

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

Інститут ННІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Хімії та інтегрованих технологій
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ХтаІТ
д.т.н., проф. Саввова О.В.





«22» червня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Тема роботи: Корозійностійкі епоксиполімерні покриття для захисту будівельних конструкцій

Шифр роботи ХіТк 2022-1,5
(група, номер теми за наказом)

Виконавець  Дремлюга Ростислав Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник  доцент Скрипинець Анна Василівна
(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

Харків 2026

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

Інститут ННІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Хімії та інтегрованих технологій
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ХтаІТ
д.т.н., проф. Саввова О.В.

О.В.
«11» травня 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВАЧУ**

_____ Дремлюга Ростислав Анатолійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Корозійностійкі епоксиполімерні покриття для захисту будівельних конструкцій

керівник роботи Скрипинець Анна Василівна, кандидат технічних наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого закладу освіти від «08» травня 2026 р. № 399-03

2. Строк подання студентом роботи 19 червня 2026 р.















3. Вихідні дані до роботи: наукова література щодо теми роботи; документація на сировинні компоненти та готову продукцію.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) (розділ 1: Аналітичний огляд; розділ 2: Технологічна частина; розділ 3: Експериментальна частина; розділ 4: Економічне обґрунтування; розділ 5: Охорона праці та навколишнього середовища)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація – 12 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

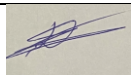
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітичний огляд	Скрипинець А.В., доцент	11.05.2026 	13.06.2026 
Технологічна частина	Скрипинець А.В., доцент	11.05.2026 	13.06.2026 
Експериментальна частина	Скрипинець А.В., доцент	11.05.2026 	13.06.2026 
Економічне обґрунтування	Пилипенко О.І., доцент	11.05.2026 	13.06.2026 
Охорона праці та навколишнього середовища	Логвінков С.М., професор	11.05.2026 	13.06.2026 
Нормоконтроль	Скрипинець А.В., доцент	11.05.2026 	19.06.2026 
Показник оригінальності КР	Скрипинець А.В., доцент	11.05.2026 	19.06.2026 

7. Дата видачі завдання 11.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка проблеми і завдань дослідження	13.06.2026	виконано
2	Аналітичний огляд літературних джерел, вибір методик досліджень	13.06.2026	виконано
3	Проведення досліджень, аналіз результатів, підготовка пояснювальної записки та висновків	13.06.2026	виконано
4	Підготовка розділів з економічного обґрунтування та охорони праці	13.06.2026	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	19.06.2026	виконано
6	Підготовка презентації, доповіді по ДР та інших супроводжуючих документів	22.06.2026	виконано
7	Подання ДР на допуск до захисту	22.06.2026	виконано
8	Захист ДР	25.06.2026	виконано

Студент



(підпис)

Дремлюга Р.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Скрипинець А.В.

(прізвище та ініціали)

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**


Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
бакалавра
(освітній рівень)

**на тему: Корозійностійкі епоксиполімерні покриття для захисту будівельних
конструкцій**

Виконав студент 4 курсу, групи XIITk_2022-1
Спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Дремлюга Р.А.
(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник 

Скрипинець А.В.
(підпис, прізвище та ініціали)

Рецензент 

Пилипенко О.І.
(підпис, прізвище та ініціали)

Харків 2026

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до ДР: 78 с., 10 рис., 13 табл., 52 джерел, 2 додатки.

Ключові слова: КОРОЗІЯ, ЕПОКСИПОЛІМЕРНІ ПОКРИТТЯ, НАПОВНЮВАЧІ, БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, ДОВГОВІЧНІСТЬ.

У дипломній роботі розглянуто сучасні підходи до захисту будівельних конструкцій і металевих виробів від корозійного руйнування шляхом застосування корозійностійких епоксиполімерних покриттів.

Проведено аналіз літературних джерел щодо причин виникнення корозії металів, механізмів її розвитку та сучасних методів антикорозійного захисту. Досліджено будову, властивості та особливості застосування епоксидних смол як основи захисних покриттів. Особливу увагу приділено впливу нанодисперсних наповнювачів на фізико-механічні, бар'єрні та антикорозійні характеристики полімерних композицій.

Розглянуто можливості використання кремнеземних нанонаповнювачів для підвищення стійкості покриттів до дії води та агресивних середовищ, зменшення проникності полімерної матриці та збільшення довговічності захисних матеріалів. Розроблено склад епоксидолігоамідоамінних композицій та технологічну схему їх виробництва.

Експериментально досліджено вплив аеросилу на водо- та кислотостійкість епоксидних композицій. Встановлено, що введення аеросилу сприяє підвищенню експлуатаційної стійкості матеріалів, а оптимальний вміст наповнювача становить 16 мас. ч., що забезпечує формування найбільш щільної та малопроникної структури композиту.

У роботі також розглянуто питання охорони праці та захисту навколишнього середовища під час виробництва полімерних матеріалів. Виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології та підтверджено доцільність її практичного впровадження.

ABSTRACT

Explanatory Note to the Course Project: 78 pages, 10 figures, 13 tables, 52 sources, 2 appendices.

Keywords: CORROSION, EPOXY POLYMER COATINGS, FILLERS, BUILDING STRUCTURES, DURABILITY.

The thesis considers modern approaches to protecting building structures and metal products from corrosion damage through the application of corrosion-resistant epoxy polymer coatings.

A review of scientific and technical literature was conducted to analyze the causes of metal corrosion, the mechanisms of its development, and current methods of anticorrosion protection. The structure, properties, and application features of epoxy resins as the basis of protective coatings were investigated. Particular attention was paid to the influence of nanosized fillers on the physical-mechanical, barrier, and anticorrosion properties of polymer composites.

The potential of silica-based nanofillers for improving the resistance of coatings to water and aggressive media, reducing the permeability of the polymer matrix, and increasing the durability of protective materials was examined. The composition of epoxy-oligoamidoamine composites and the technological scheme for their production were developed.

The effect of Aerosil on the water and acid resistance of epoxy composites was experimentally studied. It was established that the incorporation of Aerosil enhances the operational stability of the materials, while the optimal filler content is 16 phr (parts per hundred resin), which ensures the formation of the densest and least permeable composite structure.

ЗМІСТ

Вступ.....	10
1. Аналітичний огляд	12
1.1. Корозійні процеси будівельних конструкцій та методи захисту	12
1.2. Фізико-хімічні властивості епоксидних смол	13
1.3. Модифікація епоксиполімерів нанонаповнювачами	18
1.4. Висновки.....	27
2. Технологічна частина	28
2.1. Характеристика вихідної сировини та матеріалів	28
2.2. Опис технологічної схеми виробництва покриттів	32
2.3. Вибір основного технологічного та контрольного обладнання	38
2.4. Висновки.....	43
3. Науково-дослідна частина.....	46
3.1. Методики дослідження властивостей композицій	44
3.2. Дослідження кінетики водопоглинання та хімічної стійкості	48
3.3. Висновки	49
4. Охорона праці та навколишнього середовища	50
4.1. Аналіз небезпечних факторів у виробничих процесах	52
4.2 Технічні та організаційні заходи із безпеки праці.....	53
4.2 Розрахунок штучного освітлення робочого місця.....	55
4.3. Висновки	55
5. Економічне обґрунтування	57

5.1. Розрахунок матеріальних та енергетичних витрат на НДР	58
5.2. Кошторис витрат та оцінка ефективності досліджень	59
5.3. Розрахунок амортизації основних фондів і нематеріальних активів.....	62
5.4 Розрахунок витрат на малоцінні та витратні матеріали.....	63
5.5. Висновки	65
Загальні висновки	67
Список використаних джерел.....	68
Додаток А.....	74
Додаток Б.....	77

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості, будівництва та транспортної інфраструктури особливої актуальності набуває проблема захисту металевих і будівельних конструкцій від корозійного руйнування. Корозія є однією з основних причин передчасного виходу з ладу металевих виробів і споруд, що призводить до значних матеріальних збитків, зниження надійності конструкцій та збільшення витрат на їх ремонт і обслуговування. Особливо гостро ця проблема проявляється в умовах підвищеної вологості, дії агресивних хімічних речовин і несприятливих атмосферних факторів.

Одним із найбільш ефективних і технологічно доступних методів захисту металевих поверхонь є використання полімерних антикорозійних покриттів. Серед широкого спектра полімерних матеріалів особливе місце займають епоксидні смоли, які характеризуються високою адгезією до різних поверхонь, добрими механічними властивостями, хімічною стійкістю та довговічністю. Разом з тим традиційні епоксидні покриття не завжди забезпечують необхідний рівень захисту під час тривалої експлуатації в агресивних середовищах через проникнення води, кисню та корозійно-активних компонентів крізь полімерну матрицю.

Перспективним напрямом удосконалення епоксидних матеріалів є їх модифікація нанодисперсними наповнювачами. Використання аеросилу дозволяє покращити структуру полімерної матриці, підвищити її щільність, зменшити проникність для агресивних середовищ і збільшити довговічність захисних покриттів. Завдяки високій питомій поверхні та розвиненій міжфазній взаємодії аеросил ефективно впливає на фізико-механічні та експлуатаційні характеристики епоксидних композицій.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу аеросилу на властивості епоксиолігоамідоамінних композицій, зокрема їх водо- та кислотостійкість, що визначають ефективність матеріалів у системах антикорозійного захисту.

Метою роботи є розробка корозійностійких епоксиолімерних композицій, модифікованих аеросилом, дослідження їх водо- та кислотостійкості, а також обґрунтування можливості використання таких

матеріалів для захисту металевих і будівельних конструкцій в умовах агресивних середовищ.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі **завдання**:

- провести аналіз науково-технічної літератури щодо сучасних методів антикорозійного захисту та застосування полімерних композиційних матеріалів;
- обґрунтувати вибір компонентів епоксидної композиції;
- розробити технологічну схему виробництва корозійностійких епоксиполімерних матеріалів;
- дослідити вплив аеросилу на водостійкість і кислотостійкість епоксидних композицій;
- визначити оптимальний вміст нанонаповнювача для забезпечення високих експлуатаційних характеристик;
- розглянути питання охорони праці та екологічної безпеки виробництва;
- виконати техніко-економічне обґрунтування розробленої технології.

Об’єкт дослідження – корозійностійкі епоксиполіамідоамінні композиційні матеріали.

Предмет дослідження – вплив аеросилу на водо-, кислотостійкість та експлуатаційні властивості епоксидних композицій.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених композиційних матеріалів для створення ефективних антикорозійних покриттів, призначених для захисту металевих і будівельних конструкцій в умовах підвищеної вологості та дії агресивних середовищ. Отримані результати можуть бути використані під час удосконалення існуючих та розроблення нових захисних покриттів для будівельної, транспортної та хімічної галузей.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Корозійні процеси будівельних конструкцій та методи захисту

Корозія є процесом руйнування металів під дією фізико-хімічних факторів навколишнього середовища, що призводить до суттєвих економічних втрат та зниження надійності конструкцій [1-11]. У сучасній інженерній практиці одним із найбільш ефективних і технологічно доступних методів захисту металевих матеріалів від корозії є застосування органічних покриттів.

Органічні покриття широко використовуються для захисту сталевих конструкцій завдяки їх економічній доцільності, технологічності нанесення та здатності формувати бар'єр між металом і агресивним середовищем. Їх дія базується на ізоляції підкладки від проникнення вологи, кисню та іонних компонентів, що є основними активаторами корозійних процесів.

Серед органічних покриттів особливе місце займають епоксидні системи [4-9], які характеризуються високою адгезією до металевих поверхонь, механічною міцністю, хімічною стійкістю та довговічністю. Висока ефективність епоксидних покриттів обумовлена наявністю функціональних груп та ароматичних фрагментів у структурі смоли, що сприяє формуванню міцного адсорбційного шару на поверхні металу.

Епоксидні покриття знаходять широке застосування в різних галузях промисловості, включаючи будівництво, машинобудування, автомобільну та аерокосмічну галузі. Їх використання дозволяє значно підвищити довговічність конструкцій та знизити витрати на ремонт і обслуговування.

Разом з тим, традиційні органічні покриття мають певні обмеження, пов'язані з поступовою проникністю для агресивних середовищ у процесі експлуатації. Це зумовлює необхідність удосконалення полімерних систем шляхом їх модифікації та створення нанокомпозитних матеріалів [12-29].

В останні роки значна увага приділяється розробці нанокомпозитних покриттів, у складі яких використовуються нанорозмірні наповнювачі, такі як оксиди титану, цинку, кремнію, цирконію, церію, а також вуглецеві нанотрубки та графен. Такі добавки суттєво покращують бар'єрні властивості покриттів,

знижують проникність електrolітів та підвищують загальну корозійну стійкість систем.

Таким чином, розвиток епоксидних та нанокompозитних покриттів є перспективним напрямом підвищення довговічності металевих конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах.

1.2. Фізико-хімічні властивості епоксидних смол

Поліепоксиди, епоксидні смоли, епоксиди (Європа), α -епоксидні або 1,2-епоксидні смоли представляють собою особливий клас високореактивних полімерів, що містять епоксидні групи у своїх молекулярних структурах. Енергозберігаючі реактивні смоли можуть або зазнавати каталітичної гомополімеризації самі з собою, утворюючи зшиті макромолекулярні сполуки, або реагувати з різноманітними *співреагентами*, такими як поліфункціональні аліфатичні та ароматичні аміни, похідні кислот, включаючи хлорангідриди кислот, амідн, естери та ангідриди, аліфатичні та ароматичні спирти та тіоли (широко відомі як меркаптани). Ці співреагенти зазвичай називають отверджувачами, а реакцію зшивання часто називають затвердінням. Як правило, затвердіння епоксидів робить їх крихкими за своєю природою через високий ступінь зшивання. Епоксиди мають широкий спектр застосування, такий як поверхневі покриття металевих матеріалів, електричні ізолятори, армовані волокном пластикові матеріали, пензлі, електричні компоненти/світлодіоди та клеї.

Епоксиди [9, 16, 21] є високоміцними матеріалами, які мають чудову корозійну стійкість, високу міцність на розтяг, стійкість до фізичних пошкоджень та чудові властивості втомної міцності. Більшість комерційно та промислово корисних епоксидів синтезуються шляхом реакції епіхлоргідрину з кислотними ($-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$ тощо) групами. Джерелом кислотної гідроксильної групи можуть бути дикарбонові кислоти, поліефіри, поліоли, феноли або аліфатичні діоли. Добре задокументовано, що замість кисню гідроксильної групи, азот амінів та амідів може реагувати з епіхлоргідрином, утворюючи відповідні затверділі епоксиди. Залежно від природи сполук, що містять кислотну групу, епоксиди можна класифікувати на кілька типів. Епоксиди на

основі бісфенолу є найпоширенішими ЕП, що утворюються в результаті хімічних перетворень епіхлоргідрину (ECH) та бісфенолу А, що призводить до утворення сполуки, позначеної як BADGE або DGEBA. Більше того, високомолекулярні дигліцидилові ефіри можуть бути синтезовані шляхом хімічних реакцій DGEBA та бісфенолу А. Хімічна реакція між DGEBA та бісфенолом А називається передполімеризацією. Синтез бісфенолу А, дигліцидилового ефіру (BADGE або DGEBA) та інших ЕП, отриманих в результаті реакцій спиртів, тіолу та амінів з епіхлоргідрином.

Продукти передполімеризації складаються з невеликої кількості повторюваних ланок ($n = 1-2$) безбарвних, в'язких рідин, які називаються рідкими ЕР. Крім того, продукти передполімеризації, що містять більшу кількість повторюваних ланок ($n = 2-30$), є безбарвними твердими речовинами за кімнатної температури, і їх називають твердими ЕР. Замість бісфенолу А можна також використовувати бісфенол F або тетрабромбісфенол А, і утворені таким чином ЕР мають ряд переваг, таких як низька в'язкість і вищий середній вміст епоксидної смоли, ніж у ЕР, отриманих з бісфенолу А. Характер продуктів значною мірою залежить від відносного співвідношення ECH та бісфенолу А. Як правило, збільшення співвідношення бісфенолу А призводить до утворення високомолекулярних поліетерів з гліцидильною кінцевою групою. Нещодавно було розроблено деякі передові методи синтезу DGEBA. Очевидно, що збільшення молекулярної маси смол призводить до відповідного зменшення вмісту епоксиду, і поведінка смол наближається до термопластичних. Деякі поширені механічні та фізичні властивості затверділих термореактивних смол, таких як поліефірна смола, силіконова смола, фенольна смола (PF) разом з ЕР на основі бісфенолу А, представлені в таблиці 1.

