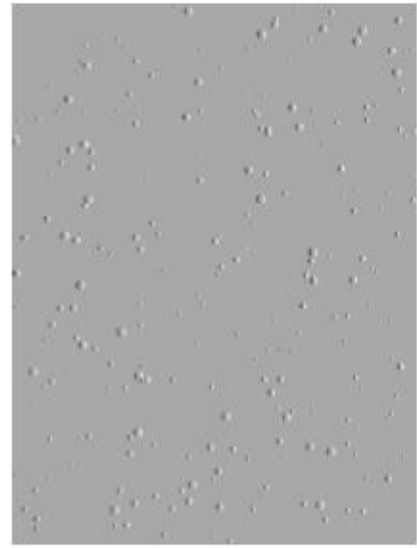


д) Кількість (щільність) 5 – 5(S2)

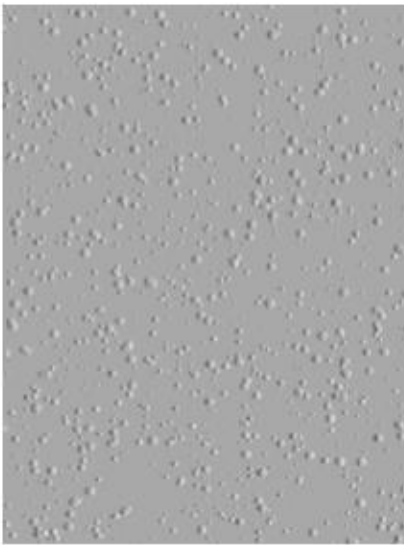
Рисунок 1 – Пухирі розміром 2 бали

Оцінювання ступеня утворення пухирів (ДСТУ ISO 4628-2)

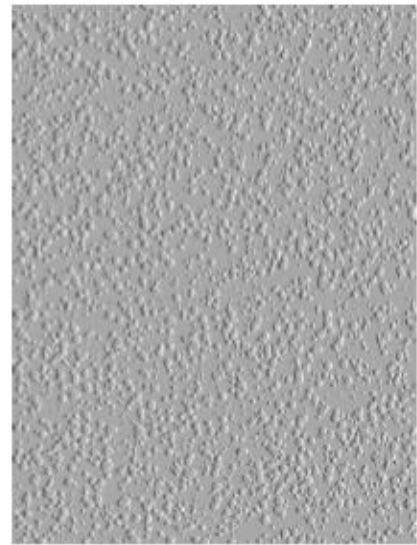
а) Кількість (щільність) 2 – 2(S3)



б) Кількість (щільність) 3 – 3(S3)



с) Кількість (щільність) 4 – 4(S3)



д) Кількість (щільність) 5 – 5(S3)

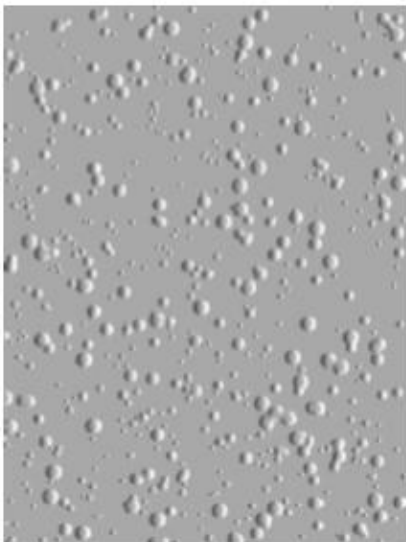
Рисунок 2 – Пухирі розміром 3 бали

Оцінювання ступеня утворення пухирів (ДСТУ ISO 4628-2)

