

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»


Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Розробка полімерних покриттів для підвищення довговічності  
внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки»

Шифр: МРТАМ 22.17124.000. ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група МТВАм -21-1  А.О. Зябкін

Керівник  д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

1 12 2022\_р.

Хмельницький, 2022 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр  
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»  
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»  
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ  
" 15 " жовтня 2022 р. Диха О.В.

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Зябкін Артем Олегович

1. Тема проекту:  
«Розробка полімерних покриттів для підвищення довговічності внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 01 липня 2022р. № 83

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 15.12.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Технічні умови на створення полімерних композиційних матеріалів.
- 2) Річна програма ремонту деталей.
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Стан питання в області створення захисних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки
2. Оптимізація складу матеріалу, що використовується в якості покриття для робочого обладнання автотехніки
3. Експериментальні дослідження матеріалів, що використовуються для створення покриттів робочого обладнання автотехніки
4. Розробка технології створення полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки

5. Консультанти розділів роботи


| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |

6. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2022р.

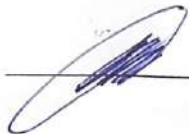
**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)   | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітки |
|-------|--|---|----------|
| 1     | Стан питання в області створення захисних покриттів внутрішніх поверхнь робочого обладнання автотехніки              | 1.11.2022                               |          |
| 2     | Оптимізація складу матеріалу, що використовується в якості покриття для робочого обладнання автотехніки              | 15.11.2022                              |          |
| 3     | Експериментальні дослідження матеріалів, що використовуються для створення покриттів робочого обладнання автотехніки | 1.12.2022                               |          |
| 4     | Розробка технології створення полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки                               | 5.12.2022                               |          |
| 5     | Оформлення презентаційних матеріалів   | 15.12.2022                              |          |

Студент

 Зябкін А.О.

Керівник роботи

 Диха О.В.

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 106 сторінок, кількість рисунків – 37, таблиць – 20, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 78.

Студент гр. МТВАм-21-1 Зябкін А.О.

Тема «Розробка полімерних покриттів для підвищення довговічності внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки»

Дана магістерська дипломна робота спрямована на підвищення довговічності та ефективності робочого обладнання автотехніки за рахунок використання полімерних покриттів з дисперсними наповнювачами.





Основні завдання виконані в роботі:

1. Проведено вибір наповнювачів для створення полімерних покриттів із необхідним комплексом властивостей для робочого обладнання автотехніки.
2. Проведена оптимізація складу полімерного матеріалу, що використовується як покриття для робочого обладнання автотехніки методом ідеальної точки.
3. Досліджений вплив типу та концентрації наповнювача на експлуатаційні властивості полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки.
4. Розроблений технологічного процесу створення та контролю якості полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки..

**Перелік ключових слів:** полімер, покриття, довговічність, автотехніка, контроль якості

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 6  |
| 1. СТАН ПИТАННЯ В ОБЛАСТІ СТВОРЕННЯ ЗАХИСНИХ<br>ПОКРИТТІВ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХНЬ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ<br>АВТОТЕХНІКИ.....                                  | 8  |
| 1.2.Аналіз умов роботи робочого обладнання автотехніки та їх вплив на<br>довговічність захисних покриттів.....   | 8  |
| 1.2.Аналіз робіт у галузі підвищення довговічності внутрішніх<br>поверхонь робочого обладнання автотехніки.....  | 12 |
| 1.3.Аналіз полімерних матеріалів, що застосовуються для створення<br>полімерних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання<br>автотехніки..... | 16 |
| 1.4.Аналіз наповнювачів, які застосовуються для створення полімерних<br>покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки.....            | 22 |
| 2.ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ МАТЕРІАЛУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ<br>В ЯКІСТЬ ПОКРИТТЯ ДЛЯ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ<br>АВТОТЕХНІКИ.....                                   | 26 |
| 2.1.Розробка методики вибору зразків із оптимальним комплексом<br>властивостей.....  | 26 |
| 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО<br>ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПОКРИТТІВ РОБОЧОГО<br>ОБЛАДНАННЯ АВТОТЕХНІКИ.....                     | 33 |

|  |        |          |   |       |
|--|--------|----------|---|-------|
| МРТАМ 22.17124.000. ПЗ   |        |          |   |       |
| Зм.  | Арк.   | № докум. | Підпис  | Дата  |
| Розроб.  | Зябкін |          |  |       |
| Перевір.   | Диха   |          |  |       |
| Н.контр.   | Бабак  |          |  |       |
| Затвер   | Диха   |          |  |       |
| Розробка полімерних покриттів<br>для підвищення довговічності<br>внутрішніх поверхонь робочого<br>обладнання автотехніки |        |          | Літ.  | Аркуш |
|  |        |          | 4   | 108   |
| ХНУ,<br>гр. МТВАм-21-1   |        |          |   |       |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.Визначення адгезійної міцності полімерних матеріалів з різними типами наповнювачів до матеріалу внутрішньої поверхні робочого обладнання автотехніки..... | 33 |
| 3.2.Дослідження антиадгезійних властивостей полімерних покриттів з різними типами наповнювачів до різних типів робочих середовищ.....                         | 39 |
| 3.3.Дослідження стійкості полімерних покриттів із різними типами наповнювачів до впливу кліматичних факторів.....   | 47 |
| 3.4. Визначення оптимальної концентрації наповнювача для створення полімерних покриттів для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки..... | 58 |
| 3.5.Визначення впливу полімерних покриттів з різними типами наповнювачів на корозійну стійкість.....  | 66 |
| 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОТЕХНІКИ.....  | 71 |
| 4.1.Дослідження трибологічних властивостей та зносостійкості полімерних покриттів з різними типами наповнювачів.....  | 71 |
| 4.2.Розробка технологічного процесу створення полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки.....   | 79 |
| 4.3.Методи контролю якості полімерних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки.....   | 84 |
| ВИСНОВКИ.....   | 89 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....  | 90 |
| Додатки.....  | 99 |

## ВСТУП

Для забезпечення захисту, необхідного комплексу експлуатаційних властивостей, підвищення ефективності та довговічності автотехніки (ДМ) важливу роль відіграють покриття, що використовуються для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання. Постійна взаємодія з будівельними матеріалами, агресивними та робочими середовищами, перепадами температур та вологості повітря, призводить до налипання (адгезії) оброблюваних середовищ на внутрішні поверхні робочого обладнання автотехніки, що у свою чергу знижує ефективність роботи техніки і може призвести до виникнення різних дефектів та несвоєчасних відмов.