Комерційна версія ЕР набуває молекулярної маси 380 г/моль, тоді як очищені форми ($n = 1$) мають молекулярні маси до 344 г/моль. Високомолекулярні епоксидні смоли ($n = 1-10$) можна відповідним чином адаптувати, проводячи реакцію між бісфенолом А та епіхлоргідрином у більш лужному середовищі та зменшуючи кількість епіхлоргідрину.

Новолачні смоли [29] належать до класу фенолформальдегідних полімерів і є продуктами поліконденсації фенолів або їх похідних із формальдегідом. За своєю будовою вони близькі до бакеліту, проте характеризуються вищим ступенем зшивання та утворенням більш щільної полімерної сітки. Синтез новолаків зазвичай здійснюють у кислому середовищі із застосуванням органічних або мінеральних кислот як каталізаторів. Структура та властивості отриманих полімерів визначаються співвідношенням вихідних компонентів, умовами полімеризації та природою каталізатора. Новолаки є твердими крихкими матеріалами з відносно невеликою молекулярною масою і широко використовуються у виробництві фоторезистів, лаків, клеїв та композиційних матеріалів.

Аліфатичні епоксидні смоли являють собою окремий клас епоксидних полімерів, які можуть бути отримані шляхом епоксидування ненасичених сполук або в результаті реакції епіхлоргідрину зі спиртами, кислотами чи іншими функціональними сполуками. До цієї групи належать епоксидовані рослинні олії, циклоаліфатичні епоксиди, гліцидилові естери та прості ефіри. Завдяки високій реакційній здатності та доброму поєднанню механічних і хімічних властивостей аліфатичні епоксидні смоли широко застосовуються у виробництві покриттів, композитів, клеїв та електроізоляційних матеріалів.

Особливу групу становлять галогеновмісні епоксидні смоли, до складу яких входять атоми бромів або фтору. Введення галогенів у структуру полімеру забезпечує підвищення вогнестійкості, термічної стабільності та експлуатаційних характеристик матеріалу. Для їх синтезу найчастіше використовують галогеновані похідні бісфенолу А. Такі смоли знаходять застосування у високотехнологічних галузях, де необхідне поєднання високої міцності, хімічної стійкості та вогнезахисних властивостей.

Однією з ключових стадій формування властивостей епоксидних матеріалів є процес затвердіння. Він полягає у взаємодії епоксидних груп із затверджувачами, внаслідок чого утворюється тривимірна зшита полімерна структура. Саме ступінь зшивання значною мірою визначає механічну міцність, термостійкість, хімічну стійкість і довговічність матеріалу. Процес затвердіння

супроводжується виділенням тепла та може відбуватися як за кімнатної температури, так і при нагріванні, залежно від типу затверджувача та умов проведення реакції.

Для затвердіння епоксидних смол використовують аміни, ангідриди кислот, тіоли, спирти та інші поліфункціональні сполуки. Реакція відбувається шляхом розкриття епоксидного кільця та утворення нових хімічних зв'язків між макромолекулами. Реакційна здатність затверджувачів залежить від їхньої хімічної природи, що впливає на швидкість формування полімерної сітки та кінцеві властивості матеріалу. Для регулювання процесу затвердіння часто використовують прискорювачі, які забезпечують більш повне протікання реакції та підвищують ефективність формування полімерної структури.

Завдяки поєднанню високої адгезії, механічної міцності, стійкості до впливу агресивних середовищ і корозії затверджені епоксидні смоли є одними з найпоширеніших матеріалів для створення захисних покриттів, клеїв, композитів та антикорозійних систем різного призначення.

Корозія є самовільним процесом руйнування металів і сплавів унаслідок їхньої взаємодії з навколишнім середовищем. У результаті корозійних процесів метали переходять у більш термодинамічно стабільний стан з утворенням оксидів, гідроксидів, сульфідів та інших сполук. Корозія належить до найбільш поширених причин передчасного виходу з ладу металевих конструкцій, обладнання та інженерних систем.

Економічні наслідки корозії є надзвичайно значними та включають як прямі, так і непрямі втрати. До прямих втрат належать витрати на ремонт, заміну пошкоджених конструкцій, технічне обслуговування обладнання, нанесення захисних покриттів, використання спеціальних сплавів і засобів протикорозійного захисту. Непрямі втрати пов'язані зі зниженням ефективності виробництва, простоями обладнання, забрудненням продукції продуктами корозії, витоками рідин і газів через пошкодження трубопроводів, а також виникненням аварійних ситуацій та екологічних ризиків.

Особливо гостро проблема корозії проявляється у нафтохімічній, хімічній та металургійній промисловості, де обладнання експлуатується в агресивних

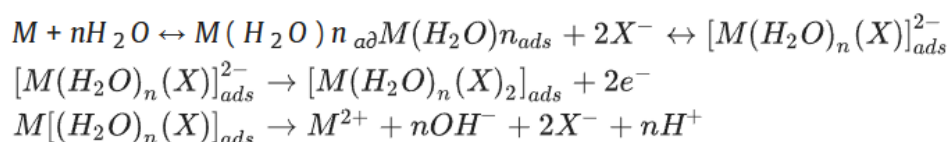
середовищах. Значний вплив на інтенсивність корозійних процесів мають операції кислотного очищення, травлення та видалення окалини, які застосовуються для підготовки металевих поверхонь. Незважаючи на ефективність таких процесів у видаленні оксидів, гідроксидів, карбонатів та інших забруднень, агресивні кислотні середовища можуть спричинити інтенсивне розчинення металу та прискорювати його руйнування.

Для запобігання корозійним пошкодженням розроблено широкий спектр методів захисту металів. До найбільш поширених належать використання органічних і неорганічних покриттів, нанесення металевих захисних шарів, катодний та анодний захист, пасивація поверхні, легування металів, оптимізація конструктивних рішень, а також застосування інгібіторів корозії. Вибір конкретного способу захисту визначається умовами експлуатації, характером агресивного середовища та економічною доцільністю.

Серед сучасних методів протикорозійного захисту особливе місце займають органічні інгібітори корозії. Їх ефективність обумовлена здатністю адсорбуватися на поверхні металу та утворювати захисний бар'єрний шар, який перешкоджає контакту металу з агресивним середовищем. Використання інгібіторів є одним із найбільш економічно вигідних способів захисту металів під час кислотного очищення, травлення та інших технологічних процесів, що супроводжуються підвищеним ризиком корозійного руйнування.

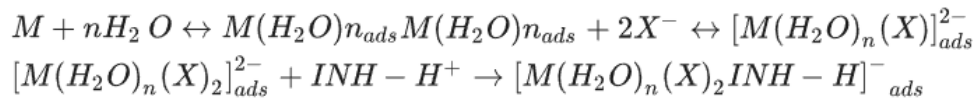
Більшість корисних інгібіторів утримують гетероатоми (переважно O, N, S та P) та гідрофільні групи, такі як $-OH$, $-NO_2$, $-COOH$, $-COCl$, $-COOC_2H_5$, $-CONH_2$, $-CN$, $-O$, $-SH$, $-NR_2$, $-NH_2$, $>C_2S$, $>C_2C_3<$, $>C_2N_3$, N_2N_4 , N_2O тощо. Адсорбція органічних сполук на металевій поверхні може відбуватися після фізичної сорбції, хемосорбції або комбінації обох механізмів. Механізми корозії металу (M) з інгібітором корозії та без нього в кислому середовищі можна представити наступним чином.

Корозія металу без органічних інгібіторів:



У наведених вище рівняннях X^- являє собою одновалентний протиіон (наприклад, Cl^-), що утворюється з електроліту (HX).

Корозія металу з інгібіторами корозії:



Можна побачити, що в кислому середовищі органічний інгібітор корозії піддається протонуванню та адсорбується на металевій поверхні, утворюючи захисну оболонку. Замісники, присутні в ароматичному кільці, відіграють важливу роль в ефективності інгібіторів корозії. Вплив замісників можна визначити за допомогою констант Гаммета (σ). Рівняння Гаммета можна представити наступним чином:

$$\log \frac{K_R}{K_H} = \rho \sigma \log \frac{1 - IE \%_R}{1 - IE \%_H} = \rho \sigma \log \frac{IE \%_R}{IE \%_H} = \rho \sigma - \log \frac{\theta_R}{\theta_H}$$

де K_R та K_H позначають константи рівноваги з інгібітором та без нього відповідно, тоді як $IE \%_R$ та $IE \%_H$ представляють відсоток ІЕ з інгібітором та без нього відповідно, ρ – параметр реакції, а θ – покриття поверхні. Значення σ для різних замісників. Очевидно, що замісники з негативними значеннями σ вважаються такими, що вивільняють електрони, і очікується, що вони підвищать ефективність інгібування органічних сполук і навпаки. Однак, також повідомлялося про деякі винятки.

1.3 Модифікація епоксиолімерів нанопоповнювачами

Однак органічні покриття не здатні забезпечити довготривалий антикорозійний захист через їхню крихку структуру та схильність до гідролітичної деградації під дією корозійного середовища. Крім того, у процесі твердіння полімерної матриці можуть формуватися пори, зумовлені випаровуванням органічних розчинників, а також впливом зовнішніх факторів навколишнього середовища. Такі мікропори створюють дифузійні шляхи для проникнення корозійно-активних агентів, зокрема молекул води та іонів Cl^- , до металевої підкладки.

У зв'язку з цим до полімерної матриці вводять наповнювачі з метою усунення недоліків органічних покриттів та підвищення їх бар'єрних властивостей [12-29]. У традиційних композитних покриттях для досягнення необхідного рівня антикорозійного захисту застосовують значні кількості мікронаповнювачів (близько 60 об.%). Водночас висока концентрація наповнювачів негативно впливає на міжфазні взаємодії у системі «наповнювач–полімер» та призводить до збільшення густини композиту [21-24].

На відміну від цього, використання наповнювачів у малих концентраціях (менше 2 об.%) дозволяє формувати композитні покриття з покращеними експлуатаційними характеристиками [25].

Багато дослідників опублікували оглядові статті про наноматеріали на основі графену та глини для покращення антикорозійних властивостей полімерних покриттів. Однак, наскільки нам відомо, немає жодної вичерпної оглядової статті про потенційне застосування різних неорганічних та металевих нанонаповнювачів у розробці корозійностійких нанокомпозитних покриттів.

Додавання металевих наночастинок є ефективним підходом до підвищення корозійної стійкості полімерних покриттів. Такі метали, як Al, Ti та Zn, що мають більш негативний корозійний потенціал порівняно зі сталлю, здатні забезпечувати як жертвний (катодний), так і бар'єрний механізм захисту [2, 21].

Цинк традиційно використовується як антикорозійний пігмент у розмірах мікронного діапазону (5–10 мкм) завдяки високій ефективності катодного захисту. У цинкнаповнених епоксидних системах він забезпечує електрохімічний захист сталі, однак потребує високих концентрацій для формування провідної мережі, що призводить до погіршення механічних властивостей та неоднорідності покриття. Крім того, значна частина цинку витрачається на утворення продуктів корозії (ZnO , $Zn(OH)_2$), які знижують його ефективність у часі та переводять систему до переважно бар'єрного механізму захисту [2].

Застосування наночастинок цинку дозволяє зменшити загальний вміст цинку в покритті та підвищити ефективність катодного захисту. Зокрема, часткова заміна (5–10 мас.%) мікроцинкового порошку наночастинками

забезпечує формування додаткових електропровідних зв'язків між частинками цинку та сталеву підкладку, що покращує цілісність електрохімічного ланцюга [2]. Експериментально встановлено, що покриття з 5–10 мас.% Zn наночастинок демонструють більш стабільний корозійний потенціал та довший період катодного захисту порівняно з традиційними цинкнаповненими системами. Крім того, такі системи характеризуються підвищеною корозійною стійкістю та можливістю зменшення загального вмісту цинку без втрати захисної ефективності. Додатково встановлено, що наночастинок Zn покращують бар'єрні властивості полімерної матриці завдяки формуванню більш щільної структури та обмеженню дифузії агресивних агентів. Подальші дослідження спрямовані на модифікацію цинкнаповнених систем шляхом часткової заміни Zn наночастинок іншими нанопоповнювачами. Показано, що пластинчасті наночастинок ефективніші за сферичні для підвищення бар'єрних властивостей, а функціоналізація наночастинок провідними полімерами підвищує загальну корозійну стійкість системи. Модифікація поверхні Zn частинок органосиланами формує тонкий (~10 нм) захисний шар, який знижує їх розчинення та покращує хімічну сумісність з полімерною матрицею [19-25].

Встановлено, що введення до епоксидних покриттів близько 10 мас.% нанорозмірного титану (70–130 нм) забезпечує максимальне підвищення корозійної стійкості. Це пояснюється ущільненням структури полімерної матриці та зменшенням коефіцієнта дифузії води й агресивних іонів через покриття. Додаткове покращення характеристик досягається шляхом поверхневої модифікації наночастинок, що сприяє кращій сумісності з полімерною матрицею та зменшенню ризику розшарування покриття.

Для наночастинок алюмінію встановлено, що найбільш ефективними є концентрації близько 1 мас.% у водорозчинних епоксидних системах. За таких умов спостерігається максимальний імпеданс покриття та найвища корозійна стійкість. Збільшення вмісту наповнювача понад оптимальний рівень призводить до агломерації частинок, зростання пористості та погіршення захисних властивостей. Водночас при високому вмісті алюмінієвого пігменту

(30–40 % за об'ємом) додатково реалізуються механізми електрохімічного захисту та ущільнення структури за рахунок продуктів корозії алюмінію.

Серед оксидних нанопокривачів найбільшого поширення набули SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO , ZrO_2 та CeO_2 . Їх антикорозійна дія насамперед пов'язана із заповненням мікропор і дефектів полімерної матриці та збільшенням звивистості шляху дифузії корозійно-активних агентів.

Для наночастинок SiO_2 встановлено, що оптимальний вміст зазвичай знаходиться в межах 2–6 мас.%. Введення близько 3 мас.% нанокремнезему дозволяє збільшити кут змочування поверхні приблизно з 52° до 97° , що свідчить про підвищення гідрофобності та покращення антикорозійних властивостей покриття. У деяких багатокомпонентних системах кут змочування може досягати 130 – 158° , що відповідає формуванню супергідрофобних поверхонь. При цьому найбільш ефективними є частинки розміром 50–80 нм, які забезпечують оптимальне поєднання адгезійних, механічних та захисних характеристик.

Наночастинки TiO_2 характеризуються високою хімічною стабільністю та стійкістю до ультрафіолетового випромінювання. Особливо ефективними є мезопористі структури TiO_2 , які завдяки розвиненій питомій поверхні забезпечують краще просочення полімерною матрицею та значно підвищують бар'єрні властивості покриттів. Проте через високу поверхневу енергію такі частинки потребують додаткової функціоналізації для запобігання агломерації.

Для наночастинок Al_2O_3 позитивний ефект спостерігається навіть при низьких концентраціях близько 0,1 мас.%, тоді як максимальна ефективність досягається в діапазоні 1–3,5 мас.%. За таких умов суттєво підвищується імпеданс покриття, зменшується проникність електроліту та покращуються механічні характеристики композиту.

Наночастинки ZnO поєднують бар'єрний та активний механізми захисту. Завдяки утворенню іонів Zn^{2+} та подальшому формуванню захисних малорозчинних сполук на межі «покриття–метал» забезпечується додаткове інгібування корозійних процесів. Порівняльні дослідження свідчать про вищу

ефективність нанорозмірного ZnO порівняно з мікророзмірними аналогами через значно більшу питому поверхню та кращий бар'єрний ефект.

Особливий інтерес становить оксид церію. Наночастинки CeO_2 забезпечують не лише ущільнення полімерної структури, але й реалізують механізм активного захисту. У процесі експлуатації відбувається утворення іонів Ce^{3+} та Ce^{4+} , які беруть участь у формуванні пасивуючих оксидно-гідроксидних шарів на поверхні металу. Це забезпечує додатковий антикорозійний ефект навіть у разі локального пошкодження покриття.

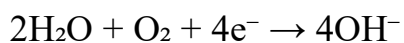
Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить, що наночастинки металів та оксидів металів є одними з найефективніших модифікаторів полімерних антикорозійних покриттів. Найкращі результати досягаються за використання оптимальних концентрацій нанонаповнювачів, які зазвичай не перевищують 1–10 мас.%, а також за умови їх рівномірного диспергування та належної поверхневої модифікації.

Електрохімічні процеси в системі «сталь–епоксидне покриття з CeO_2 » можна узагальнити такими реакціями [2]:

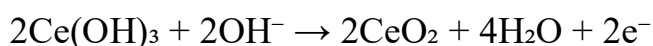
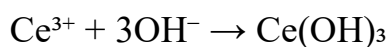
Анодний процес:



Катодний процес:



Подальші перетворення:



Таким чином, утворюється захисний оксидно-гідроксидний шар, який стабілізує поверхню металу.