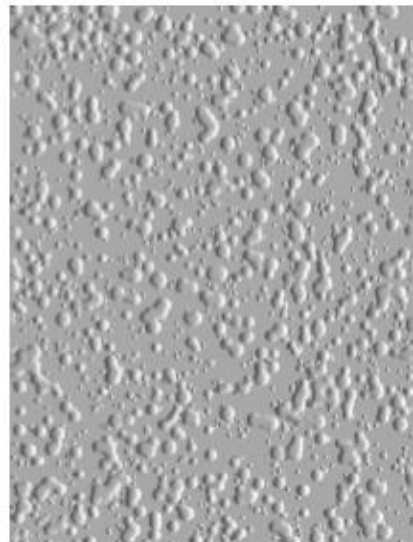
а) Кількість (щільність) 2 – 2(S4)



б) Кількість (щільність) 3 – 3(S4)

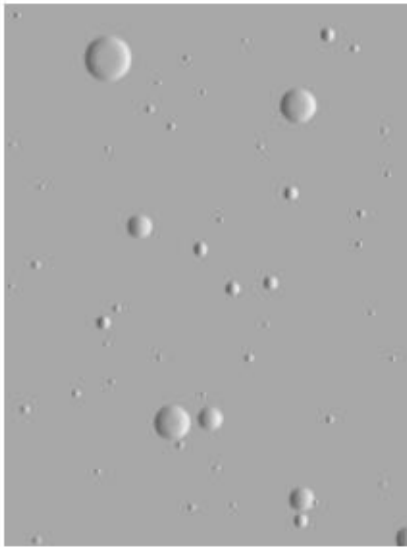


с) Кількість (щільність) 4 – 4(S4)

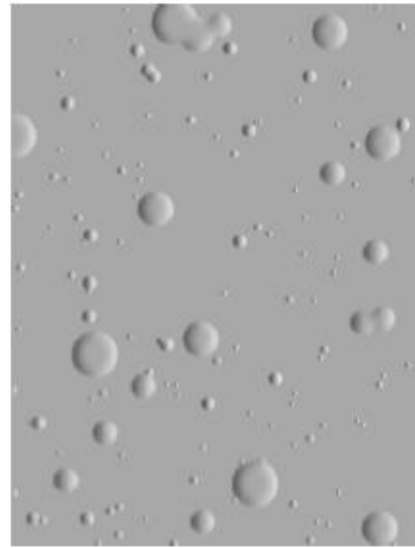


д) Кількість (щільність) 5 – 5(S4)

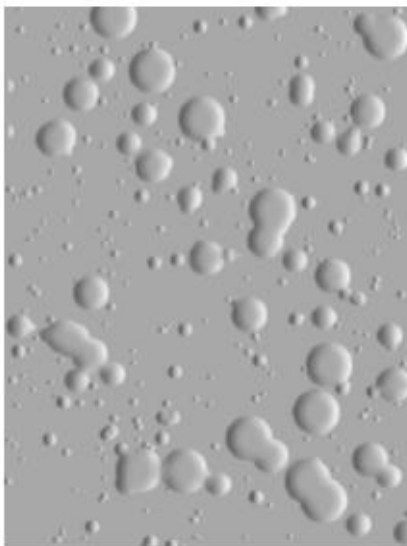
Рисунок 3 – Пухирі розміром 4 бали

Оцінювання ступеня утворення пухирів (ДСТУ ISO 4628-2)

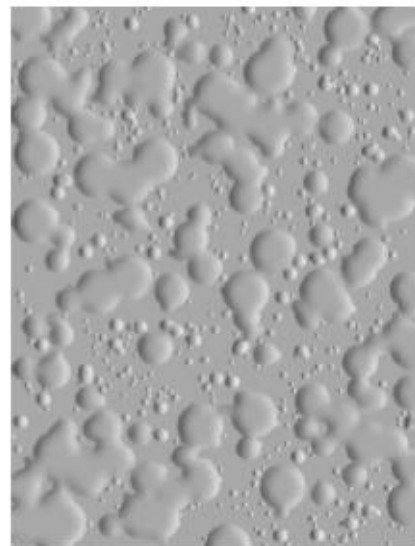
а) Кількість (щільність) 2 – 2(S5)



б) Кількість (щільність) 3 – 3(S5)