Таким чином, захист та забезпечення необхідного комплексу експлуатаційних властивостей внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки дозволить підвищити ефективність їх роботи та збільшити термін служби.

На сьогоднішній день існує ряд методів та пристроїв, які здатні знижувати або пригнічувати налипання різних середовищ, що обробляються, на робоче обладнання автотехніки. Більшість з них не є універсальними, що виключає можливість застосовувати їх у різних умовах експлуатації техніки.

З групи методів впливу електричним та магнітним полем найбільшого поширення при обслуговуванні дорожньо-будівельної техніки набув електроосмос – метод капілярного перенесення вологи до поверхні.

«Волога маса – робоча поверхня» під дією постійного електричного поля. Але цей метод вимагає великої напруги та енергоємності.

У зимових умовах експлуатації найбільш поширеним методом при обслуговуванні автотехніки є метод впливу тепловим потоком.

Перспективним методом запобігання адгезії оброблюваних середовищ до поверхні робочого обладнання автотехніки є використання полімерних покриттів. Процес з'єднання полімерного сполучного та наповнювача не

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 6    |

потребує великих витрат часу, як і процес нанесення матеріалу на поверхню робочого обладнання автотехніки. Але для підвищення довговічності та ефективності експлуатації машин необхідно створення покриттів, що володіють необхідним комплексом властивостей, відповідних умов експлуатації техніки та видів оброблюваних середовищ. У зв'язку з цим питання створення та модифікації полімерних покриттів для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки, що мають комплекс заданих властивостей, є актуальними та своєчасними.

В даний час питання створення полімерних покриттів з необхідним комплексом властивостей для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки мало вивчені. Таким чином, магістерська робота, спрямована на розробку дисперсно-наповнених полімерних покриттів для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки, що дозволяють підвищити ефективність та довговічність техніки, є актуальною для виробників автотехніки та організацій, що здійснюють експлуатацію техніки.

**Мета магістерської роботи** полягає у підвищенні довговічності та ефективності робочого обладнання автотехніки за рахунок використання полімерних покриттів з дисперсними наповнювачами.

**Основні завдання** згідно з метою, полягали в наступному:

1. Вибір наповнювачів для створення полімерних покриттів із необхідним комплексом властивостей для робочого обладнання автотехніки.
2. Оптимізація складу полімерного матеріалу, що використовується як покриття для робочого обладнання автотехніки методом ідеальної точки.
3. Дослідження впливу типу та концентрації наповнювача на експлуатаційні властивості полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки.
4. Розробка технологічного процесу створення та контролю якості полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 7    |

# 1. СТАН ПИТАННЯ В ОБЛАСТІ СТВОРЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХНЬ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОТЕХНІКИ

## 1.2. Аналіз умов роботи робочого обладнання автотехніки та їх вплив на довговічність захисних покриттів

На сьогоднішній день, в умовах безперервного обслуговування автомобільних доріг, використовується широкий спектр дорожньо-будівельних та транспортно-технологічних машин [38, 48, 49]. У зв'язку з цим є необхідність у постійній підтримці в належному технічному стані як вузлів і агрегатів техніки, так і внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки [10, 11].

Особливо гостра необхідність у цьому виникає в зимовий період, оскільки налипання снігу, бруду та протижеледних реагентів призводить до налипання цієї суміші на поверхні робочого обладнання, що може привести до несвоєчасних відмов, поломок, тріщин та корозійних руйнувань [12, 13, 99].

Поверхнєве явище, яке полягає у взаємодії частинок поверхневих шарів двох конденсованих фаз називається адгезія, тобто налипання, зчеплення, спаювання [20, 40].

Ґрунтуючись на дослідженнях Якубовича С.В. [128], можна виділити такі основні причини частого виникнення дефектів захисних полімерних покриттів:

- застосування неякісних матеріалів;
- неякісна підготовка поверхні перед нанесенням захисного покриття;
- вплив кліматичних факторів (температурні перепади, підвищена вологість, перепади рівня вологості, вплив світлового випромінювання);
- дефекти, що виникають при нанесенні захисних покриттів;
- впливу фізичних факторів (механічні ушкодження при взаємодії з

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 8    |

грунтами, будівельними матеріалами);

– вплив хімічних факторів (реакції з грунтами під дією вологи та інших агресивних матеріалів);

– порушення технології експлуатації;

– старіння захисного покриття;

– дія ультрафіолетової радіації.

Сонячна радіація є одним із агресивних факторів старіння захисних полімерних покриттів у природних умовах. Дія сонячної радіації посилюється, як правило, супутніми факторами: перепадами температури навколишнього середовища та відносною вологістю повітря.

Як показують дослідження [39], основним руйнівним фактором полімерних захисних покриттів при прямому впливі сонячного світла є фотохімічна реакція. Лабораторні дослідження Грассі Н. [32] виявили тенденцію протікання фотостаріння полімерних покриттів за допомогою поглинання світла. Так само дослідження Сітнікової В.Є., Дрінберга А.С., Павловича А.В [39] показали вибірковість чутливості полімерів до спектрального складу світла, що подає. Загалом існує ще низка невирішених питань щодо методів вимірювання світлової дії та досягнення оптимальних висновків про світлочутливість полімерних захисних покриттів.