Серед перспективних неорганічних нанонаповнювачів для антикорозійних полімерних покриттів важливе місце посідають оксиди церію, оксиди заліза, карбіди, нітриди та кальційвмісні наноматеріали. Аналіз літературних джерел свідчить, що їх використання дозволяє суттєво підвищити захисні властивості покриттів завдяки поєднанню бар'єрного, пасивуючого та електрохімічного механізмів захисту.

Особливий інтерес становлять композиційні системи на основі SiO_2 та CeO_2 , для яких характерний синергетичний ефект. Оксид кремнію сприяє формуванню додаткового бар'єра для проникнення корозійно-активних агентів та утворенню захисних силікатних структур, тоді як оксид церію бере участь у процесах пасивації поверхні металу. Поєднання цих механізмів забезпечує більш ефективний захист металеві основи від корозійного руйнування.

Важливим фактором, що визначає ефективність нанонаповнювачів, є ступінь їх диспергування в полімерній матриці. Для запобігання агломерації наночастинок застосовують різноманітні методи поверхневої модифікації, зокрема силанізацію, використання поверхнево-активних речовин та функціоналізацію органічними сполуками. Такі підходи сприяють покращенню сумісності наповнювачів із полімерною матрицею, підвищенню міжфазної адгезії та формуванню більш щільної структури покриття.

Ефективними нанонаповнювачами [22] також є оксиди заліза Fe_2O_3 та Fe_3O_4 , які забезпечують підвищення механічної міцності, вологостійкості та бар'єрних властивостей полімерних покриттів. Їх антикорозійна дія пов'язана зі здатністю зменшувати проникність покриття для води та агресивних іонів, а також сприяти утворенню малорозчинних захисних продуктів корозії на поверхні металу. Для підвищення ефективності таких систем широко використовують механічну та хімічну модифікацію поверхні наночастинок, що забезпечує їх рівномірний розподіл у полімерній матриці.

Перспективним напрямом є застосування гібридних наноструктур типу «ядро–оболонка», які дозволяють поєднувати переваги різних матеріалів в одній частинці. Такі системи характеризуються підвищеною стабільністю, покращеною сумісністю з полімерною матрицею та більш високими антикорозійними властивостями порівняно з індивідуальними нанонаповнювачами.

Окрему групу становлять двовимірні наноматеріали, зокрема наноскляні пластівці, які завдяки високому аспектному співвідношенню та низькій проникності для газів і рідин суттєво підвищують бар'єрні властивості покриттів. Їх використання сприяє формуванню довгого звивистого шляху

дифузії для корозійно-активних компонентів середовища, що значно уповільнює розвиток корозійних процесів.

Серед сучасних функціональних нанонаповнювачів значний інтерес викликають також гексагональний нітрид бору та карбід кремнію. Ці матеріали характеризуються високою хімічною стійкістю, механічною міцністю та здатністю ефективно перешкоджати проникненню агресивних середовищ через полімерне покриття. У поєднанні з електропровідними полімерними компонентами вони забезпечують одночасну реалізацію бар'єрного та пасивуючого механізмів захисту.

Перспективним і економічно доступним нанонаповнювачем є нанокарбонат кальцію [2]. Завдяки високій питомій поверхні та малим розмірам частинок він сприяє підвищенню механічних властивостей, термічної стабільності та корозійної стійкості полімерних композитів. Разом із тим для забезпечення ефективної взаємодії з полімерною матрицею необхідною є попередня модифікація поверхні наночастинок. Функціоналізація нано- CaCO_3 дозволяє зменшити агломерацію, покращити адгезію між компонентами композиту та формувати покриття з підвищеними водовідштовхувальними властивостями. Рівномірний розподіл таких частинок у полімерній матриці сприяє формуванню щільної структури покриття та забезпечує підвищення його довговічності в агресивних умовах експлуатації.

Нанонаповнювачі здатні суттєво підвищувати антикорозійну ефективність полімерних покриттів завдяки реалізації комплексу взаємопов'язаних механізмів захисту (рис. 1.1).

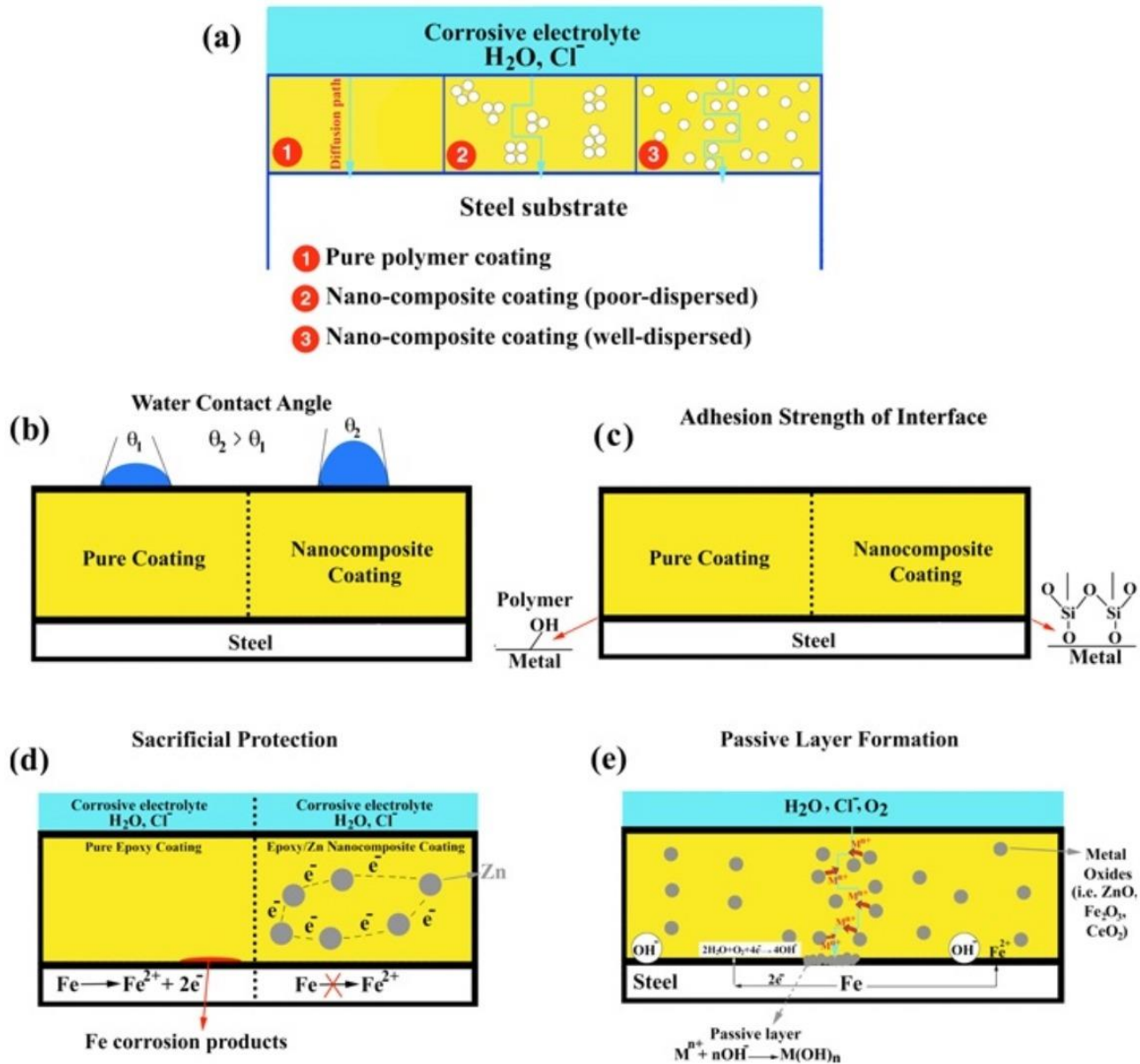


Рисунок 1.1 – Основні механізми підвищення антикорозійної стійкості нанокompозитних полімерних покриттів [2]:

- а – бар’єрний ефект наноаповнювачів та подовження дифузійного шляху для корозійно-активних агентів (H_2O, Cl^-);
- б – підвищення гідрофобності поверхні покриття та збільшення кута змочування;
- в – посилення адгезійної взаємодії між покриттям і металевою підкладкою;
- г – катодний (жертвний) захист металу за рахунок електрохімічно активних наноаповнювачів;
- д – формування пасивуючого оксидно-гідроксидного шару на поверхні металу.

Одним із ключових механізмів є підвищення бар’єрних властивостей покриття (рис. 1.1, а). Рівномірно дисперговані наночастинки формують у

полімерній матриці звивистий дифузійний шлях для молекул води, кисню та агресивних іонів, зокрема хлорид-іонів. У результаті суттєво сповільнюється проникнення корозійно-активних агентів до поверхні металу та зменшується швидкість розвитку корозійних процесів.

Важливим чинником підвищення захисної ефективності є збільшення гідрофобності поверхні покриття (рис. 1.1, б). Введення нанонаповнювачів та їх поверхнева модифікація сприяють збільшенню кута змочування водою, що знижує площу контакту електроліту з поверхнею покриття та обмежує сорбцію вологи полімерною матрицею.

Крім того, наночастинки можуть покращувати адгезійну міцність на межі поділу «метал – покриття» (рис. 1.1, в). Завдяки наявності функціональних груп на поверхні нанонаповнювачів утворюються додаткові хімічні зв'язки між металевою підкладкою та полімерною матрицею, що підвищує стійкість покриття до відшарування та підплівкової корозії.

Для металевих нанонаповнювачів, зокрема цинку та алюмінію, характерною є реалізація механізму катодного (жертвовного) захисту (рис. 1.1, г). У цьому випадку наночастинки виступають анодними компонентами системи та окиснюються раніше за металеву основу, забезпечуючи електрохімічний захист сталі від корозійного руйнування.

Додатковим механізмом є формування пасивуючих оксидних та гідроксидних шарів на поверхні металу (рис. 1.1, д). Наночастинки оксидів металів або продукти їхньої взаємодії з корозійним середовищем здатні утворювати щільні захисні плівки, які блокують активні центри корозії та перешкоджають подальшому перебігу електрохімічних процесів.

Таким чином, ефективність нанокомпозитних антикорозійних покриттів зумовлена синергетичною дією бар'єрного, гідрофобного, адгезійного, катодного та пасивуючого механізмів захисту, що забезпечує істотне підвищення довговічності металевих конструкцій в агресивних умовах експлуатації.

1.4. Висновок

У результаті аналізу науково-технічної літератури встановлено, що корозія металів залишається однією з найважливіших проблем сучасної промисловості, оскільки призводить до значних економічних втрат, зниження надійності конструкцій та скорочення терміну їх експлуатації. Одним із найбільш ефективних і технологічно доступних способів захисту металевих поверхонь є застосування полімерних антикорозійних покриттів, які забезпечують ізоляцію металу від впливу агресивних компонентів навколишнього середовища.

Показано, що традиційні полімерні покриття, незважаючи на високі захисні властивості, мають певні недоліки, пов'язані з проникненням води та кисню через полімерну матрицю, обмеженою адгезією до металевої основи та можливістю розвитку підплівкової корозії. Перспективним напрямом підвищення їх експлуатаційних характеристик є створення нанокомпозитних матеріалів шляхом введення до складу полімерної матриці нанорозмірних наповнювачів.

Аналіз сучасних досліджень свідчить, що використання наночастинок оксидів металів, шаруватих силікатів, вуглецевих наноматеріалів та інших функціональних нанодобавок сприяє суттєвому підвищенню корозійної стійкості покриттів. Позитивний ефект досягається завдяки формуванню більш ефективного бар'єру для дифузії води, кисню та агресивних іонів, збільшенню гідрофобності поверхні, покращенню адгезійної міцності на межі поділу фаз, реалізації механізмів катодного захисту та утворенню пасивуючих захисних шарів.

Встановлено, що ефективність нанокомпозитних покриттів значною мірою визначається природою нанонаповнювача, його концентрацією, ступенем диспергування в полімерній матриці та характером міжфазної взаємодії між компонентами системи. Особливого значення набуває забезпечення рівномірного розподілу наночастинок у полімері, оскільки агломерація наповнювача може призводити до погіршення захисних властивостей покриття.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ТА МЕТОДОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Метою даної роботи є розроблення технології отримання корозійностійких епоксидних полімерних композиційних матеріалів, призначених для захисту будівельних конструкцій від впливу агресивних середовищ, а також підвищення їх довговічності, надійності та експлуатаційної стійкості в умовах тривалої дії корозійних чинників.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення комплексу взаємопов'язаних науково-технічних завдань, спрямованих на вдосконалення складу, структури та технології формування епоксидних композиційних матеріалів. У зв'язку з цим у роботі були сформульовані такі основні завдання дослідження:

- провести аналіз сучасного стану використання корозійностійких епоксидних матеріалів та визначити основні напрями їх модифікації;
- обґрунтувати вибір олігомерів, отверджувачів та функціональних наповнювачів для створення епоксидних композицій із покращеними експлуатаційними властивостями;
- розробити технологічну схему отримання епоксидних композиційних матеріалів із урахуванням особливостей дозування, змішування, фасування та пакування компонентів;
- дослідити фізико-механічні, водостійкі, хімічно стійкі та антикорозійні властивості розроблених композиційних матеріалів;
- встановити вплив тиксотропних та дисперсних наповнювачів на структуру і властивості епоксидних композицій;
- здійснити техніко-економічну оцінку ефективності запропонованої технології та визначити перспективи її практичного застосування у будівельній галузі.

2.1. Структура та властивості досліджуваних олігомерів і добавок

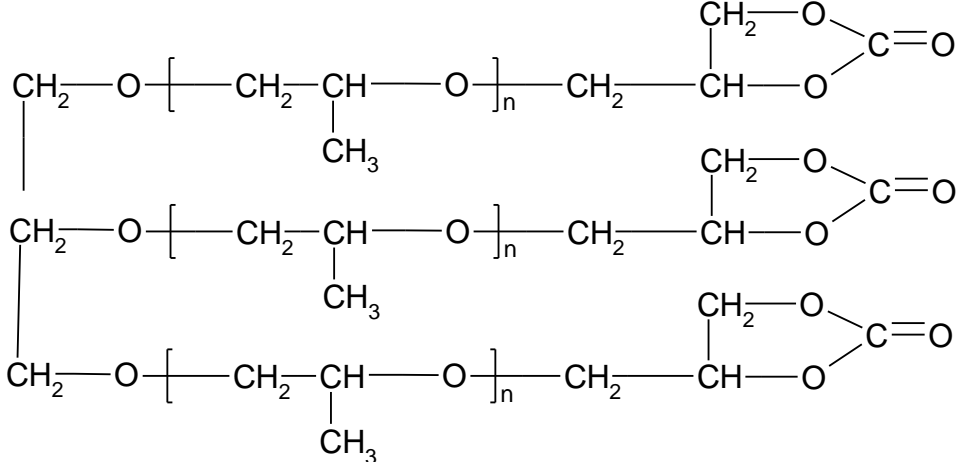
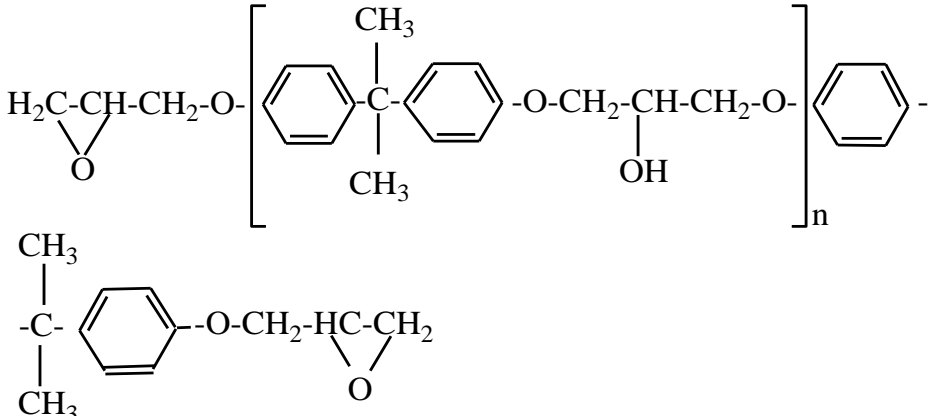
Корозійностійкі епоксидні покриття [4-16] широко застосовуються в сучасній промисловості завдяки високим показникам адгезійної міцності, хімічної стійкості, довговічності та здатності захищати металеві поверхні від дії агресивних середовищ. Особливого значення набуває розроблення

модифікованих епоксидних композицій, які поєднують високі антикорозійні властивості з покращеними механічними та термічними характеристиками. Актуальність таких досліджень обумовлена необхідністю створення сучасних полімерних матеріалів, здатних ефективно працювати в умовах підвищених температур, вібраційних навантажень та агресивного впливу навколишнього середовища.