в) Кількість (щільність) 4 – 4(S5)



г) Кількість (щільність) 5 – 5(S5)










Рисунок 4 – Пухирі розміром 5 бали

ДОДАТОК В**Ступінь іржавіння та площа ураженої поверхні (ДСТУ ISO 4628-3)**

Ступінь іржавіння	Уражена поверхня, %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8

ДОДАТОК Г

Графічні стандарти оцінювання ступенів відшарування та корозії навколо надрізу (ДСТУ ISO 4628-8)

	Ступінь 1 – Дуже слабка
	Ступінь 2 – Слабка
	
	Ступінь 3 – Помірна
	
	Ступінь 4 – Суттєва
	
	Ступінь 5 – Дуже сильна
	

ДОДАТОК Д

Довговічність лакофарбових систем для категорій атмосферної корозії
(ДСТУ ISO 12944-1)

Корозійна категорія у відповідності до ДСТУ ISO 12944-2	Довговічність у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1	ДСТУ ISO 9227 (нейтральний сольовий туман), год
C2 <i>низька корозійна агресивність</i> (Атмосфера з низьким рівнем забруднення: переважно сільські райони)	L (низький), до 7 років	-
	M (середній), від 7 років до 15 років	-
	H (високий), від 15 років до 25 років	-
	VH (дуже високий), більше 25 років	480
C3 <i>середня корозійна агресивність</i> (Міська та промислова атмосфера, помірне забруднення діоксидом сірки)	L (низький), до 7 років	120
	M (середній), від 7 років до 15 років	240
	H (високий), від 15 років до 25 років	480
	VH (дуже високий), більше 25 років	720
C4 <i>висока корозійна агресивність</i> (Промислові райони та прибережні райони з помірною солоністю)	L (низький), до 7 років	240
	M (середній), від 7 років до 15 років	480
	H (високий), від 15 років до 25 років	720
	VH (дуже високий), більше 25 років	1440
C5 <i>дуже висока корозійна агресивність</i> (Промислові райони з високою вологістю і агресивною атмосферою, а також прибережні райони з високою солоністю)	L (низький), до 7 років	480
	M (середній), від 7 років до 15 років	720
	H (високий), від 15 років до 25 років	1440

ДОДАТОК Е

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

Основні правила безпеки при роботі в хімічній лабораторії:

1) Забороняється допускати студентів, аспірантів і співробітників до роботи в лабораторії без ознайомлення із справжньою інструкцією. Проходження інструктажу відзначається розписом в лабораторному журналі по техніці безпеки. Відповідальність за це несе керівник лабораторії.

2) Під час роботи в лабораторії дотримуйте чистоту, порядок і правила техніки безпеки, оскільки безладність, поспішність або неохайність в роботі часто призводять до нещасних випадків з важкими наслідками.

3) Забороняється в лабораторії пити воду, приймати їжу, палити.

4) Усі хімічні реактиви слід зберігати тільки у відповідному посуді з етикетками.

5) Студентам забороняється приступати до роботи, не погодивши плану роботи з керівником.

6) Після закінчення користування газом, водою і електроприладами негайно закрийте крани, якими ви користувалися і відключите електроприлади. Йдучи з лабораторії, перевірте закінчення хімічних процесів, чи включені газ, вода і електричний струм на столах, під тягою і потім в зовнішніх шахтах.

7) Особи, що порушують правила безпеки, притягуються адміністрацією до відповідальності.

Правила роботи з кислотами і горючими речовинами:

1) Розбавлення сірчаної кислоти виробляти приливом кислоти у воду, а не навпаки, і тільки в жаростійких і фарфорових склянках, оскільки при цьому відбувається значне виділення тепла.

2) Переливати міцні HNO_3 , H_2SO_4 і HCl можна тільки при включеній тязі у витяжній шафі. Дверці шафи мають бути, по можливості, прикриті.