Залежно від кліматичних умов та конкретного призначення полімерного покриття є ймовірність появи руйнувань внаслідок тривалого впливу підвищеної вологості повітря. Як правило, підвищена вологість не є основним фактором, за яким слідує руйнування по-

лімерне покриття. Але в сукупності з, наприклад, температурними перепадами, коливання рівня вологості можуть призвести до негативних впливів [15, 22, 54].

Для детального визначення стійкості полімерного покриття проводиться перевірка за спеціальними стандартами, що є результатом узагальнення методів, що використовуються в різних галузях промисловості.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 9    |

Залежно від складу покриття: основи та наповнювачів, результати можуть змінюватись [23, 25, 27].

Також судити про руйнування полімерного захисного покриття можна методом натурних випробувань за допомогою спостереження за станом полімеру в експлуатаційному середовищі.

Як свідчать дослідження Теплинського Ю.А. та Бикова І.Ю. [118] циклічна зміна температури навколишнього повітря протягом доби або тривала дія температур нижче  $-20^{\circ}\text{C}$  і вище  $+48^{\circ}\text{C}$ , сприяє зниженню адгезійних властивостей полімерних покриттів.

Усадочні сили починають перевищувати сили адгезійного зчеплення, що викликає зростання внутрішньої напруги на кромці покриття [21]. У міру зменшення температури навколишнього повітря, внутрішні напруги на кромці покриття збільшуються, а адгезійна міцність знижується в кілька разів [74, 90].

У цих умовах зароджується пошкодження покриття: крайка, незворотно деформується, починає зміщуватися під дією усадочних сил, зовнішня структура покриття перестає виконувати захисну функцію. Це призводить до виникнення повітряного зазору, нездатного до самоліквідації під час відновлення нормального температурного режиму. Такий дефект є незворотним процесом, що призводить до відшарування полімерного захисного покриття [4, 7, 34].

Як правило, найнебезпечнішими вважаються температурні перепади в зимовий період.

До фізичних факторів, що впливають на стан полімерних захисних покриттів, можна віднести [3, 66, 86]:

- взаємодія з ґрунтами різної щільності: пісок, сухі та сирі ґрунти, в'язкі глини, щебінь;
- взаємодія із будівельними матеріалами.

Полімерні захисні покриття автотехніки серйозно схильні до впливу

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 10   |

фізичних факторів, які здатні призвести до передчасних сколів, пошкоджень, подряпин і відшарування покриття, що згодом здатне призвести до ранніх відмов вузлів і агрегатів.

Характер взаємодії полімерних покриттів з рідкими та газоподібними агресивними середовищами визначається дифузійними процесами та сорбцією. На даний момент явище руйнування полімерів під одночасним впливом хімічних та фізичних факторів недостатньо вивчено, оскільки виникає складність фіксації результатів взаємодії фізико-хімічних процесів та створення точних зразків для проведення випробувань [2, 54, 68, 77].

Однак, існує ряд досліджень, як, наприклад, Токкаєвої А.С і Акаєва М.М [2], що стосується негативного впливу агресивних рідких середовищ на стан полімерних захисних покриттів. Зокрема, дослідження охоплюють взаємодію полімерних покриттів з рідкими та твердими протижеледними реагентами.

Існуючі результати вказують на негативний вплив протиголових реагентів на стан полімерного покриття: вже існуючі механічні пошкодження покриття при взаємодії з агресивним середовищем, руйнуються в рази швидше, що призводить до корозії металевої підкладки та передчасних руйнувань [44, 45 ].

Одним із важливих факторів, що впливають на стан та довговічність полімерних захисних покриттів, є порушення технології нанесення покриття [46, 87]. Як правило, при неналежному очищенні та недостатньому знежиренні підкладки, захисне покриття втрачає зчеплення з нею через утворення повітряних кишень.

При механічному впливі та пошкодженні покриття в повітряні кишені потрапляє повітря, волога та абразивні частинки, що сприяють прискоренню руйнування захисного покриття, утворенню корозійних виразок та механічних пошкоджень підкладки [115].

Вищевказані фактори впливають як на зовнішній стан захисних

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 11   |

покриттів робочого обладнання автотехніки, так і на якість адгезії захисного матеріалу до металу, що призводить до сколів, передчасних відшарування та руйнування покриття [84, 110].

## **1.2. Аналіз робіт у галузі підвищення довговічності внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки**

При постійній взаємодії з будівельними матеріалами, вологою, агресивними середовищами та брудом, робоче обладнання (ковші бульдозерів, лопаті та щітки снігоприбиральної техніки та ін.) постійно піддається негативним впливам навколишнього середовища [40].

В даний час відомо чимало пристроїв та способів, що знижують або пригнічують адгезію робочих середовищ до обладнання автотехніки [17, 21, 33, 45, 43, 70]. Більшість з них не є універсальними і здатні дати необхідний ефект лише при ретельному обліку фізико-механічних властивостей робочих поверхонь та матеріалів, виду технічного процесу та режиму роботи того чи іншого елемента. Також існують механічні способи, які знижують адгезію, лише частково усувають її наслідки. До них належать: скребки, ножі, щітки, лопаті тощо.

З погляду практичного використання, у літературі [3, 35, 37, 55, 70, 82, 89, 109] докладно описані такі методи забезпечення антиадгезійних властивостей внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки:

- 1) Нанесення твердих покриттів та антиадгезійних мастил;
- 2) Вібровплив;
- 3) Вплив електричним та магнітним полем;
- 4) Вплив тепловим потоком;
- 5) Комбіновані методи (одночасна дія вібрації та теплового впливу).

На основі досліджень Гращенкова Д.В., Юхимочкина І.Ю., Ломова С.Б та Федотова С.В. [31] було зроблено висновок про те, що нанесення твердих покриттів та антиадгезійних мастил у зв'язку з простотою застосування є

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 12   |

найбільш поширеним методом.