Для отримання модифікованого епоксидного матеріалу використовували зв'язуючий компонент (епоксидну смолу марки ЕД-20) та пластифікатор (ОЦК). Як отверджувач застосовували діетилентріамін (ДЕТА).

Структурні формули використаних олігомерів наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Структурні формули використаних олігомерів

Марка олігомера	Формула
ОЦК ТУ 6-05-221-995-88	
Епоксидна смола ДСТУ-2093-92	

У таблиці 2.1 представлено структурні формули двох основних олігомерів, що використовуються для синтезу модифікованих епоксидних полімерів. Лапролат-803 є циклокарбонатвмісним олігоєфіром, який забезпечує

формування гнучких сегментів у полімерній матриці та покращує її еластичність. Епоксиднодіановий олігомер ЕД-20, у свою чергу, сприяє утворенню жорсткого сітчастого каркаса з високими адгезійними та термостійкими властивостями. Спільне використання цих компонентів дозволяє досягти оптимального співвідношення міцності у композиційних матеріалах. Їх хімічна структура відіграє ключову роль у формуванні бажаних експлуатаційних характеристик кінцевого продукту.

Основні характеристики використаних олігомерів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. – Основні характеристики використаних олігомерів

Характеристики	Марки олігомерів	
	ОЦК	ЕД-20
Зовнішній вигляд	В'язка прозора рідина від світло-коричневого до темно-коричневого кольору	В'язка прозора рідина світло-жовтого кольору
Вміст епоксидних груп, %	2,5	20 – 22,5
Вміст циклокарбонатних груп, %	21 – 31	–
Вміст кремнію, %	–	–
Динамічна в'язкість при 25 °С, Па·с	2,5 – 4,5	13 – 20
Масова частка летючих речовин, %, не більше	–	0,5
Масова частка омилюваного хлору, %, не більше	-	0,5
Гідроксильних груп, %, не більше	–	1,7

В якості отверджувачого компоненту використовується отверджувач амінного типу діетилентриамін (ДЕТА), структурна формула якого представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Структурні формула амінного отверджувача

Марка, ТУ	Формула
ДЕТА 6-02-914-86	$\text{NH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---NH---CH}_2\text{---CH}_2\text{---NH}_2$

Основні характеристики отверджувача ДЕТА наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики отверджувача ДЕТА

Характеристики	Марка отверджувача або умовне позначення
	ДЕТА
Зовнішній вигляд	Безбарвна гігроскопічна рідина
Щільність, при 298 К, г/см ³	0,96
Масова частка азоту, %	40,7
Динамічна в'язкість, мПа, при 298 К	20
Стехіометричний коефіцієнт	0,48

Для регулювання тиксотропних та експлуатаційних властивостей епоксиполімерів використовували дисперсні мінеральні наповнювачі, що відрізнялися природою оксидів та їх кількісним співвідношенням. Як наповнювачі застосовували повітряно-сухі природні мінерали, білу сажу та аеросил марки А-175 (ТУ У 24,6-05540209-006:2006). Розміри частинок становив 10–40 нм. Мінеральний склад наповнювачів наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 Мінеральний склад наповнювачів

Наповнювач	Мінеральний склад, % мас.						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O
Біла сажа	99,0	-	-	-	-	-	-
Аеросил	99,9	0,05	-	0,003	0,03	-	-

2.2 Технологічного процесу виготовлення епоксидних композиційних матеріалів

Схема технологічного процесу виготовлення епоксидних композиційних матеріалів представлена на рисунку 2.1.

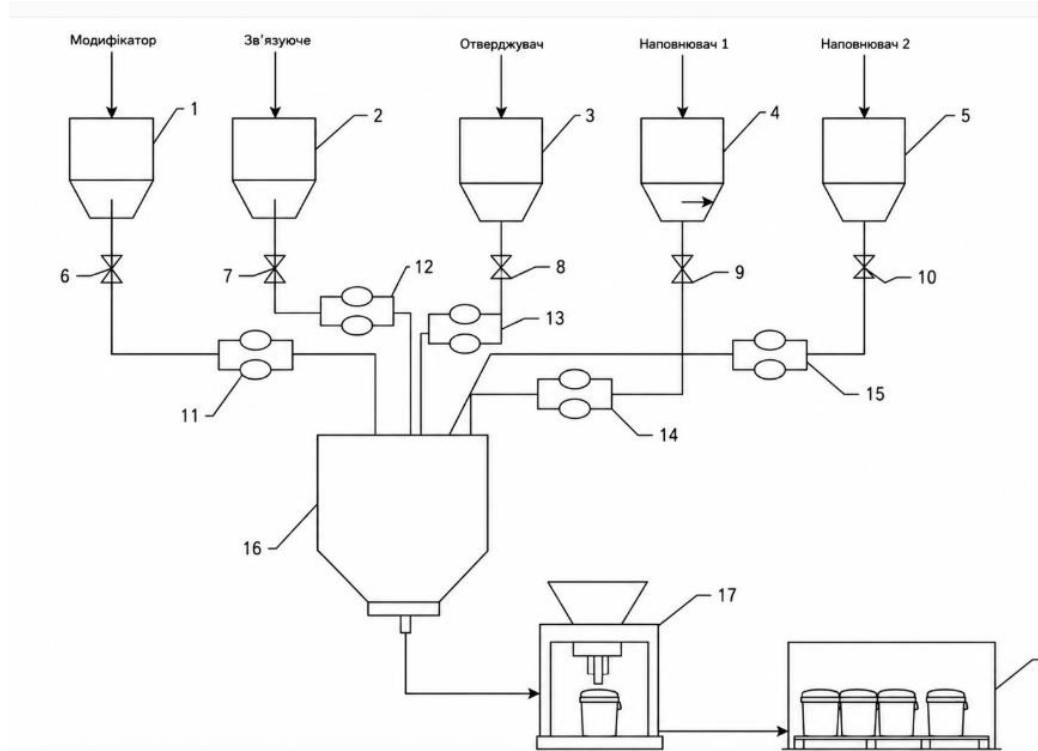


Рисунок 2.1 – Схема технологічного процесу виготовлення корозійностійких епоксидних композицій:

1, 2, 3, 4, 5– дозатори; 6, 7, 8, 9, 10 – витратоміри; 11, 12, 13, 14, 15 – насоси;
16 – змішувач; 17 – фасувальна установка; 18 –пакувальний вузол

Рисунок 2.1 ілюструє схему технологічного процесу виготовлення корозійностійких епоксидних композицій [31], яка забезпечує послідовне дозування, транспортування та змішування компонентів для отримання однорідного композиційного матеріалу із заданими фізико-хімічними властивостями.

Технологічна схема включає п'ять дозаторів 1–5, призначених для подачі основних складових композиції: модифікатора, зв'язуючого, отверджувача та наповнювачів. Кожен дозатор забезпечує контрольоване надходження

компонентів у систему відповідно до встановленої рецептури, що є важливою умовою стабільності властивостей кінцевого продукту.

Для контролю витрати компонентів у схемі передбачено витратоміри 6–10. Їх застосування дозволяє забезпечити точність дозування та підтримання необхідного співвідношення між компонентами композиції. Це особливо важливо при виготовленні епоксидних систем, оскільки навіть незначне відхилення від рецептури може негативно вплинути на процес отвердження та експлуатаційні характеристики матеріалу.

Подача компонентів від дозаторів до основного апарата здійснюється за допомогою насосів 11–15. Насоси забезпечують безперервне транспортування рідких або в'язких компонентів по технологічних лініях та створюють необхідний робочий тиск у системі.

Основним вузлом технологічної схеми є змішувач 16, у якому відбувається інтенсивне перемішування всіх складових композиції. У змішувачі забезпечується рівномірний розподіл компонентів по всьому об'єму суміші, що сприяє формуванню однорідної структури епоксидної композиції та підвищенню її корозійної стійкості, механічної міцності й адгезійних властивостей.

Таким чином, представлена технологічна схема забезпечує безперервність процесу виробництва, точність дозування компонентів та ефективне змішування, що є необхідними умовами отримання якісних корозійностійких епоксидних композицій.

Контроль якості вихідної сировини

На початковому етапі технологічного процесу виготовлення епоксидних полімерних композицій здійснюється комплексний вхідний контроль якості вихідної сировини, оскільки саме характеристики початкових компонентів значною мірою визначають фізико-механічні, технологічні та експлуатаційні властивості готового матеріалу. Основною метою цього етапу є забезпечення стабільності рецептури, попередження виникнення технологічних дефектів та гарантування високої якості кінцевої продукції.

Особлива увага приділяється контролю епоксидної смоли, яка є базовим компонентом композиції та формує просторову структуру полімерної матриці. Смола повинна відповідати встановленим нормативним вимогам щодо чистоти, прозорості, в'язкості та однорідності. Не допускається наявність механічних домішок, осаду, розшарувань або помутніння, оскільки такі дефекти можуть свідчити про часткову деструкцію матеріалу або порушення умов його зберігання. Одним із найбільш важливих параметрів є вологість смоли, оскільки навіть незначний вміст води негативно впливає на процес полімеризації, спричиняє утворення пористості та знижує механічну міцність готового матеріалу.

Отверджувачі також підлягають ретельному контролю, оскільки саме вони забезпечують формування тривимірної полімерної сітки та визначають ступінь отвердження композиції. Під час контролю перевіряють їх хімічну стабільність, однорідність, реакційну здатність, а також відповідність терміну придатності. Використання отверджувачів із порушеними фізико-хімічними характеристиками може призвести до неповного отвердження матеріалу, погіршення адгезійних властивостей та зниження корозійної стійкості покриття.

Наповнювачі, зокрема поліфосфат амонію та гідрофобізований аеросил, контролюються за показниками дисперсності, чистоти та залишкової вологості. Вміст води в наповнювачах не повинен перевищувати встановлених нормативних значень, оскільки надлишкова вода може викликати агломерацію частинок, утворення внутрішніх дефектів та погіршення рівномірності структури композиції. За необхідності наповнювачі піддають попередньому сушінню в сушильних установках за температури 55–60 °C до досягнення нормативних параметрів вологості.

Усі результати вхідного контролю фіксуються у відповідній технологічній документації та журналах контролю якості. Лише після підтвердження відповідності всіх компонентів встановленим вимогам сировина допускається до подальшого використання у виробничому процесі. Такий підхід забезпечує стабільність технологічного процесу, високу якість готової продукції та

відповідність сучасним вимогам матеріалознавства й промислового виробництва.

Дозування компонентів

Етап дозування компонентів є одним із ключових у технологічному процесі виготовлення епоксидних композицій, оскільки саме на цьому етапі формується точне співвідношення складових, від якого безпосередньо залежать структура, фізико-механічні властивості та довговічність готового матеріалу. Порушення рецептури навіть у незначних межах може призвести до зміни кінетики полімеризації, погіршення адгезії, зниження міцності та корозійної стійкості композиції.

Подача компонентів здійснюється за допомогою автоматизованих дозаторів (1–5), кожен з яких призначений для окремого компонента технологічної системи. Епоксидна смола виконує функцію основної полімерної матриці, отверджувач забезпечує формування просторової структури матеріалу, а наповнювачі та модифікатори використовуються для регулювання механічних, теплофізичних та антикорозійних властивостей композиції.

Для забезпечення високої точності дозування у технологічній схемі використовуються витратоміри (6–10), які забезпечують безперервний контроль кількості поданих компонентів. Застосування сучасних електронних систем контролю дозволяє підтримувати стабільність рецептури в автоматичному режимі та мінімізувати похибки під час роботи обладнання. Це особливо важливо при виробництві багатокомпонентних полімерних систем, де навіть незначне відхилення у співвідношенні складових може негативно вплинути на процес отвердження та експлуатаційні характеристики готової продукції.

Точність дозування забезпечує однорідність композиції, стабільність технологічного процесу та відтворюваність властивостей матеріалу. Крім того, автоматизація процесу дозування дозволяє підвищити продуктивність виробництва, зменшити витрати сировини та забезпечити ефективний контроль технологічних параметрів.

Перекачування та змішування компонентів

Етап перекачування та змішування компонентів є визначальним у формуванні однорідної структури епоксидної композиції та забезпеченні необхідних експлуатаційних властивостей готового матеріалу. Основним завданням цього етапу є досягнення максимально рівномірного розподілу всіх складових у полімерній матриці та створення умов для ефективного перебігу процесу полімеризації.

Транспортування компонентів до змішувального вузла здійснюється за допомогою насосів (11–15), які забезпечують стабільний і контрольований потік матеріалів у технологічній системі. Для роботи з в'язкими та хімічно агресивними середовищами використовуються шестеренні насоси з антикорозійним покриттям і герметичними ущільненнями. Таке конструктивне виконання забезпечує надійність роботи обладнання, запобігає витокам матеріалу та підвищує довговічність експлуатації системи.

Основним апаратом технологічної схеми є змішувач (16), у якому відбувається інтенсивне перемішування компонентів композиції. У процесі змішування забезпечується рівномірний розподіл наповнювачів і модифікаторів у смолі, що є необхідною умовою формування стабільної структури матеріалу та досягнення високих механічних і антикорозійних властивостей.

Однією з важливих вимог даного етапу є мінімізація вмісту повітря в композиції. Наявність повітряних включень може призвести до утворення пористості, зниження міцності та погіршення експлуатаційних характеристик готового матеріалу. Для усунення цього недоліку застосовується вакуумне змішування, яке забезпечує видалення залишкового повітря та покращує однорідність структури композиції.

Після завершення процесу змішування готова композиція подається на фасувальну установку (17), де здійснюється дозоване наповнення підготовленої тари. Автоматизована фасувальна установка забезпечує точне дозування матеріалу, герметичність заповнення та мінімізацію втрат композиції під час фасування. Це дозволяє підтримувати стабільність маси продукції та забезпечує зручність подальшого транспортування й зберігання.

Після фасування продукція надходить до пакувального вузла (18), у якому виконується групове пакування готової продукції, її герметизація та підготовка до транспортування. Пакувальний вузол забезпечує захист матеріалу від механічних пошкоджень, впливу вологи та забруднень під час зберігання і транспортування. Автоматизація пакувального процесу сприяє підвищенню продуктивності виробництва та забезпечує належний товарний вигляд готової продукції.

Таким чином, правильно організований процес перекачування, змішування, фасування та пакування компонентів забезпечує стабільність технологічного процесу, високу якість композиції та формування матеріалу з прогнозованими фізико-хімічними властивостями.

Контроль якості готової продукції

Контроль якості готової продукції є завершальним та одним із найбільш відповідальних етапів технологічного процесу виготовлення епоксидних композицій. Основною метою даного етапу є підтвердження відповідності отриманого матеріалу встановленим нормативним вимогам, технічним умовам та експлуатаційним характеристикам.

На першому етапі контролю проводиться візуальна оцінка зовнішнього вигляду матеріалу та перевірка герметичності фасування. Особлива увага приділяється відсутності дефектів, таких як порожнини, тріщини, розшарування, нерівномірність структури або пошкодження тари, що можуть негативно вплинути на якість та довговічність продукції.

Подальший контроль включає визначення фізико-механічних характеристик матеріалу, зокрема міцності, твердості, еластичності, адгезії та стійкості до механічних навантажень. Для епоксидних композицій важливим показником є також рівень корозійної стійкості та стабільність властивостей під впливом агресивних середовищ.

Окрему увагу приділяють дослідженню однорідності структури матеріалу. Нерівномірний розподіл наповнювачів або наявність внутрішніх дефектів можуть суттєво знизити довговічність та надійність готової продукції. Для цього

застосовуються як візуальні методи контролю, так і мікроскопічні дослідження структури композиції.

Після завершення контролю продукція проходить остаточне пакування та маркування. На упаковку наносяться дані про партію, дату виготовлення, умови зберігання та основні технічні характеристики матеріалу. Готова продукція допускається до відвантаження лише після підтвердження її відповідності встановленим стандартам якості.

Комплексний контроль якості на всіх стадіях виробництва забезпечує високу надійність, довговічність та ефективність епоксидних композицій, що є необхідною умовою їх успішного застосування у сучасному промисловому виробництві.

2.3. Вибір обладнання та матеріалів для технологічного процесу

Дозатори

Для забезпечення точного дозування компонентів [31] у процесі виготовлення корозійностійких епоксидних композицій було обрано автоматичні дозатори марки METER MIX серії LiquidFlow 30. Дане обладнання призначене для роботи з рідкими та в'язкими матеріалами, зокрема епоксидними смолами, отверджувачами та модифікаторами.