3) При роботі з міцними кислотами необхідно одягати захисні окуляри, а при роботі з димлячою HNO_3 , окрім окулярів, надівати довгий гумовий фартух.

4) Забороняється при роботі з етиловими ефіром, спиртом, бензолом, ацетоном та іншими горючими і легкозаймистими рідинами проводити нагрівання на голому вогні, на сітці, поблизу відкритого полум'я або у відкритих посудинах. Слід мати на увазі, що легколетучі органічні рідини можуть запалюватися за відсутності відкритого полум'я, при падінні на сильно нагріту поверхню.

5) Забороняється виливати легкозаймисті речовини у відра, банки для сміття, щоб уникнути пожежі від випадково кинутого сірника.

Перша допомога в лабораторіях при опіках і отруєннях:

1) При термічних опіках негайно робіть неодноразові примочки в місці опіку спиртовим розчином таніну (можна також змочувати розчином KMnO_4 або $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ і покривати маззю від опіків - сульфідинової| емульсією).

2) При опіках кислотами спочатку добре промийте попечене місце проточною водою, а потім розчином Na_2CO_3 .

3) При опіках їдкими лугами добре промийте попечене місце водою, а потім розбавленою оцтовою кислотою.

4) У разі вдихання хлору або пари броду слід вдихати пари спирту, а потім вийти на свіже повітря.

5) Особлива увага при роботі в лабораторії повинна приділятися захисту очей. У разі попадання в очі різних хімічних реагентів треба негайно промити очі великою кількістю води протягом 3 - 5 хвилин, а потім промити очі у разі лужних реагентів розчинів розчином HBr , у разі кислих - розчином Na_2CO_3 . Після цих заходів першої допомоги необхідно негайно звернутися до лікаря.

Гасіння місцевої пожежі і одягу, що горить.

1) При виникненні пожежі негайно вимкнете газ і електроприлади по усій лабораторії, приберіть усі горючі речовини чимдалі від вогню, засипте піском або накрийте повстяною, вовняною ковдрою або азбестом вогнище пожежі. Велике полум'я гасять за допомогою вогнегасника.

2) Якщо на кому-небудь спалахне одяг, гасите обливанням водою з душу або негайно повалите на підлогу і накрийте повстяною ковдрою, яку не знімайте до тих пір, поки не згасне полум'я.

Заходи щодо поліпшення умов праці:

Інструкції по безпеці робіт з їдкими, огне- і вибухонебезпечними, СДЯВ мають бути детальнішими.

Наприклад, досить часто в лабораторії використовують ртутні термометри. У разі їх розбивання ртуть, проникаючи в щілини підлоги, випаровується, і її пари можуть послужити джерелом важких отруєнь. Тому слід додати наступне положення в інструкцію:

- пролиту ртуть збирають вакуум-шпеткою| з пасткою. Для збирання ртуті можна також використовувати склянки Тищенко, підключені до вакуумного насоса, пензлики або пластини з міді. Необхідно обробити забруднені ртуттю поверхні 1%| розчином KMnO_4 , HCl , що підкисляє.

При роботі з концентрованими кислотами і лугами слід взяти до відома і внести до інструкції наступне:

- якщо кислота випадково пролита, то її спочатку засипають піском, щоб він ввібрав кислоту, потім пісок прибирають і місце, де була пролита кислота, засипають вапном або содою, після цього замивають водою і витирають насухо;

- пролиті концентровані розчини лугів також засипають піском або деревною тирсою, після їх видалення обробляють поверхню слабким розчином оцтової кислоти;

- забороняється злив в каналізацію кислот і лугів без попередньої їх нейтралізації.

При перенесенні кислот і лугів необхідно дотримувати правила:

- перенесення кислот однією людиною дозволяється у відповідному скляному посуді місткістю не більше 5 л в спеціальних кошиках;

- бутлі ємністю 5 л з кислотами і розчинами лугів повинні поміщатися в кошики, причому вільні проміжки мають бути заповнені соломкою або стружками, кошики повинні переноситися двома працівниками.