В якості антиадгезійних матеріалів найбільше застосування знайшли різні полімерні покриття та мастила на основі графіту, тальку, молібдену, склади на основі гліцерину, етиленгліколю, пасти та емульсії з добавкою органічних кислот, ПАР та наповнювачів типу крейди. Перед нанесенням антиадгезійних покриттів та мастил, потрібна відповідна підготовка поверхні: необхідно очистити поверхню від бруду, пилу, слідів корозії, знежирити та нанести мастило. Температура та час застигання мастила безпосередньо залежать від складових компонентів. Як правило, антиадгезійні мастила наносяться щоразу перед експлуатацією техніки.

Основними недоліками такого способу забезпечення антиадгезійних властивостей внутрішніх поверхонь робочого обладнання ДМ є осмолення мастила під впливом високих температур та необхідність регулярно відновлювати мастило (одноразовість використання).

Тривалість вібродинамічного впливу визначається тривалістю та амплітудою коливання залежно від умов, вологості та температури навколишнього середовища. Метод вібродії найбільш ефективний при експлуатації техніки в складних кліматичних умовах і в тих випадках, коли відсутня можливість в обробці вузлів і робочих поверхонь спеціальними покриттями. Як правило, цей спосіб запобігає налипанню ґрунту на робочі поверхні лише на час роботи віброустановки, крім того, громіздкість віброприводу та його негативний вплив на робочий персонал та зв'язок.

ли машин сильно обмежують використання даного методу для боротьби з адгезією ґрунтів.

З групи методів впливу електричним та магнітним полем найбільшого поширення при обслуговуванні дорожньо-будівельної техніки набув електроосмос – капілярне перенесення вологи до поверхні розділу «Волога маса – робоча поверхня» під дією постійного електричного поля. У цьому випадку катодом служить робоча поверхня, а анодами можуть бути

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 13   |

стрижні, що занурюються в матеріал на час робочого процесу або смуги ізольовані від робочої поверхні. Хороший ефект можливий при електролізі граничної вологи з виділенням газів у контактному шарі. Але електроліз вимагає значно більшої напруги та енергоємності.

Істотним недоліком цього методу є необхідність налаштування режиму омагнічування з урахуванням властивостей та стану вологого матеріалу та режиму руху, тому що залежність зміни адгезії від режиму омагнічування має поліекстремальний характер.

Метод впливу тепловим потоком найбільш широко поширений при обслуговуванні техніки, що працює в зимових умовах. Застосування як джерело теплового впливу для зниження намерзання ґрунту гнучких нагрівальних стрічкових елементів здійснюється у конструкції типу ЕНГЛУ-400 (рис.1.1) [116].

Тепловий потік (вихлопних газів та ін.) дає ефект не тільки при прикладанні, але і для зниження липкості при позитивній температурі.

Комбіновані методи є одночасною дією вібрації та теплового впливу. Поєднання вібрації та теплового впливу збільшує діапазон ефективного зниження адгезії, оскільки окремо кожен із цих методів має досить вузький діапазон ефективного використання. Цей діапазон обмежений тиском на робоче обладнання, вологістю матеріалу, тимчасовим контактом та особливостями технологічного процесу. До суттєвих мінусів комбінованого способу відноситься відсутність інформації щодо його використання у складних погодно-кліматичних умовах.

Порівняльний аналіз найбільш поширених методів забезпечення антиадгезійних властивостей внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки, областей їх застосування, переваг, недоліків та технологічних обмежень наведено в табл. 1.1.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 14   |

Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз методів забезпечення антиадгезійних властивостей внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки

| Найменування методу         | Галузь застосування   | Переваги  | Недоліки та технологічні обмеження   |
|-----------------------------|---|---|--|
| Тверді покриття та змащення | <ul style="list-style-type: none"> <li>- внутрішні поверхності бунців;</li> <li>- транспортні стрічки;</li> <li>- гальванічні ванни;</li> <li>- Повітроводи,</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Простота нанесіння;</li> <li>- ефективність у діапазоні температур +20...+80°C;</li> <li>- хороший розділення поверхонь</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вузкий температурний діапазон (низька ефективність при заперечельних температурах);</li> <li>- сприяють відшарування від</li> </ul>                               |
|                             | залізничні цистерни   |   | ЛКМ вторинних покриттів  |
| Вібровплив                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- землерийні машини;</li> <li>- ковші екскаваторів</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- не потрібен додатковий вплив на поверхню</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- досягнення очікуваного ефекту відбувається на певних частотах ультразвуку;</li> <li>- громіздкість установки;</li> <li>- негативне вплив на робітників</li> </ul> |

|                                      |   |   |  |
|--------------------------------------|---|---|--|
| Вплив електричним та магнітним полем | - землерийні машини;<br>- машини для реставраційних робіт                         | - ефективний при застосуванні в глини, суглинах, або-стих ґрунтах                           | - висока енергоємність;<br>- необхідність налаштування режиму омагнічування залежно від оброблюваних серед |
| Вплив тепловим потоком               | - землерийні машини;<br>- машини для лакофарбових робіт;<br>- плити, прес – форми | - зручність під час роботи у міських умовах;<br>- можливість застосування взимку ний період | - Висока енерго-ємність  |

### **1.3. Аналіз полімерних матеріалів, що застосовуються для створення полімерних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки**

Полімерні композиційні матеріали – системи, що складаються з полімерної матриці та зміцнюючого наповнювача, який може мати вигляд порошкоподібних речовин або волокон.

У таблиці 1.2 наведено основні характеристики полімерних композиційних матеріалів залежно від вибраного типу наповнювача [13, 16, 35].

Виходячи з умов експлуатації техніки проводиться вибір полімерної матриці для композиційного матеріалу.

Розрізняють три основні групи полімерних сполучних, які можуть бути використані для обробки робочого обладнання ДМ [16, 19, 41, 85, 97]:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 16   |

1) Термоактивні полімери – це матеріали, які під дією тепла та хімічно активних добавок можуть набувати просторової структури, що, як правило, супроводжується втратою плинності. Такі полімери рідко використовуються у чистому вигляді. Як правило, в них вводять різні добавки, такі як наповнювачі, загусники, розріджувачі, барвники, стабілізатори. Завдяки цьому виходять багатокомпонентні матеріали – реактопласти, полімерною основою яких є термореактивний полімер, який також називають «смола» або «сполучна».