Вибір дозаторів цієї марки обумовлений їх високою точністю роботи, надійністю та можливістю безперервної подачі компонентів у заданому співвідношенні. У конструкції дозаторів використовується шестеренний механізм подачі, який забезпечує рівномірний потік матеріалів без пульсацій. Це дозволяє підтримувати стабільність рецептури та покращує якість готової композиції.

Дозатори забезпечують автоматичне регулювання витрати компонентів залежно від параметрів технологічного процесу. Використання електронної системи керування дозволяє контролювати точність дозування та мінімізувати похибки під час роботи установки.

Корпус обладнання виготовлений із нержавіючої сталі марки AISI 316, яка характеризується високою корозійною стійкістю та стійкістю до впливу агресивних хімічних середовищ. Для ущільнювальних елементів застосовуються

фторопластові матеріали, що забезпечують герметичність системи та довговічність обладнання.

У технологічній схемі дозатори 1–5 використовуються для подачі модифікатора, зв'язуючого, отверджувача та наповнювачів у змішувач. Їх застосування забезпечує точне дотримання рецептури, стабільність технологічного процесу та високу якість корозійностійких епоксидних композицій.

Витратоміри

Для контролю подачі компонентів у технологічному процесі виготовлення корозійностійких епоксидних композицій було обрано витратоміри марки Siemens SITRANS F M MAG 5100W. Дані прилади забезпечують точне вимірювання витрати рідких та в'язких середовищ, що є важливою умовою стабільності технологічного процесу та дотримання рецептури композиції.

Вибір витратомірів цієї марки обумовлений високою точністю вимірювання, надійністю роботи та можливістю експлуатації у хімічно агресивних середовищах. Електромагнітний принцип дії приладів дозволяє здійснювати безконтактне вимірювання потоку компонентів без створення додаткового гідравлічного опору в системі. Це забезпечує стабільність подачі епоксидних смол, отверджувачів та модифікаторів до змішувача.

Витратоміри оснащені електронною системою контролю, яка дозволяє здійснювати автоматичний моніторинг витрати компонентів у режимі реального часу. Отримані дані використовуються для регулювання роботи дозаторів і насосів, що забезпечує точність співвідношення складових композиції та підвищує якість готового матеріалу.

Корпус приладів виготовлений із нержавіючої сталі, стійкої до впливу агресивних речовин та корозії. Внутрішнє покриття вимірювальних каналів виконане з хімічно стійких полімерних матеріалів, які запобігають пошкодженню обладнання під час контакту з епоксидними компонентами.

У технологічній схемі витратоміри 6–10 встановлені на лініях подачі компонентів і забезпечують контроль їх витрати перед надходженням у змішувач. Використання даного обладнання дозволяє підвищити точність

технологічного процесу, зменшити втрати сировини та забезпечити стабільні фізико-хімічні властивості корозійностійких епоксидних композицій.

Насоси

Для транспортування компонентів у процесі виготовлення корозійностійких епоксидних композицій було обрано шестеренні насоси марки Viking Pump Universal Seal Series. Дане обладнання призначене для перекачування в'язких рідин, зокрема епоксидних смол, отверджувачів та модифікаторів, і забезпечує стабільну подачу компонентів у технологічній системі.

Вибір насосів цієї марки обумовлений їх високою продуктивністю, надійністю та здатністю працювати з рідинами підвищеної в'язкості. Шестеренний принцип дії забезпечує рівномірне переміщення компонентів без значних пульсацій потоку, що є важливим для стабільного дозування та якісного змішування компонентів композиції.

Насоси оснащені герметичною системою ущільнення, яка запобігає витоків матеріалів і забезпечує безпечну експлуатацію обладнання. Регулювання продуктивності насосів здійснюється автоматично залежно від параметрів технологічного процесу, що дозволяє підтримувати необхідний тиск та витрату компонентів у системі.

Корпус насосів виготовлений із нержавіючої сталі марки AISI 316, яка характеризується високою механічною міцністю та стійкістю до корозійного впливу агресивних середовищ. Для ущільнювальних елементів застосовуються фторопластові та полімерні матеріали, стійкі до дії епоксидних смол та отверджувачів.

У технологічній схемі насоси 11–15 забезпечують транспортування компонентів від дозаторів через витратоміри до змішувача. Їх використання дозволяє підтримувати безперервність технологічного процесу, забезпечувати точність подачі компонентів та підвищувати ефективність виробництва корозійностійких епоксидних композицій.

Змішувач

Для приготування корозійностійких епоксидних композицій було обрано змішувач марки ЕКАТО UNIMIX. Дане обладнання призначене для інтенсивного перемішування рідких і в'язких матеріалів та широко використовується у хімічній промисловості для виробництва полімерних композицій, лакофарбових матеріалів і смол.

Вибір змішувача цієї марки обумовлений високою ефективністю перемішування, можливістю роботи з багатоконпонентними системами та забезпеченням однорідності готової композиції. Конструкція змішувача дозволяє здійснювати одночасне перемішування, диспергування та гомогенізацію компонентів, що є важливим для рівномірного розподілу наповнювачів і модифікаторів у епоксидній смолі.

Змішувач оснащений високошвидкісною мішалкою, яка забезпечує інтенсивне перемішування компонентів та запобігає утворенню осаду або грудок. Регулювання швидкості обертання дозволяє підбирати оптимальний режим роботи залежно від в'язкості композиції та стадії технологічного процесу.

Корпус апарата виготовлений із нержавіючої сталі марки AISI 316, яка характеризується високою корозійною стійкістю та хімічною інертністю до компонентів епоксидної системи. Внутрішня поверхня змішувача має гладке покриття, що полегшує очищення обладнання та запобігає налипанню матеріалу на стінки апарата.

У технологічній схемі змішувач 16 є основним апаратом, у якому відбувається остаточне формування корозійностійкої епоксидної композиції. Саме в ньому забезпечується отримання однорідної суміші з необхідними фізико-хімічними та експлуатаційними властивостями. Використання змішувача ЕКАТО UNIMIX дозволяє підвищити якість готової продукції, забезпечити стабільність технологічного процесу та зменшити тривалість приготування композиції.

Фасувальна установка

Для фасування готових корозійностійких епоксидних композицій було обрано автоматичну фасувальну установку марки PACK LINE PL-1000. Дане

обладнання призначене для дозованого розливу в'язких рідких матеріалів у пластикову або металеву тару різного об'єму.

Вибір фасувальної установки цієї марки обумовлений високою точністю дозування, автоматизацією процесу та можливістю роботи з епоксидними композиціями підвищеної в'язкості. Установка забезпечує рівномірне заповнення тари без втрат матеріалу та запобігає потраплянню повітря у готову продукцію.

Конструкція обладнання включає дозувальний механізм, систему подачі тари та пристрій герметизації. Регулювання об'єму фасування здійснюється автоматично, що дозволяє забезпечити стабільність маси готової продукції та підвищити продуктивність виробництва.

Корпус установки виготовлений із нержавіючої сталі марки AISI 304, яка характеризується високою стійкістю до корозії та дії хімічно активних компонентів. Робочі елементи, що контактують із композицією, виконані з хімічно стійких полімерних матеріалів.

У технологічній схемі фасувальна установка 17 призначена для подачі готової композиції зі змішувача в тару для подальшого пакування та транспортування.

Пакувальний вузол

Для завершальної стадії технологічного процесу було обрано пакувальний вузол марки Roboras Comrafta 6. Дане обладнання призначене для групового пакування готової продукції, її герметизації та підготовки до транспортування і складського зберігання.

Пакувальний вузол забезпечує автоматичне формування транспортних упаковок, укладання тари на піддони та фіксацію продукції за допомогою стрейч-плівки. Це дозволяє захистити готові епоксидні композиції від механічних пошкоджень, впливу вологи та забруднень під час транспортування.

Основними перевагами обраного обладнання є висока продуктивність, автоматизація процесу пакування та надійність роботи. Використання пакувального вузла дозволяє зменшити трудомісткість виробництва, прискорити відвантаження продукції та забезпечити збереження її якості.

Конструкція обладнання виконана з нержавіючої сталі та зносостійких матеріалів, що забезпечує довговічність експлуатації в умовах хімічного виробництва.

У технологічній схемі пакувальний вузол 18 є завершальним етапом виробництва, на якому готова продукція упаковується та готується до транспортування споживачеві.

2.4.Висновки

У результаті виконання технологічних та методологічних досліджень розроблено технологію отримання корозійностійких епоксидних композиційних матеріалів, призначених для захисту будівельних конструкцій і металевих поверхонь в умовах дії агресивних середовищ.

Обґрунтовано вибір основних компонентів композиції. Встановлено, що поєднання ЕД-20 з циклокарбонатвмісним модифікатором забезпечує формування просторово зшитої полімерної структури з покращеним комплексом експлуатаційних характеристик. Використання дисперсних кремнеземних наповнювачів (білої сажі та аеросилу) сприяє підвищенню тиксотропних властивостей, стабілізації структури композиції та покращенню технологічності її нанесення.

Розроблено технологічну схему виробництва епоксидних композицій, яка включає стадії вхідного контролю сировини, дозування компонентів, транспортування, змішування, фасування, пакування та контролю якості готової продукції. Запропонована схема забезпечує безперервність виробничого процесу, точність дозування та отримання однорідного композиційного матеріалу із прогнозованими фізико-хімічними властивостями.

Проведено вибір основного технологічного обладнання, що відповідає вимогам виробництва полімерних композицій підвищеної в'язкості. Використання автоматизованих дозаторів, електромагнітних витратомірів, шестеренних насосів, високоефективного змішувального обладнання, а також сучасних систем фасування і пакування дозволяє забезпечити стабільність технологічного процесу, знизити втрати сировини та підвищити якість готової продукції.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив наповнювачів на водо- та кислотостійкість епоксиполімерів

У сучасному матеріалознавстві та хімічній технології полімерів проблема підвищення стійкості епоксидних композицій до дії водних і агресивних середовищ належить до числа найбільш актуальних [1-4]. Це обумовлено широким використанням епоксидних полімерів у захисних покриттях, клеях, композитах конструкційного призначення та електротехнічних матеріалах, експлуатація яких відбувається в умовах підвищеної вологості, дії електролітів і хімічно активних реагентів. Довговічність таких матеріалів значною мірою визначається їхньою здатністю протистояти процесам сорбції та дифузії низькомолекулярних рідин у полімерну матрицю.

Згідно із сучасними уявленнями, дифузія рідких середовищ у наповнених аморфних сітчастих полімерах є складним багатофакторним процесом, який визначається сукупною дією фізико-хімічних та структурних параметрів системи. Найбільш суттєвий вплив мають природа агресивного середовища, полярність і розмір молекул дифузанта, ступінь просторового зшивання полімерної матриці, морфологія міжфазного шару, а також природа, дисперсність, форма і концентрація наповнювача. Особливу роль відіграє характер взаємодії між частинками наповнювача та полімерною матрицею, оскільки саме міжфазна область значною мірою визначає транспортні властивості композиційного матеріалу.

Введення високодисперсних нанонаповнювачів, зокрема аеросилу, дозволяє цілеспрямовано регулювати структуру полімерної сітки, зменшувати вільний об'єм та створювати додаткові бар'єри для дифузії молекул води й електролітів. Завдяки високій питомій поверхні аеросилу здатний формувати розвинену систему міжфазної взаємодії, що сприяє ущільненню структури композиту та підвищенню його експлуатаційної стабільності. Разом з тим надлишковий вміст нанодисперсного наповнювача може призводити до агрегації частинок, локальної неоднорідності структури та утворення дефектних зон, які полегшують проникнення агресивних середовищ у полімерну матрицю.

У зв'язку з цим особливий науковий і практичний інтерес становить дослідження процесів водо- та кислотопоглинання епоксиднолігоамідоамінних композицій, модифікованих аеросилом. Оцінка кінетики зміни маси матеріалів у процесі тривалої експозиції у водних та кислотних середовищах дозволяє встановити закономірності дифузійного масопереносу, визначити оптимальний вміст наповнювача та прогнозувати довговічність полімерних композитів в умовах експлуатації.

У даній роботі проведено дослідження водо- та кислотостійкості епоксиднолігоамідоамінних композицій залежно від концентрації аеросилу. Як агресивні середовища використовували дистильовану воду та 10 %-ний розчин сірчаної кислоти (H_2SO_4). Критерієм оцінки стійкості матеріалів слугувала зміна відносного приросту маси зразків у процесі тривалої витримки. Отримані результати дозволили встановити вплив аеросилу на дифузійно-сорбційні процеси, структурну стабільність та хімічну стійкість епоксидних композитів.

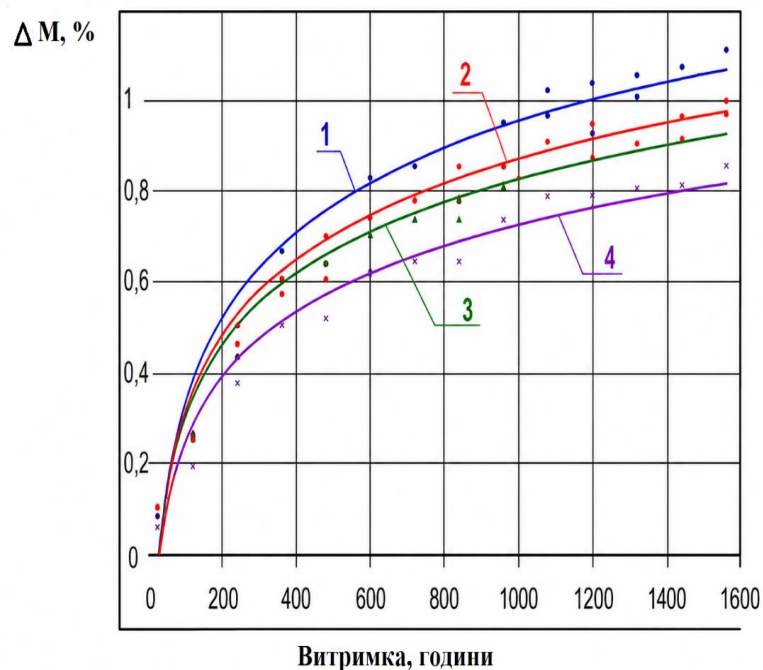


Рис. 3.1. Водостійкість модифікованих епоксидних композицій у часі залежно від вмісту аеросилу: 0 (1), 10 (2), 13 (3), 16 (4) мас. ч.

Досліджено кінетику водопоглинання модифікованих епоксидних композицій залежно від концентрації аеросилу. На рисунку показано зміну відносного приросту маси зразків (ΔM , %) у процесі витримки у водному середовищі протягом 1600 год.

Встановлено, що для всіх композицій характерний інтенсивний початковий етап поглинання вологи, який спостерігається у перші 200–400 год експозиції. Надалі швидкість дифузії води поступово зменшується, а криві наближаються до стаціонарного стану, що свідчить про насичення полімерної матриці вологою.

Введення аеросилу суттєво впливає на водостійкість епоксидного композиту. Найвище водопоглинання спостерігається для немодифікованої композиції (0 мас. ч. аеросилу), що пояснюється більшою рухливістю макромолекулярної сітки та наявністю вільного об'єму для дифузії молекул води.

Додавання 10–13 мас. ч. аеросилу сприяє зменшенню водопоглинання внаслідок ущільнення структури полімерної матриці, зростання міжфазної взаємодії та формування більш розвиненої просторової сітки. Дисперсні частинки аеросилу створюють додаткові бар'єри для дифузії вологи, що знижує швидкість проникнення води у матеріал.

Максимальне підвищення водостійкості спостерігається при вмісті 16 мас. ч. аеросилу. Для даної композиції характерні найменші значення ΔM протягом усього часу експозиції. Це свідчить про формування більш щільної та менш проникної структури композиту.

Отримані результати підтверджують ефективність використання аеросилу як нанодисперсного модифікатора для підвищення експлуатаційної стабільності епоксидних матеріалів у вологих середовищах.