Таблиця 1.2 - Характеристики полімерних композиційних матеріалів

| Характеристика   | Тип наповнювача                                      |   |   |
|------------------|--|---|---|
|                  | Наночастки<br>$d_p = 10-100$ нм                      | Мікрочастинки<br>$d_p = 1-50$ мкм                           | Волокнисті  |
| Роль матриці     | Приймає навантаження                                 | Приймає навантаження  | Передає навантаження                                      |
| Роль наповнювача | Перешкоджає руху дислокацій                          | Стримує деформацію матриці, надає твердості                 | Приймає навантаження на себе, перешкоджає руху дислокацій |
| Армують фактори  | $d_p, l_p$ - відстань між частинками                 | $d_p, l_p, \phi_p$ – відстань між частинками                | Розміри та напрямок волокна, об'ємна частка волокна       |
| Деформація       | Плинність, при розширенні<br>$\epsilon = 0,1 - 15\%$ | Плинність, при розширенні<br>$\epsilon \epsilon = 0 - 30\%$ | Залежить від властивостей волокна, орієнтації, $\phi_f$   |
| Вид матеріалу    | Ізотропний   | Ізотропний  | Анізотропний  |

Таким чином, термореактивні сполучні є низьков'язкими (при температурі переробки) рідини, які після нанесення за рахунок хімічних реакцій набувають вигляду неплавкої твердої полімерної матриці. Властивості термореактивних сполучних можна регулювати в широкому діапазоні шляхом варіювання компонентів, додавання каталізаторів, модифікаторів та зміни умов затвердіння.

2) Термопластичні полімери – являють собою полімери, які тверднуть при охолодженні та розм'якшуються при нагріванні.

При звичайній температурі термопласти, як правило, знаходяться у твердому (кристалічному або склоподібному) стані. При підвищенні температури термопласти набувають в'язкотекучої структури, що забезпечує можливість формування їх різними методами.

Для більшої частини термопластів характерні більш інтенсивні методи переробки та висока продуктивність; можлива вторинна переробка; більш енергоємне формування деталей; знижена горючість; висока стійкість до випромінювання; поєднання високої теплостійкості та міцності з високою тріщиностійкістю та міцністю [36, 39].

3) Еластомери – у промисловості переробки пластмас застосовуються найчастіше як високомолекулярні пластифікатори, що служать зниження крихкості склоподібних чи кристалічних полімерів.

У зв'язку з термоокислювальною деструкцією та зниженим опором до теплового старіння застосування еластомерів у полімерних композиційних матеріалах утруднено. Крім того, підвищена липкість та деформованість еластомерів не дозволяє випускати їх у гранульованому вигляді, що викликає труднощі при використанні цього матеріалу [14].

У таблиці 1.3 наведено властивості різних видів смол, що використовуються для виробництва композиційних полімерних матеріалів [5, 7, 75].

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 18   |

Таблиця 1.3 – Властивості смол композиційних полімерних матеріалів

| Властивості  | Смоли          |                              |                |                           |                 |
|--|----------------|------------------------------|----------------|---------------------------|-----------------|
|  | Полі<br>ефірні | Фенол<br>формаль-<br>дегідні | Епок-<br>сідні | Крем-<br>нійорг<br>анічні | Поліі-<br>мідні |
| Щільність, г/см <sup>3</sup>                             | 1,1-1,46       | 1,2-1,36                     | 1,1-1,4        | 1,15-<br>1,36             | 1,2-1,45        |
| Модуль пружності<br>, МПа                                | 1,5-4,5        | 1,4-6,8                      | 1,9-5,0        | 1,5-3,7                   | 3,2-5,5         |
| Міцність при роз-<br>тяжіння, Мпа                        | 23,5-68,5      | 22,5-78,3                    | 27,4-140       | 6,8-<br>34,2              | 90-95           |
| Відносне подовження<br>при раз-<br>риві, %               | 0,5-0,6        | 0,4-0,5                      | 1,2-10,0       | 0,3-1,5                   | 1,0-4,0         |
| Питома ударна<br>в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>           | 2,0-10,7       | 2,0-11,3                     | 2,9-24,5       | 2,3-5,4                   | 4,0-12,0        |
| Температурний<br>коефіцієнт лінійного<br>розширення, К-1 | 60-90          | 60-80                        | 48-80          | 20-40                     | 50-58           |
| Усадка при отворі-<br>чеканні, %                         |                | 0,5-7,0                      | 0,5-3,6        | 2,1-4,3                   | 0,5-2,0         |
| Водоповгощення, за<br>24 год., %                         | 0,15-0,6       | 0,15-0,6                     | 0,03-0,3       | 0,05-<br>0,2              | 0,01-0,6        |
| Коефіцієнт<br>теплопровідності, Вт/(м<br>х До)           | 0,12-0,23      | 0,23-0,27                    | 0,17-<br>0,21  | 0,4-0,6                   | 0,35-<br>0,37   |
| Діелектрична<br>проникність, Гц                          | 4,1-4,5        | 3,0-5,0                      | 3,2-4,5        | 2,6-4,2                   | 3,4-3,8         |
| Тангенс кута<br>діелектричних втрат                      | 0,022-0,024    | 0,015-<br>0,035              | 0,01-0,03      | 0,001-<br>0,025           | 0,001-<br>0,005 |
| Теплостійкість по<br>Мартенсу, С                         | 60-80          | 140-180                      | 140-150        | 250-<br>280               | 250-370         |

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 19   |

У таблиці 1.4 наведено приклади марок антиадгезійних покриттів, найпоширеніших під час обслуговування дорожніх і транспортно-технологічних машин.

Таблиця 1.4 - Приклади марок антиадгезійних покриттів та їх властивості

| № | Марка                                 | Властивості  |
|---|---------------------------------------|--|
| 1 | "ЕПШЛАМ АКВА" ТУ<br>2412-002-13868195 | Освіта на поверхні тонкої плівки для зниження налипання на оброблену поверхню  |
| 2 | АНТИТЕК 17                            | Підвищення механічної міцності, збільшення довговічності, зниження налипання на поверхню   |
| 3 | SLIDEFIX smart                        | Висока антиадгезія; пластичність; стійкість до атмосферних впливів; корозійна стійкість; стійкість до абразивної дії   |
| 4 | Пента-111                             | Утворення тонкої міцної плівки на поверхні; висока адгезія до підкладки; робочий діапазон температур від -40 до +250°C; висока антиадгезія до різних середовищ |
| 5 | CRA 5                                 | Утворення розділової плівки на поверхності, яка створює антиадгезійний бар'єр  |
| 6 | Ізоліт-210 СМ-1                       | Створення роздільного шару з високими антиадгезійними властивостями  |
| 7 | АХС - 0028MP                          | Утворення антиадгезійної плівки; перешкоджають руйнування підкладки від механічних пошкоджень  |
| 8 | ФЛК-9                                 | Забезпечення антиадгезійних та антикорозійних властивостей; гарна адгезія із підкладкою; висока еластичність   |
| 9 | К-21                                  | Висока адгезія до підкладки; забезпечення стабільного антиадгезійного шару   |

У таблиці 1.5 наведено фірми, діяльність яких спрямована на виробництво та постачання антиадгезійних покриттів.

Таблиця 1.5 – Компанії, що займаються виробництвом та реалізацією антиадгезійних покриттів

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 20   |

| №  | Назва компанії     | Матеріал   | Властивості   |
|----|--------------------|--|---|
| 1  | НВО "Наука"        | Антиадгезійні та захисні покриття                                      | Антиадгезія, захист від корозії, підвищення довговічності   |
| 2  | Хімсінтез          | Антитек 17<br>Антиадгезійні покриття                                   | Підвищення механічної міцності, підвищення антиадгезійних властивостей  |
| 3  | КОМПОЗИТ           | Blue Wax 333 – MR; Ні - Low1000.<br>Роздільні (антиадгезійні) покриття | Забезпечення антиадгезійних властивостей при високих температурах   |
| 4  | ХІМТРАСТ           | Антиадгезійнімастила   | Робота при температурі від +20 до +100 С, забезпечення роздільно го шару між поверхнями -                           |
| 5  | ФінКоутінгСистемс  | Антиадгезійніпокриття  | Антиадгезійні, антифрикційні та діелектричні властивості  |
| 6  | Ф'ЮЛЕК             | ФЛК-9<br>Фторвмісне поліефірне покриття                                | Зниження налипання на поверхні, робочий інтервал температур від -50 до +180 С                                       |
| 7  | CONFERUM           | АФП-2<br>Антиадгезійне покриття  | Захист від впливів навколишнього середовища, антиадгезійний, антикорозійний, протиобледенний вплив.                 |
| 8  | ТОВ «АГРОПО-ЛІМЕР» | Антиадгезійне зносостійке покриття (АП)                                | Збільшення терміну служби деталей, антиадгезія, температура експлуатації від -40 до +80 С                           |
| 9  | ФОРКОМ             | Антиадгезійне високотемпературне силіконове мастило П-111              | Утворення міцної, еластичної плівки на поверхні; висока адгезія до матеріалів підкладки; водостійкість; антиадгезія |
| 10 | ПЕНТАЮНІОР         | ПЕНТА-100<br>Роздільвальне антиадгезійне мастило                       | Збільшення виробляемості; робочий інтервал температур до +250С; антиадгезія   |

Як показує практика, існують різні види антиадгезійних покриттів, що відрізняються за своїм складом, властивостями, умовами експлуатації та вартістю.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 21   |

#### 1.4. Аналіз наповнювачів, які застосовуються для створення полімерних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки

Наповнювачі для полімерних матеріалів – це тверді або газоподібні неорганічні та органічні речовини, що розподіляються у безперервній фазі полімеру (матриці) з утворенням гетерофазної системи з вираженою межею розділу фаз [6, 18, 65]. Мета введення наповнювачів у полімери – створення нових полімерних матеріалів із сукупністю цінних експлуатаційних властивостей; здешевлення матеріалів; спрощення перероблюваності наповнених полімерів та покращення технологічних властивостей; отримання декоративних ефектів; вирішення екологічних проблем та утилізації відходів [125].

На Рисунку 1.1 наведено види наповнювачів для полімерних матеріалів.