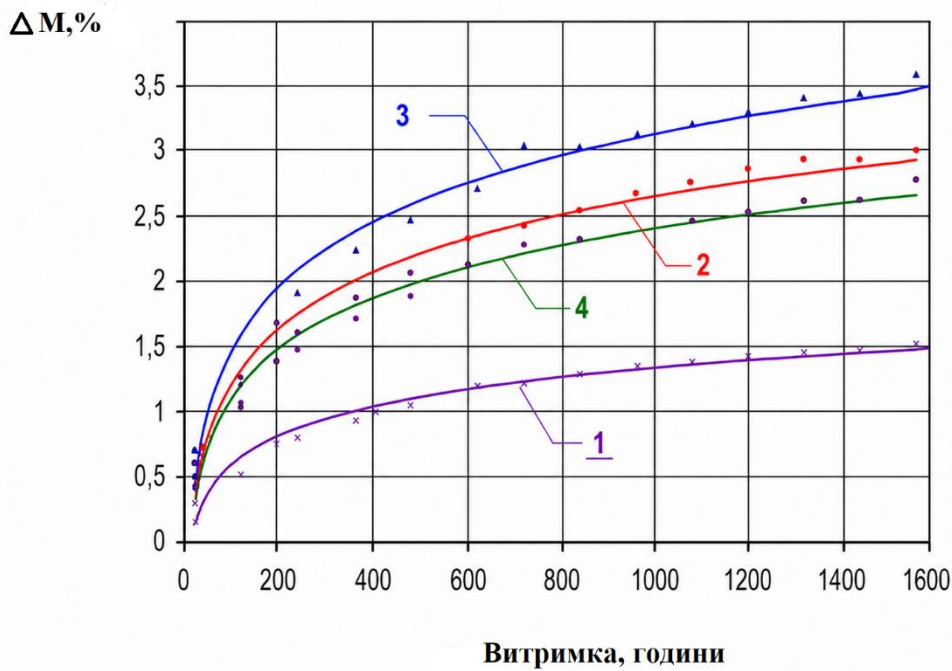


Рис. 3.2 Стійкість модифікованих епоксидних композицій до дії 10 %-ного розчину H_2SO_4 у часі залежно від вмісту аеросилу: 0 (1), 10 (2), 13 (3), 16 (4) мас. ч.

На рисунку наведено кінетику зміни маси епоксидних композицій під впливом 10%-го розчину сірчаної кислоти залежно від концентрації аеросилу. Параметр ΔM (%) характеризує ступінь поглинання агресивного середовища та інтенсивність фізико-хімічних процесів у полімерній матриці.

Аналіз експериментальних залежностей показує, що всі композиції характеризуються інтенсивним приростом маси на початковому етапі експозиції, особливо протягом перших 200–400 годин. Це пов'язано з дифузією кислотного розчину в об'єм полімеру та проникненням молекул H_2SO_4 у міжмолекулярний простір епоксидної сітки.

Для немодифікованої композиції (0 мас. ч. аеросилу, крива 1) спостерігаються найменші значення ΔM упродовж усього періоду випробувань. Це може свідчити про відносно меншу сорбційну здатність вихідної матриці, однак одночасно вказує на крихкість структури та можливість локальної деградації поверхневих шарів без значного набухання.

Введення аеросилу призводить до зміни характеру взаємодії полімеру з агресивним середовищем. Для композицій із 10 та 16 мас. ч. аеросилу (криві 2 і 4)

4) спостерігається помірне збільшення маси, що пов'язано з формуванням більш розвиненої міжфазної структури та підвищенням здатності до утримання вологи й кислотного розчину у поверхневих шарах композиту.

Найбільше значення ΔM характерне для композиції з 13 мас. ч. аеросилу (крива 3). Імовірно, за даної концентрації формується структура з підвищеним вільним об'ємом або локальною агрегацією частинок наповнювача, що полегшує дифузю агресивного середовища в полімерну матрицю.

Після 1000–1500 годин експозиції для більшості композицій спостерігається тенденція до стабілізації кривих, що свідчить про досягнення рівноважного стану сорбції та зниження швидкості масопереносу.

Отримані результати демонструють, що вміст аеросилу суттєво впливає на кислотостійкість епоксидних композитів і визначає особливості дифузійно-деструкційних процесів у середовищі сірчаної кислоти.

3.2. Висновки

Проведені дослідження водо- та кислотостійкості епоксидолігоамідоамінних композицій, модифікованих аеросилом, дозволили встановити закономірності впливу нанодисперсного кремнеземного наповнювача на дифузійно-сорбційні процеси в полімерній матриці. Показано, що для всіх досліджених композицій характерним є інтенсивне поглинання рідкого середовища на початкових етапах експозиції з подальшим поступовим виходом на рівноважний стан, що свідчить про дифузійний механізм масопереносу.

Встановлено, що введення аеросилу позитивно впливає на водостійкість епоксидних композицій. Зі збільшенням вмісту аеросилу від 0 до 16 мас. ч. спостерігається зниження водопоглинання матеріалів, що обумовлено ущільненням просторово зшитої структури полімерної матриці, зменшенням вільного об'єму та формуванням додаткових бар'єрів для проникнення молекул води. Найкращі показники водостійкості отримано для композиції, що містить 16 мас. ч. аеросилу, яка характеризується найменшим приростом маси протягом усього періоду випробувань.

Дослідження стійкості матеріалів у 10 %-ному розчині сірчаної кислоти показало, що характер впливу аеросилу є більш складним і залежить від особливостей формування міжфазної структури композиту. Встановлено, що композиція з вмістом 13 мас. ч. аеросилу характеризується найбільшим приростом маси, що може бути пов'язано з локальною агрегацією частинок наповнювача та збільшенням доступного для дифузії вільного об'єму. Водночас композиції з 10 та 16 мас. ч. аеросилу демонструють більш стабільну поведінку в агресивному кислотному середовищі та нижчу інтенсивність сорбційних процесів.

Отримані результати підтверджують, що аеросил є ефективним структуроутворюючим нанонаповнювачем для епоксидних композицій, здатним суттєво підвищувати їх експлуатаційну стабільність у водних середовищах та впливати на механізми взаємодії матеріалу з агресивними кислотними розчинами. Встановлено, що оптимальним вмістом аеросилу для забезпечення комплексу високих показників водо- та хімічної стійкості є 16 мас. ч., за якого формується найбільш щільна та малопроникна структура полімерного композиту.

Таким чином, модифікація епоксидолігоамідоамінних композицій аеросилом є перспективним напрямом підвищення довговічності захисних полімерних матеріалів, призначених для експлуатації в умовах підвищеної вологості та дії агресивних середовищ. Отримані результати можуть бути використані під час розроблення корозійностійких покриттів, клеїв та композиційних матеріалів спеціального призначення для будівельної, транспортної та хімічної галузей.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці дослідника та інженерно-технічного персоналу є пріоритетною науково-практичною умовою під час виконання експериментальних досліджень із розробки, модифікації та випробування нових антикорозійних захисних матеріалів. Усі етапи експериментальної роботи, що пов'язані із безпосереднім синтезом, компаундуванням, структуруванням та нанесенням розроблених корозійностійких епоксиполімерних покриттів для комплексного захисту будівельних конструкцій, виконувалися на базі науково-дослідної лабораторії кафедри Хімії та інтегрованих технологій ХНУМГ імені О. М. Бекетова. Державна система управління охороною праці в умовах зазначеного лабораторного комплексу базується на неухильному дотриманні вимог Конституції України, Закону України «Про охорону праці» та НПАОП 73.1-1.11-12 «Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях».

Сучасне приміщення науково-дослідної хімічної лабораторії проєктоване з урахуванням специфіки роботи з леткими, токсичними та пожежонебезпечними рідкими речовинами. Об'ємно-планувальні рішення приміщення забезпечують безпечно розташування стаціонарного лабораторного обладнання (витяжних шаф, сушильних теплових комплексів, аналітичних зон), а також гарантують наявність вільних проходів для персоналу під час виникнення позаштатних ситуацій. Основні нормативні геометричні та фактичні санітарно-гігієнічні параметри досліджуваного лабораторного приміщення зведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Об'ємно-планувальні та санітарно-гігієнічні параметри хімічної лабораторії кафедри

Санітарно-гігієнічний параметр	Нормативне значення (згідно з НПАОП)	Фактичне значення приміщення
Площа на одного дослідника, не менше	6,0 м ²	8,0 м ²
Об'єм приміщення на одного працюючого, не менше	20,0 м ³	24,0 м ³
Загальна геометрична площа лабораторії	—	24,0 м ²
Висота стелі (робочої зони)	—	3,0 м

Під час реалізації експериментальних етапів даної кваліфікаційної роботи на інженера-технолога (дослідника) безперервно або періодично впливає розгалужений комплекс небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Класифікація цих факторів відповідає вимогам ДСТУ 7238:2011. До найважливіших хімічних факторів належить систематичне виділення у повітряне середовище лабораторії токсичних, дратівливих та алергенних парів діанових епоксидних смол, амінних комплексів та органічних розчинників ефірного ряду, які використовуються для ретельного очищення та хімічного знежирення модельних поверхонь перед нанесенням композитів. Термічні фактори проявляються у вигляді високих температур робочих поверхонь сушильних електричних шаф (до 120 °С) під час інтенсифікації процесів отвердження епоксиполімерів, що створює постійну загрозу отримання термічних опіків верхніх кінцівок. Чинник електробезпеки обумовлений експлуатацією великої кількості електрообладнання, що працює під напругою промислової частоти 220 В (електронні аналітичні ваги, магнітні мішалки з підігрівом, ультразвукові ванни, сушильні шафи). Психофізіологічні шкідливі фактори пов'язані з високою зоровою напругою під час титрування, вимірювання динамічної в'язкості та інструментального контролю кінетики отвердження систем.

Застосовувані під час хімічного синтезу речовини мають детальну токсикологічну оцінку. Епоксидно-діанова смола (наприклад, марки ЕД-20) за ступенем впливу на організм людини належить до 3 класу небезпеки (помірно небезпечні речовини). Її пари здатні викликати дерматити, екземи та ураження верхніх дихальних шляхів. Гранично допустима концентрація (ГДК) парів епоксидної смоли у повітрі робочої зони обмежена величиною 1,0 мг/м³. Затверджувач поліетиленполіамін (ПЕПА) є значно токсичнішим хімічним агентом і належить до 2 класу небезпеки (високонебезпечні речовини). Маючи різкий аміачний запах, ПЕПА сильно подразнює слизові оболонки очей, викликає хімічні опіки епідермісу та діє як сильний системний алерген. Контроль вмісту ПЕПА у повітрі є критичним, оскільки його ГДК становить 0,5 мг/м³. Органічний розчинник ацетон (пропанон-2) є невід'ємною частиною технологічного циклу знежирення поверхонь будівельних конструкцій. Ацетон

належить до 4 класу небезпеки (малонебезпечні речовини), проте його висока леткість створює наркотичний ефект при інгаляційному надходженні, викликає головний біль та подразнення легневих альвеол. ГДК парів ацетону становить 200 мг/м³.

4.1 Технічні та організаційні заходи із безпеки праці

З метою повної нейтралізації або суттєвого зниження рівнів діючих шкідливих чинників у науковій лабораторії кафедри впроваджено комплексний захист, який поєднує інженерно-технічні рішення та чіткі організаційні регламенти. Основним інструментом колективного захисту дослідника від хімічного отруєння є витяжні лабораторні шафи. Усі операції з відкритими ємностями смоли, дозування затверджувача ПЕПА, а також процеси розпилення або нанесення ацетону проводяться виключно всередині витяжної шафи. Приміщення кафедральної лабораторії оснащено загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією з механічним приводом. Швидкість руху повітряного потоку безпосередньо у робочому створі витяжної шафи підтримується на рівні не менше 0,5–0,7 м/с (згідно з ДСТУ EN 14175-2:2018), що унеможливорює потрапляння шкідливих газів у зону дихання інженера-технолога.

Забезпечення електричної безпеки здійснюється відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». Усі металеві неструмопровідні частини лабораторного та аналітичного обладнання підключені до магістрального контуру захисного заземлення. Величина електричного опору заземлювального пристрою регулярно вимірюється і не перевищує нормативні 4 Ом. Додатково кожне робоче місце дослідника укомплектоване засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), що відповідають вимогам ДСТУ EN 340:2013. До обов'язкового щорічного індивідуального забезпечення належать: спеціальний бавовняний халат, щільні нітрилові або бутилкаучукові рукавички (що мають хімічну стійкість до епоксидів та амінів), захисні герметичні окуляри з прямою вентиляцією для захисту сітківки й рогівки ока від випадкових бризок реактивів.

4.2 Розрахунок штучного освітлення робочого місця інженера-технолога

Специфіка науково-дослідних хімічних робіт вимагає високої точності візуального спостереження (контроль зміни кольору при титруванні, фіксація моменту гелеутворення, візуальний аналіз дефектів покриття). Тому раціональне проектування штучного освітлення є обов'язковим інженерним завданням. Розрахунок загальної системи штучного освітлення виконано методом коефіцієнта використання світлового потоку згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Вихідні інженерно-геометричні дані для проведення розрахунку:

- загальна корисна площа лабораторії: $S = 24 \text{ м}^2$ (довжина приміщення $a = 6 \text{ м}$, ширина $b = 4 \text{ м}$);
- повна висота лабораторії від підлоги до стелі: $H = 3,0 \text{ м}$;
- висота розташування горизонтальної робочої поверхні (лабораторного столу): $h_p = 0,8 \text{ м}$;
- нормована мінімальна освітленість для хімічних лабораторій (висока точність, розряд зорової роботи Шв): $E_n = 500 \text{ лк}$;
- коефіцієнт запасу системи для люмінесцентних джерел світла: $k_z = 1,4$;
- розрахункові коефіцієнти відбиття світлового потоку від поверхонь: стеля $\rho_{ст} = 70\%$, стіни $\rho_{ст} = 50\%$, робоча підлога $\rho_{п} = 10\%$.

Розрахункова висота підвісу світильників над рівнем лабораторного столу визначається як:

$$h = H - h_p = 3,0 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Універсальний індекс приміщення (i), що враховує його геометричні пропорції, розраховується за формулою:

$$i = (a \times b) / [h \times (a + b)] = (6 \times 4) / [2,2 \times (6 + 4)] = 24 / 22 \approx 1,09$$

Виходячи з індексу приміщення $i = 1,09$ та заданих коефіцієнтів відбиття будівельних конструкцій, за інженерними світлотехнічними таблицями визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку, який для світильників серії ЛПО 2x36 Вт становить $\eta = 0,52$. Для комплектації системи освітлення приймаємо світильники, оснащені двома лінійними лампами, сумарний потік

яких становить $F_{\text{св}} = 5200$ лм. Загальна необхідна кількість світильників (n) розраховується за базовим рівнянням:

$$n = (E_{\text{н}} \times S \times k_3) / (F_{\text{св}} \times \eta \times z)$$

де параметр z – коефіцієнт нерівномірності динамічного освітлення робочої зони (для обраного типу ламп $z = 1,1$). Виконуючи числові підстановки, отримуємо:

$$n = (500 \times 24 \times 1,4) / (5200 \times 0,52 \times 1,1) = 16800 / 2974,4 \approx 5,65$$

Округлюємо отримане значення до найближчого більшого парного цілого числа, що дозволяє симетрично розподілити світлове навантаження на стелі: приймаємо $n = 6$ світильників (загалом в залі буде функціонувати 12 ламп потужністю по 36 Вт кожна). Схематичне просторове розташування освітлювальних приладів представлено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1– Схема просторового розташування світильників на стелі лабораторії

Запропонована схема симетричного стельового монтажу повністю ліквідує появу локальних зон затінення та забезпечує оптимальний комфорт зорового аналізатора інженера-технолога під час проведення експериментів.

4.3 Пожежна безпека та захист навколишнього середовища

Згідно з вимогами НАПБ Б.03.002-2007, за вибухопожежною небезпекою приміщення хімічної лабораторії відноситься до категорійних об'єктів класу В (наявність і регулярне використання легкозаймистих рідин, зокрема ацетону). Пожежна безпека лабораторії забезпечується комплексом організаційних та інженерних рішень. Лабораторна кімната оснащена первинними засобами ліквідації загорянь: двома вуглекислотними переносними вогнегасниками марки ВВК-2 (ОУ-3), які є найбільш ефективними для локалізації загорянь ЛЗР та електроустановок під напругою, а також ящиком із просіяним піском та азбестовим полотном (кошмою) для ізоляції вогню від кисню. Усі співробітники кафедри проходять обов'язкові інструктажі з пожежної безпеки.

Захист навколишнього природного середовища під час дослідження полімерних покриттів регулюється нормами Закону України «Про управління відходами». Категорично забороняється неконтрольоване скидання залишків рідких епоксидних компаундів, невикористаних токсичних амінів або забруднених органічних розчинників у комунальну загальносплавну систему каналізації. Хімічні відходи експериментів збираються в окремі герметичні скляні або фторопластові ємності (куби), що мають відповідне токсикологічне маркування. По мірі накопичення зазначена тара вилучається з лабораторії та офіційно передається спеціалізованим ліцензованим підприємствам для подальшої високотемпературної термічної утилізації або хімічного знешкодження.

4.4 Висновки

Проведено повний комплексний аналіз умов праці інженера-технолога (дослідника) під час проведення лабораторного синтезу, компаундування та випробування нових антикорозійних захисних епоксиполімерних покриттів в умовах науково-дослідної лабораторії кафедри Хімії та інтегрованих технологій

ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Встановлено, що умови праці відповідають основним нормам НПАОП 73.1-1.11-12.

Ідентифіковано ключові небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких найбільш критичними є хімічна токсичність амінного затверджувача ПЕПА (2 клас небезпеки) та висока леткість ацетону (4 клас небезпеки). Запропоновано комплекс колективних (робота у витяжній шафі, вентиляція зі швидкістю 0,5-0,7 м/с) та індивідуальних ЗІЗ (нітрилові рукавички, халати, окуляри), що мінімізують ризики для здоров'я персоналу.

Виконано інженерний світлотехнічний розрахунок загальної системи штучного освітлення лабораторії площею 24 м² методом коефіцієнта використання світлового потоку. Обґрунтовано необхідність встановлення 6 люмінесцентних світильників типу ЛПО 2x36 Вт (разом 12 ламп), що забезпечує нормований рівень освітленості 500 лк за розрядом зорової роботи Шв та гарантує точність і безпеку аналітичних операцій.

Визначено пожежну категорію приміщення (категорія В) та встановлено первинні засоби пожежогасіння (вогнєгасники ВВК-2). Сформовано екологічний регламент збору та передачі рідких токсичних відходів смол та розчинників спеціалізованим підприємствам згідно із Законом України «Про управління відходами», що виключає забруднення екосистеми.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Сучасне виробництво корозійностійких покриттів характеризується високим рівнем наукомісткості, значними матеріальними та енергетичними витратами, а також необхідністю дотримання екологічних і технологічних вимог. Розробка та впровадження ефективних захисних покриттів потребує комплексного підходу до вибору сировини, технологічних режимів і методів нанесення, що зумовлює необхідність проведення детального техніко-економічного аналізу для оцінки доцільності виробництва та впровадження сучасних антикорозійних технологій [41-52].

Метою роботи є розробка та оптимізація технологій виготовлення корозійностійких покриттів, а також проведення техніко-економічного розрахунку собівартості продукції для підтвердження економічної ефективності використання таких матеріалів у промисловості та будівництві.

Основні завдання техніко-економічних розрахунків включають:

- визначення собівартості та порівняння різних технологічних схем отримання корозійностійких покриттів для вибору найбільш економічно ефективного варіанту;
- оцінку собівартості модернізованих технологій нанесення покриттів з метою визначення ефективності впровадження інноваційних матеріалів і технологічних рішень;
- розрахунок собівартості спеціалізованих технологічних процесів виробництва покриттів, що забезпечують підвищену хімічну, атмосферну та експлуатаційну стійкість матеріалів.

Окрім того, в економічній частині дипломної роботи передбачена оцінка науково-технічного рівня досліджень, що дозволяє визначити перспективність і практичну значущість науково-дослідної роботи у сфері створення та застосування корозійностійких покриттів.

Для повного розуміння технології виготовлення та нанесення корозійностійких покриттів необхідно розглянути послідовність основних етапів виробничого процесу. Це дає можливість оцінити технологічні особливості,

витрати сировини, енергетичних ресурсів і трудових затрат на кожному етапі виробництва.

Детальний аналіз кожного етапу технологічного процесу дозволяє більш точно визначити потребу в матеріалах, енергії та виробничому часі, що суттєво впливає на формування загальної собівартості корозійностійких покриттів та економічну ефективність їх застосування.

5.1. Розрахунок матеріальних витрат

До складу матеріальних витрат входять:

- вартість сировини й матеріалів;
- вартість купованих виробів і напівфабрикатів;
- вартість робіт і послуг виробничого характеру, які виконані сторонніми організаціями;
- вартість придбаної енергії всіх видів, яка витрачається на технологічні потреби організації, пов'язані з виконанням НДР;
- інші витрати [7,45].

Розрахунок вартості матеріалів здійснюється за формулою:

$$B_M = B_i \cdot C_i \cdot 1,1, \quad (5.1)$$

де B_i – витрата i -го матеріалу на проведення експериментів;

C_i – ціна i -го матеріалу, грн/од.;

1,1 – коефіцієнт, що враховує транспортні витрати.

Кількість необхідних матеріалів встановлюється, виходячи з кількості дослідів, проведених протягом виконання експериментальної частини НДР, і необхідної витрати матеріалів на один експеримент вказані у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок витрат на матеріали для виконання НДР

Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Необхідна кількість матеріалу (Vi)	Ціна одиниці матеріалу (грн/од)	Сума (грн)
Зв'язуючий компонент (Епоксидна смола)	кг	7.0	290	2030.00
Пластифікатор (ОЦК)	кг	3.0	265	795.00
Отверджувач (ДЕТА)	кг	1.59	220	349.80
Наповнювач (Аеросил)	кг	0.15	175	26.25
Наповнювач (БС-50)	кг	2.5	125	312.50
Разом				3513.55

Кількість необхідних матеріалів визначалась на основі загальної кількості експериментів, запланованих у межах виконання експериментальної частини науково-дослідної роботи (НДР). Розрахунок базувався на середній витраті кожного матеріалу на один дослід. У таблиці 5.1 наведено найменування матеріалів, одиниці вимірювання, необхідну кількість, вартість за одиницю та загальні витрати на кожен компонент. Це дозволяє оцінити повну матеріальну складову витрат, необхідних для реалізації НДР.

5.2 Розрахунок енергетичних витрат

Хімічні виробництва відносяться до енергоємних. Основні витрати енергії пов'язані з процесами подрібнення сировини або з тими, що відбуваються за високих температур (сушіння, плавлення, прожарювання, спікання та ін.). Для забезпечення енергетичних витрат використовуються електроенергія або енергія спалювання природних корисних копалин (газ, вугілля). Наведемо розрахунок енергетичних витрат на прикладі використання електроенергії [7, 11, 35].

Раціональне використання енергоресурсів є одним із пріоритетних напрямів підвищення ефективності виробництва. Оптимізація технологічних процесів дозволяє зменшити енергоспоживання без втрати якості продукції. Важливим фактором є впровадження сучасного енергоощадного обладнання та систем автоматичного регулювання. Крім того, доцільним є використання вторинної енергії, що утворюється в процесі виробництва, для обігріву приміщень або підігріву сировини.

Витрати на електроенергію, пов'язані з проведенням НДР, розраховують за формулою:

$$V_e = P_{усті} \cdot n_i \cdot t_i \cdot k_n \cdot C_e, \quad (5.2)$$

де $P_{усті}$ – електрична потужність і-го встаткування, кВт;

n_i – кількість і-го встаткування, од.;

t_i – тривалість роботи і-го устаткування, год.;

k_n – коефіцієнт споживання, який дорівнює 1;

C_e – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн/(кВт·год) [10,11].

Значення електричної потужності, часу роботи обладнання та витрати електроенергії наводять у таблиці 5.2.

Витрати на воду для технічних цілей розраховуються за формулою:

$$V_v = V_i \cdot t_i \cdot C_v, \quad (5.3)$$

де V_i – витрата води одиницею обладнання або на операцію, м³/год;

t_i – тривалість роботи обладнання, год;

C_v – вартість 1 м³ води, грн.

Значення електричної потужності, часу роботи обладнання та витрати електроенергії наводять у таблиці 5.3.

Таблиця 5.2 – Значення потужності, часу роботи обладнання та вартості використаної електроенергії

Обладнання	Потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Використана електроенергія, кВт·год	Вартість використаної електроенергії, грн
Дозатор для рідини	5	11	55	379,50
Дозатор для сипучих матеріалів	7	44	308	2125,20
Високоточний плунжерний насос для в'язких речовин	10	33	330	2280
Змішувач на 0.1 м ³	15	22	330	3564
Фасувальник для рідких речовин	12	26.4	316.8	2217
Фасувальник для в'язких речовин	9	22	198	1372,80
Разом				11 939,10

Таблиця 5.3 – Значення витрат води, тривалості роботи обладнання (операції) та вартості використаної води

Обладнання/ операція	Витрати води, м ³	Тривалість використання, год	Об'єм використаної води, м ³	Вартість використаної води, грн.
Побутові потреби	0.0875	84	7.35	171,68
Разом, грн.				171,68

У таблиці 5.3 наведено розрахунок витрат води для технічних цілей на прикладі побутових потреб виробництва. На основі добової витрати води та тривалості її використання визначено загальний об'єм спожитої води. Вартість

розраховано згідно з чинним тарифом на 1 м³ води, що дозволяє оцінити загальні експлуатаційні витрати на водопостачання. Отримані дані свідчать про незначну, але стабільну частку води в загальній структурі енергоресурсів, споживаних підприємством. Це дає змогу враховувати водні витрати при плануванні бюджету та ресурсозберігаючих заходів.

5.3. Розрахунок амортизації основних фондів і нематеріальних активів

Амортизаційні відрахування розраховуються за формулою:

$$A = (C_{об.}/12) \cdot m_i, \quad (5.3)$$

де $C_{об.}$ – вартість обладнання, грн. таблиця 5.3.

m_i – тривалість роботи обладнання, місяців таблиці 5.2. У випадку технологічного обладнання тривалість його використання розраховують згідно прийнятої схеми роботи виробництва (одно- або двозмінна, періодична, безперервна).

Для лабораторного обладнання розрахунок амортизації виконують вважаючи, що річна норма амортизації складає 20 % від його вартості [7, 10, 11, 40].

Таблиця 5.3 – Вартість обладнання та амортизаційні відрахування

Обладнання	Вартість обладнання, грн	Тривалість роботи, міс.	Амортизація, грн
Дозатор для рідини	150 000	1	2500
Дозатор для сипучих матеріалів	180 000	1	3000
Високоточний плунжерний насос	250 000	1	4167
Змішувач на 0,1 м ³	120 000	1	2000
Фасувальник для рідких речовин	140 000	1	2333
Фасувальник для в'язких речовин	160 000	1	2667
Разом, грн.	16 667		

Розрахунки проводяться на основі щомісячних відрахувань, що відповідає річній нормі амортизації у 20 %. Таблиця 2.3 містить приклади нарахування амортизації на окремі одиниці обладнання, що дозволяє обґрунтовано включати ці витрати до загального кошторису проєкту.

5.4 Розрахунок витрат на малоцінні та витратні матеріали

Витрати на малоцінні матеріали, лабораторний посуд, захисний одяг тощо приймаються у розмірі 8 % від вартості обладнання, вказаної в таблиці 2.4. Ці витрати враховують забезпечення базових умов для проведення експериментів та безпеки праці персоналу.

Витрати на оплату праці і відрахування на соціальні заходи також є важливою частиною загального кошторису. Для розрахунку витрат на заробітну плату виконавців науково-дослідної роботи (зокрема, працівників виробництва, цеху, ділянки) необхідно скласти таблицю 5.4. У ній зазначається штатна чисельність, посадові оклади, тривалість зайнятості та загальна сума оплати праці. Заробітну плату вносять до таблиці повністю, без урахування податків і відрахувань, згідно з чинними нормативними джерелами [7, 10, 11, 29].

Отримані дані надалі використовуються для визначення загального фонду оплати праці, а також для розрахунку обов'язкових внесків на соціальне страхування.

Таблиця 5.4 – Заробітна плата виконавців науково-дослідної роботи

Посада	Кількість робітників	Заробітна плата (оклад + премія), грн/міс	Час роботи, міс	Коефіцієнт участі у роботі	Сума, грн
Технолог	1	45 000	1	1.0	45 000
Лаборант	2	20 000	1	0.75	30 000
Науковий співробітник	1	50 000	1	0.5	25 000
Разом	4	115 000	3	2.25	100 000

Преміальний фонд включений у вказану заробітну плату. Надбавки (науковий ступінь, стаж) враховані у загальній сумі. Соціальні відрахування в

Україні зазвичай становлять близько 22 % від фонду оплати праці (можна вказати окремо) [7, 11].

Витрати на науково промислово-відрядження, які приймають у розмірі 12 % від фонду заробітної плати.

Контрагентські роботи та послуги зі сторони, що становлять 10 % від фонду заробітної плати:

Накладні витрати, включно з витратами на господарські потреби, освітлення і тому подібне, що становить 10 % від фонду заробітної плати:

Кошторис виробництва продукції дозволяє провести аналіз витрат та намітити шляхи скорочення витрат. Слід відмітити, що у ряд хімічних виробництв є безальтернативним або їх економічна оцінка поступається соціальній, політичній, екологічній значущості [10, 11, 31].

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи $V_{\text{НДР}}$, визначаються за формулою:

$$V_{\text{НДР}} = C_{\text{НДР}} \cdot 1,2, \quad (5.4.)$$

де $C_{\text{НДР}}$ – загальна сума витрат на проведення НДР за всіма статтями;

1,2 – коефіцієнт, який враховує планові нагромадження.

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи $V_{\text{НДР}}$, визначаються за формулою:

$$V_{\text{НДР}} = C_{\text{НДР}} \cdot 1,2 \quad V_{\text{НДР}} = 158\,264,73 \times 1,2 \text{ грн.} = 189\,917,68 \quad (5.5)$$

де $C_{\text{НДР}}$ – загальна сума витрат на проведення НДР за всіма статтями;

1,2 – коефіцієнт, який враховує планові нагромадження.

Загальна сума витрат на науково-дослідну роботу наведена у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

№	Статті витрат	Сума, грн
1	Заробітна плата	100 000
2	Преміальний фонд (20 % від окладу)	Вже враховано в зарплаті
3	Витрати на відрядження	9 240
4	Витрати на матеріали	3513.55
5	Витрати на електроенергію	11 939.1
6	Витрати на воду	171,68
7	Амортизаційні відрахування	16 667
8	Витрати на малоцінні та витратні матеріали (8 % від вартості обладнання)	1333.4
9	Витрати на контрагентські та сторонні роботи	7 700
10	Накладні витрати	7 700
Разом		158 264.73

5.5. Висновок

У результаті виконання економічних розрахунків проведено оцінку витрат на розроблення та дослідження корозійностійких епоксидних композиційних матеріалів. Визначено основні складові собівартості науково-дослідної роботи, зокрема витрати на сировину та матеріали, енергоресурси, воду, амортизацію обладнання, оплату праці персоналу, накладні витрати та витрати на сторонні роботи.

Отримані результати свідчать про економічну доцільність проведення досліджень та впровадження розроблених корозійностійких епоксидних композиційних матеріалів. Запропонована технологія не потребує використання надмірно дорогого обладнання чи дефіцитної сировини, що створює передумови для її промислового впровадження. Використання модифікованих епоксидних композицій дозволяє підвищити довговічність захисних покриттів, зменшити

витрати на ремонт і технічне обслуговування конструкцій та забезпечити додатковий економічний ефект за рахунок збільшення терміну їх експлуатації.

Таким чином, проведені техніко-економічні розрахунки підтверджують перспективність використання розроблених корозійностійких епоксидних композицій у будівництві та промисловості, а також доцільність подальшого впровадження запропонованої технології у виробничу практику.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розроблено корозійностійкі епоксидні композиційні матеріали для захисту будівельних конструкцій і металевих поверхонь в агресивних середовищах. На основі аналізу літературних джерел підтверджено перспективність використання нанодисперсних наповнювачів для підвищення довговічності та експлуатаційної надійності полімерних покриттів.

Обґрунтовано склад композиції на основі епоксидної смоли ЕД-20, олігоєфірциклокарбонату, отверджувача ДЕТА та аеросилу, а також розроблено технологічну схему її виготовлення. Встановлено, що введення аеросилу сприяє ущільненню структури полімерної матриці та підвищенню водо- і хімічної стійкості матеріалу. Найкращий комплекс властивостей отримано для композиції з вмістом 16 мас. ч. аеросилу.

Проведений аналіз умов праці підтвердив можливість забезпечення безпечного виробництва за умови дотримання вимог охорони праці та екологічної безпеки. Виконані техніко-економічні розрахунки показали доцільність впровадження розробленої технології, а загальні витрати на виконання НДР склали 189 917,68 грн.