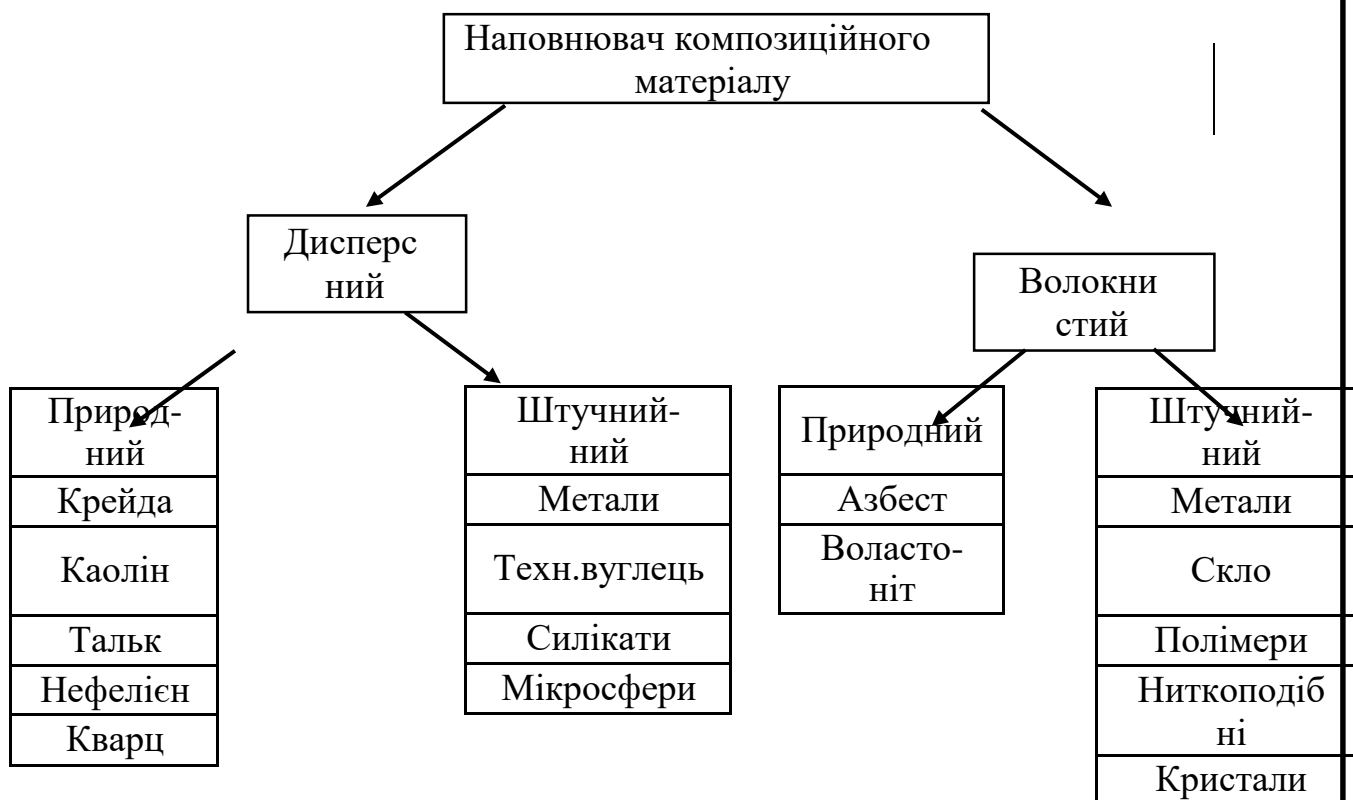


Рисунок 1.1 – Види наповнювачів для

ПКМ Основні види наповнювачів:

1) Дисперсні (порошкоподібні) наповнювачі – використовувані для надання полімерному матеріалу певних фізико-хімічних властивостей [67, 81, 96, 106, 107].

До них відносяться:

– Порошки металів – вводяться в полімерний матеріал для досягнення високих електропровідних властивостей. Але, оскільки на поверхні частинок більшості доступних матеріалів часто є окисна плівка, яка перешкоджає перенесенню носіїв між частинками наповнювача, електропровідність досягається тільки шляхом високих концентрацій наповнювача. Крім того, густина металу перевищує густину полімеру, що призводить до значного обтяження композиційного матеріалу. Зниження концентрації наповнювача можна досягти шляхом введення частинок металу незвичайної форми (у вигляді дендридів або лусочок) або спеціальних способів змішування наповнювача та полімерного матеріалу.

– Графіт – практично чистий вуглець, що має високу тепло- та електропровідність. Вводиться полімерний матеріал з метою надання ПКМ хімічної стійкості, жорсткості, міцності при розтягуванні. Графіт також вводиться до складу полімерного матеріалу як антифрикційна добавка у середній кількості 5–10 %.

– Деревне борошно - складається з целюлози та лігнілу. Вводиться в полімерні матеріали з метою покращення стабільності їх розмірів, міцності при розтягуванні. До недоліків даного наповнювача відносяться: низька тепло-, волого та хімічна стійкість.

– Сажа – це високодисперсний вуглецевий матеріал, що утворюється при неповному термічному розкладанні та згорянні в газах та рідких продуктах кам'яновугільного та нафтового походження. Вводиться в ПКМ для збільшення стабільності розмірів, теплостійкості, жорсткості, тепло- та електропровідності.

– Азбест хризотилловий – силікат із волокнистою структурою. Вводиться в полімерні матеріали з метою збільшення стабільності розмірів,

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 23   |

ударної в'язкості, хімічної стійкості, твердості, показників електроізоляційних властивостей та теплостійкості.

– Аеросил – синтетичний порошкоподібний наповнювач, продукт піролітичного розкладання галогенідів кремнію. Вводиться в полімерні матеріали з метою надання їм стійкості до розтріскування, збільшення стабільності розмірів, жорсткості, ударної в'язкості.

– Каолін – порошкоподібний наповнювач природного походження з частинками пластинчастої форми. Вводиться в полімерні матеріали для збільшення стабільності розмірів, волого-, тепло- та хімічної стійкості, твердості, жорсткості та покращення показників антифрикційних властивостей.

– Крейда – при введенні в ПКМ збільшує твердість, жорсткість, теплостійкість та стабільність розмірів, забезпечує легкість переробки матеріалу.

– Природний діоксид кремнію (пісок, гірська порода, кварц) – має порівняно невисоку щільність і добре поєднується з різними полімерними матеріалами. Вводиться в ПКМ для збільшення вологостійкості та показників електроізоляційних властивостей.

– Слюда – порошок із частинками пластинчастої форми. Вводиться в полімерні матеріали з метою збільшення стабільності розмірів, волого-, тепло- та хімічної стійкості, показників антифрикційних та електроізоляційних властивостей.

– Тальк – порошок із частинками лускатої форми. Вводиться в полімерні матеріали з метою стабільності розмірів, волого-, тепло- та хімічної стійкості, показників антифрикційних та електроізоляційних властивостей. Використовується для наповнення термореактивних та термопластичних сполучних.