Отримані результати підтверджують можливість практичного використання розроблених епоксидних композицій як ефективних корозійностійких покриттів для будівельної, транспортної та хімічної галузей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О.В. Кабусь, А.В. Скрипинець, В.В. Виноградов_(2025). Оцінка хімічної стійкості полімерних смол для композитних систем захисту бетону каналізаційних споруд. *Комунальне господарство міст. Серія: «Інформаційні технології та інженерія»*, 6(194), 255-261. <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2025-6-194-255-261>
2. Weng C.-J., Chang C.-H., Yeh J.-M. Polymer nanocomposites in corrosion control. In: *Corrosion Protection and Control Using Nanomaterials*. Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Woodhead Publishing, 2012. P. 330–356. DOI: 10.1533/9780857095800.2.330.
3. Skripinets A., Saienko N., Danchenko Y., Cherkashina A. Corrosion-resistant epoxy coating for protection of structural glued-laminated timber in high humidity conditions // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1164, No. 1. Article 012073. DOI: 10.1088/1757-899X/1164/1/012073.
4. Gurina G., Skripinets A., Druzhinin E., Saienko N. Epoxy Coating Materials for Transport Protection // *Smart Technologies in Urban Engineering*. STUE 2024 / ed. by O. Arsenyeva et al. Cham : Springer, 2026. Vol. 1659. P. 301–309. DOI: 10.1007/978-3-032-06832-3_25.
5. May C. A. *Epoxy Resins: Chemistry and Technology*. 2nd ed. New York : Routledge, 2018. 1244 p.
6. Ellis B. *Chemistry and Technology of Epoxy Resins*. London : Springer Science & Business Media, 1993. 332 p.
7. Goodman S. H., Dodiuk-Kenig H. *Handbook of Thermoset Plastics*. 3rd ed. Amsterdam : Elsevier, 2013. 416 p.
8. Ashcroft W. R. *Curing Agents for Epoxy Resins*. London : Blackie Academic & Professional, 1993. 248 p.
9. Бараненко А. В., Токарев В. С. Епоксидні композиційні матеріали будівельного призначення. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 240 с.
10. Skripinets A. V., Saienko N. V., Hryhorenko O. N., Berezovskiy A. I. Development and Evaluation of the Possibility of Using Epoxyurethane Mastic

- in Railway Transport // Materials Science Forum. 2020. Vol. 1006. P. 273–281.
DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.273.
11. Саєнко Н. В., Скрипинець А. В., Березовський А. І., Макаренко О. В. Дослідження складу та токсикологічних властивостей продуктів горіння епоксидних і епоксиретанових вогнезахисних матеріалів // Пожежна безпека. 2025. № 47. С. 103–112. DOI: 10.32447/20786662.47.2025.11.
 12. Skripinets, A., Saienko, N., Cherkashina, A., Gurina, G., Saienko, L. (2026). Predictive Modeling of Damping Properties for Dispersely Filled Polymer Materials. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1659. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06832-3_26
 13. Pourhashem S., Hou B. Antifouling nanocomposite polymer coatings for marine applications: A review on experiments, mechanisms, and theoretical studies // Journal of Materials Science & Technology. 2022. Vol. 118. P. 1–22.
 14. Tejjido R., Zhang Q. State of the art and current trends on layered inorganic-polymer nanocomposite coatings for anticorrosion and multi-functional applications // Progress in Organic Coatings. 2022. Vol. 163. Article 106684.
 15. Jin H., Ren L. Q. Recent advances in emerging integrated antifouling and anticorrosion coatings // Materials and Design. 2022. Vol. 213. Article 110307.
 16. Dong M., Papageorgiou D. G. Multifunctional epoxy nanocomposites reinforced by two-dimensional materials: A review // Carbon. 2021. Vol. 185. P. 553–593.
 17. Lazorenko G. I., Nazdracheva T. F. Anti-corrosion coatings for protection of steel railway structures exposed to atmospheric environments: A review // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 288. Article 123115.
 18. Gurina G., Kozub P., Kozub S., Saienko N., Skripinets A. Detonation Nanodiamonds as Part of Smart Composite Paintwork Materials // Smart Technologies in Urban Engineering / ed. by O. Arsenyeva et al. Cham : Springer, 2023. P. 393–402. DOI: 10.1007/978-3-031-20141-7_36.
 19. Gurina G., Druzhinin E., Skripinets A., Saienko N., Kosenko I. Intercalation Synthesis of Lead-Free Pigments and Fillers Based on Montmorillonite Clays

- for Paint and Coating Materials // Proceedings of the 2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technologies. New York : IEEE, 2025. DOI: 10.1109/KhPIWeek61436.2025.11288571.
- 20.Saienko N., Bikov R., Skripinets A., Demidov D. Research of the Influence of Silicate Fillers on Water Absorption and Microstructure of Styrene-Acrylic Dispersion Coatings // Materials Science Forum. 2021. Vol. 1038. P. 61–67. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.61.
- 21.Matin E., Attar M. M., Ramezanzadeh B. Investigation of corrosion protection properties of an epoxy nanocomposite loaded with polysiloxane surface modified nanosilica particles on the steel substrate // Progress in Organic Coatings. 2015. Vol. 78. P. 395–403. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2014.07.004.
- 22.Javidparvar A. A., Ramezanzadeh B., Ghasemi E. The effect of surface morphology and treatment of Fe₃O₄ nanoparticles on the corrosion resistance of epoxy coating // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2016. Vol. 61. P. 356–366. DOI: 10.1016/j.jtice.2016.01.001.
- 23.Ramezanzadeh B., Haeri Z., Ramezanzadeh M. A facile route of making silica nanoparticles-covered graphene oxide nanohybrids; fabrication of SiO₂-GO/epoxy composite coating with superior barrier and corrosion protection performance // Chemical Engineering Journal. 2016. Vol. 303. P. 511–528. DOI: 10.1016/j.cej.2016.06.028.
- 24.Ammar S., Ramesh K., Vengadaesvaran B., Ramesh S., Arof A. K. A novel coating material that uses nano-sized SiO₂ particles to intensify hydrophobicity and corrosion protection properties // Electrochimica Acta. 2016. Vol. 220. P. 417–426. DOI: 10.1016/j.electacta.2016.10.099.
- 25.Pletsch R. O., Alves K. G. B., Vieira M. R. S., Melo C. P., Bouchonneau N. S. Study of the Efficiency of Ag-SiO₂ Nanoparticles as Additives in Anticorrosion Coatings // Materials Science Forum. 2016. Vol. 869. P. 663–668. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.869.663.
- 26.Fuse Y., Ide Y., Ogawa M. Hybridization of epoxy resin with a layered titanate and UV light durability and controlled refractive index of the resulting

- nanocomposite // *Polymer Chemistry*. 2010. Vol. 1, No. 6. P. 849–853. DOI: 10.1039/B9PY00248K.
27. Саєнко Н. В., Биков Р. О., Буцька Л. М., Демідов Д. В., Скрипинець А. В. Вивчення впливу силікатних наповнювачів на водопоглинання та мікроструктуру покриттів на основі акрилової дисперсії // *Науковий вісник будівництва*. 2021. Т. 104, № 2. С. 257–264. DOI: 10.29295/2311-7257-2021-104-2-257-264.
28. Saienko N. V., Bikov R. O., Demidov D. V., Skripinets A. V., Obizhenko T. M. Study of the effect of silicate fillers on the structural and rheological properties of acrylic dispersions // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2023. No. 2. P. 137–144. DOI: 10.32434/0321-4095-2023-147-2-137-144.
29. Бражник Д.А., Гуріна Г. І., Скрипинець А. В., Владико О. О. Дослідження впливу органо-неорганічних модифікаторів фенолоформальдегідної смоли на фізико-механічні властивості периклазовуглецевих вогнетривів // *Збірник наукових праць*. 124. Наукові дослідження вогнетривів та технічної кераміки. 2025. С. 35–40. <https://doi.org/10.35857/2663-3566.124.04>
30. Gurina G., Druzhinin E., Saienko N., Skripinets A. New Functional Pigments for Polymer Nano-composite Materials with a Specified Set of Properties // *Smart Technologies in Urban Engineering*. Cham : Springer, 2023. Vol. 808. P. 373–381. DOI: 10.1007/978-3-031-46877-3_33.
31. Суберляк О. В., Баштаник П. І. *Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підручник*. - 2-ге вид., допов. - Львів : Растр-7, 2015. - 456 с.
32. Закон України «Про охорону праці» : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 09.06.2026).
33. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 09.06.2026).

34. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 09.06.2026).
35. Закон України «Про управління відходами» : Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20> (дата звернення: 09.06.2026).
36. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42. Київ, 1999.
37. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. Статус: чинний.
38. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. Київ : Держгірпромнагляд України, 2012.
39. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. Київ : Держгірпромнагляд України, 2010.
40. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417. Київ, 2015.
41. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. 5-те вид., перероб. і допов. Львів : Афіша, 2014. 376 с.
42. Методичні рекомендації до виконання техніко-економічного розрахунку кваліфікаційних проєктів та робіт бакалавра і магістра (для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. І. Пилипенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 11 с.
43. Податковий кодекс України : Закон України від 02.12.2010 № 2755-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (дата звернення: 09.06.2026).

- 44.Про оплату праці : Закон України від 24.03.1995 № 108/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/108/95-вр> (дата звернення: 09.06.2026).
- 45.Про збір та облік єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України від 08.07.2010 № 2464-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2464-17> (дата звернення: 09.06.2026).
- 46.Національне положення (стандарт) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби» : наказ Міністерства фінансів України від 27.04.2000 № 92. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0288-00> (дата звернення: 09.06.2026).
- 47.Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості : наказ Міністерства промислової політики України від 09.07.2007 № 373. Київ, 2007.
- 48.Покропивний С. Ф. Економіка підприємства : підручник. 3-тє вид., перероб. та допов. Київ : КНЕУ, 2018. 528 с.
- 49.Шегда А. В. Економіка підприємства : підручник. Київ : Знання, 2017. 431 с.
- 50.Гетьман О. О., Шаповал В. М. Економіка підприємства : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 488 с.
- 51.Тарасюк Г. М. Планування діяльності підприємства : навчальний посібник. Київ : Каравела, 2020. 352 с.
- 52.Бойчик І. М. Економіка підприємства : підручник. Київ : Кондор, 2021. 378 с.

ДОДАТОК А ПУБЛІКАТИВНА АКТИВНІСТЬ ЗДОБУВАЧА

УДК 678.6

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПОЛІМЕРИ ІЗ ЗДАТНІСТЮ ДО САМОВІДНОВЛЕННЯ ТА ПОГЛИНАННЯ ВІБРАЦІЙ

Скрипинець Анна Василівна,
кандидат технічних наук, доцент, доцент;

Дремлюга Ростислав Анатолійович,
здобувач вищої освіти за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерії
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Anna.Skrypynets@kname.edu.ua

Сучасний розвиток матеріалознавства значною мірою зумовлений створенням інтелектуальних, або «розумних», матеріалів, здатних змінювати свої властивості під впливом зовнішніх факторів. До таких факторів належать температура, світло, електричні та магнітні поля, механічні навантаження, а також зміни хімічного середовища. Завдяки здатності адаптуватися до умов експлуатації розумні полімерні матеріали активно досліджуються та впроваджуються в різних галузях техніки – від електроніки та медицини до транспортної індустрії та хімічної промисловості. Однією з актуальних проблем сучасного матеріалознавства є створення полімерних систем, які б одночасно поєднували високі механічні характеристики, корозійну стійкість, здатність до самовідновлення та ефективного поглинання механічної енергії. Вирішення цієї проблеми є надзвичайно важливим для підвищення довговічності та надійності конструкцій, що експлуатуються в складних умовах.

АКТИВАЦІЯ 1
Перейдіть до п

Рисунок А1 –Тези конференції «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій в умовах кризових ситуацій та сучасних викликів», 2026 р.



Рисунок А2 – Сертифікат учасника XII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія і сучасні технології» (20–22 травня 2026 р., Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро), 12 годин (0,4 кредити ECTS).



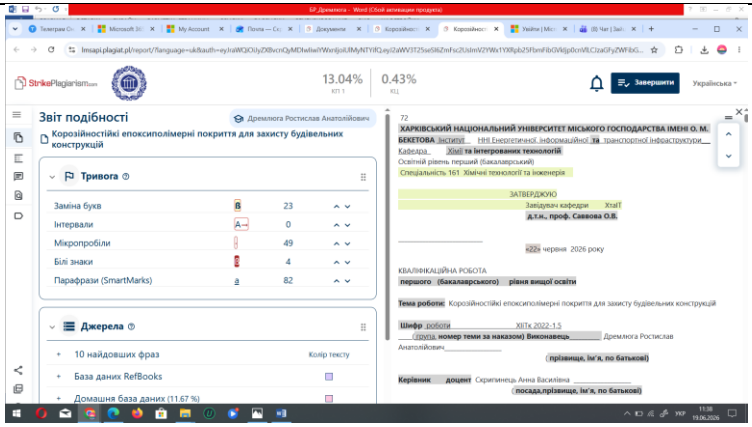
Рисунок А3 – Сертифікат учасника ІV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій в умовах кризових ситуацій» (14–16 квітня 2026 р., Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків)

ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ НА ПЛАГІАТ

ДОВІДКА

щодо перевірки кваліфікаційної роботи студента
в інформаційній онлайн-системі «StrikePlagiarism»

1. Дані про кваліфікаційну роботу студента

1	П.І.Б. студента	Дремлюга Ростислав Анатолійович
2	Група, курс, інститут	ХІТк 2022-1
3	Спеціальність, освітня програма, форма навчання	161 Хімічні технології та інженерія, Хімічні технології та інженерія, денна
4	Назва роботи	Корозійностійкі епоксиполімерні покриття для захисту будівельних конструкцій
5	Ідентифікаційний код в системі	334368488
6	Керівник роботи	Скрипинець Анна Василівна
7	Дата перевірки	19 червня 2026 р.
8	За результатами перевірки оригінальний текст в роботі складає (%)	87
9	Копія з екрану	 <p>The screenshot displays the 'Звіт подібності' (Similarity Report) for the student 'Дремлюга Ростислав Анатолійович'. The report title is 'Корозійностійкі епоксиполімерні покриття для захисту будівельних конструкцій'. The overall similarity is 13.04% (1311) and the original text percentage is 0.43% (4). The report includes sections for 'Тригога' (Triggers) with counts for 'Заміна букв' (23), 'Інтервали' (0), 'Мікропробли' (49), 'Білі знаки' (4), and 'Парафрази (SmartMarks)' (82). The 'Джерела' (Sources) section lists '10 найдовших фраз' (11.67%) and 'База даних RefBooks'. The right sidebar shows the student's profile: 'ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БІКЕТОВА', 'Кафедра: Хімія та Інтер'юанік технологій', 'Спеціальність: Хімія та Інженерія технологій', 'Спеціальність: Хімія та Інженерія технологій та інженерія', 'ЗАВІДУЮЧИЙ: Завідувач кафедри: ХІТк', 'Д.Т.Н., проф. Савоєва О.В.', '2026 червня 2026 року', 'КВАЛІФІКАЦІЯ: РОБОТА', 'Першого: (бакалаврського) рівня вищої освіти', 'Тема роботи: Корозійностійкі епоксиполімерні покриття для захисту будівельних конструкцій', 'Шифр роботи: ХІТк 2022-1.5', 'Формат номер теми за наказом: Виконавець: Дремлюга Ростислав Анатолійович', '(прізвище, ім'я, по батькові)', 'Керівник: доцент Скрипинець Анна Василівна', '(посада/прізвище, ім'я, по батькові)'. The bottom status bar shows '11:38 19 червня'.</p>

2. Пояснення щодо відсотку тексту, який не є оригінальним
– елементи правомірних запозичень

Виявлені запозичення	Відмітка про наявність
Регламентовані компоненти оформлення роботи (титульний аркуш, бланк завдання; встановлені назви розділів; назви ЗВО, кафедри тощо)	так
Власні назви установ, організацій; власні імена; назви програмних продуктів; торгові марки обладнання; матеріалів та речовин тощо	так
Загальноприйняті наукові положення, основоположні теоретичні принципи	так
Усталені словосполучення або описи процесів, характерні для сфери знань відповідно до тематики розділів роботи	так
Бібліографічні посилання на джерела	ні
Цитування, оформлене відповідно до вимог, в тому числі раніше опублікованих власних досліджень автора	ні
інше	ні

– елементи неправомірних запозичень, що є академічним плагіатом

Виявлені запозичення	Відмітка про наявність
Цитування, яке не оформлене відповідно до вимог, в тому числі раніше опублікованих власних досліджень автора	ні
Подання колективної роботи як індивідуальної або роботи іншого автора як власних досліджень; використання чужих висновків або аналізу без відповідного цитування	ні
Підміна оригінальних джерел вигаданими; спотворення джерел або даних для підтвердження думки чи гіпотези автора; видалення небажаних результатів із набору даних	ні
Переклад іноземних джерел без посилання	ні
Наявність текстових спотворень для маскуванню цитування без посилання (парафраз, синонімізація, зміна структури тексту при збереженні змісту)	ні
інше	ні

* наявність хоча б одного елементу неправомірних запозичень, що є академічним плагіатом, розглядається як підстава для направлення кваліфікаційної роботи для доопрацювання або відхилення залежно від коефіцієнту оригінальності

Довідку склав
19.06.2026 р.



Скрипинець Анна Василівна

Склад комісії:

Голова комісії:

завідувачка кафедри хімії та інтегрованих технологій Саввова Оксана Вікторівна.

Члени комісії:

доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Пилипенко Олексій Іванович;

доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Бабіч Олена Вікторівна;

здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня Яковлева Поліна Єгорівна