У таблиці 1.6 наведено властивості деяких дисперсних наповнювачів для полімерних матеріалів.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 24   |

Таблиця 1.6 - Властивості деяких дисперсних наповнювачів для полімерів

| Наповнювач                | Щільність,<br>кг/м <sup>3</sup> | Модуль<br>пружності<br>,ДПА | Коефіцієнт<br>Пуассона | Температу<br>ра,<br>°С |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| Каолін                    | 2600                            | -                           | -                      | 1000 (Тр)              |
| Тальк                     | 2788                            | 3,5                         | 0,4                    | 1500 (Тпл)             |
| Слюда                     | 2834                            | 0,25                        | 0,25-0,35              | 1290 (Тр)              |
| Крейда                    | 2600                            | 6-9                         | 0,8-3                  | 920 (Тр)               |
| Кварц                     | 2248                            | 6,7-8                       | 0,07-0,45              | 1600 (Тпл)             |
| Аеросил                   | 2350                            | 6,5                         | 0,15                   | 1400 (Тпл)             |
| Азбест<br>(хризатилловий) | 2100-2800                       | 16                          | -                      | 1110 (Тпл)             |
| Біла сажа                 | 2100-2200                       | 4,5-5,5                     | 0,3                    | 1200 (Тпл)             |
| Гідроксид<br>алюмінію     | 24200                           | -                           | -                      | 420 (Тр)               |

2) Волокнисті наповнювачі – вводяться в полімерні матеріали для підвищення міцності, повзучості, надання деяких специфічних властивостей.

## 2.ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ МАТЕРІАЛУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ЯКІСТЬ ПОКРИТТЯ ДЛЯ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОТЕХНІКИ

### 2.1.Розробка методики вибору зразків із оптимальним комплексом властивостей

Як наповнювачі, на підставі проведеного огляду літератури [6, 51, 63, 75, 81], у цій роботі були використані такі матеріали: тальк, слюда, графіт, волластоніт і кварцова борошно. Дані типи наповнювачів було прийнято за оптимізований параметр, тобто. в результаті оптимізації спочатку визначався тип наповнювача, і далі встановлювався його оптимальний кількісний вміст в основному матеріалі. Для зручності наступних розрахунків оптимізовані параметри та їх умовні позначення наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Оптимізовані параметри

| Найменування   | Умовне позначення |
|--|-------------------|
| Перший етап оптимізації: вибір наповнювача                   |                   |
| Тальк  | 1                 |
| Слюда  | 2                 |
| Графіт   | 3                 |
| Волластоніт  | 4                 |
| Кварцове борошно   | 5                 |
| Без наповнювача  | 6                 |
| Другий етап оптимізації: визначення концентрації наповнювача |                   |
| 5%   | X <sup>5</sup>    |
| 10%  | X <sup>10</sup>   |
| 15%  | X <sup>5</sup>    |
| 20%  | X <sup>20</sup>   |

Як критерії оптимізації були використані наступні робочі середовища: пісок, глина, ґрунтова суміш, з якими робоче обладнання автотехніки

контактує при позитивних і негативних температурах і які можуть бути як у сухому, так і у вологому стані.

З метою скорочення часу проведення досліджень було ухвалено рішення зменшити кількість робочих середовищ. Тому в роботі спочатку було досліджено їх вплив у сухому та у вологому стані тільки при температурі +20°C.

У тому випадку, якщо при проведенні даного етапу оптимізації не вдається визначити найбільш небезпечне робоче середовище для всіх досліджених типів наповнювача, перелік робочих середовищ розширювали і проводили розрахунки з урахуванням впливу негативних температур. Якщо в результаті розрахунків буде встановлено, що негативні температури більш впливають на зміну показників якості, ніж позитивні, то далі, до вже обраних робочих середовищ, поступово додаватимуться нові, наприклад, суміш ґрунту з протиожеледними реагентами.

Для зручності подальших розрахунків всі використані в роботі критерії оптимізації та їх умовні позначення наведені в табл. 2.2.

При розробці структури процесу оптимізації було поставлено мету – визначити оптимальний тип наповнювача та його процентний зміст під час проведення мінімальної кількості розрахунків. Якщо на першому етапі вдасться визначити робочі середовища, які мають найбільший вплив на всі типи наповнювачів, що використовуються, то в цьому випадку другий етап не проводиться і відразу ж можна переходити до третього етапу оптимізації. Однак якщо не вдавалося встановити типи робочих середовищ, проводили другий етап оптимізації.

Структура алгоритму процесу оптимізації показано на рис. 2.1.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 27   |

Таблиця 2.2 – Умовні позначення оптимізованих параметрів та умов оптимізації

| Найменування параметру                                 | Умовне позначення |
|--|-------------------|
| Перший етап оптимізації                                |                   |
| Пісок, +20□С   | П <sup>+</sup>    |
| Суша глина, +20□С                                      | Г <sup>+</sup>    |
| Сира глина, +20□С                                      | Г <sup>B+</sup>   |
| Суша ґрунтова суміш, +20□С                             | ГР <sup>+</sup>   |
| Сира ґрунтова суміш, +20□С                             | ГР <sup>B+</sup>  |
| Другий етап оптимізації                                |                   |
| Пісок, +20□С   | П <sup>+</sup>    |
| Пісок, -20□С   | П <sup>-</sup>    |
| Суша глина, +20□С                                      | Г <sup>+</sup>    |
| Суша глина, -20□С                                      | Г <sup>-</sup>    |
| Сира глина, +20□С                                      | Г <sup>B+</sup>   |
| Сира глина, -20□С                                      | Г <sup>B-</sup>   |
| Суша ґрунтова суміш, +20□С                             | ГР <sup>+</sup>   |
| Суша ґрунтова суміш, -20□С                             | ГР <sup>-</sup>   |
| Сира ґрунтова суміш, +20□С                             | ГР <sup>B+</sup>  |
| Сира ґрунтова суміш, -20□С                             | ГР <sup>B-</sup>  |
| Суша ґрунтова суміш із протиожеледним реагентом, -20□С | Гг                |
| Сира ґрунтова суміш із протиожеледним реагентом, -20□С | ГгВ               |
| Третій етап оптимізації                                |                   |
| 5%   | X <sub>5</sub>    |
| 10%  | X <sub>10</sub>   |
| 15%  | X <sub>15</sub>   |
| 20%  | X <sub>20</sub>   |

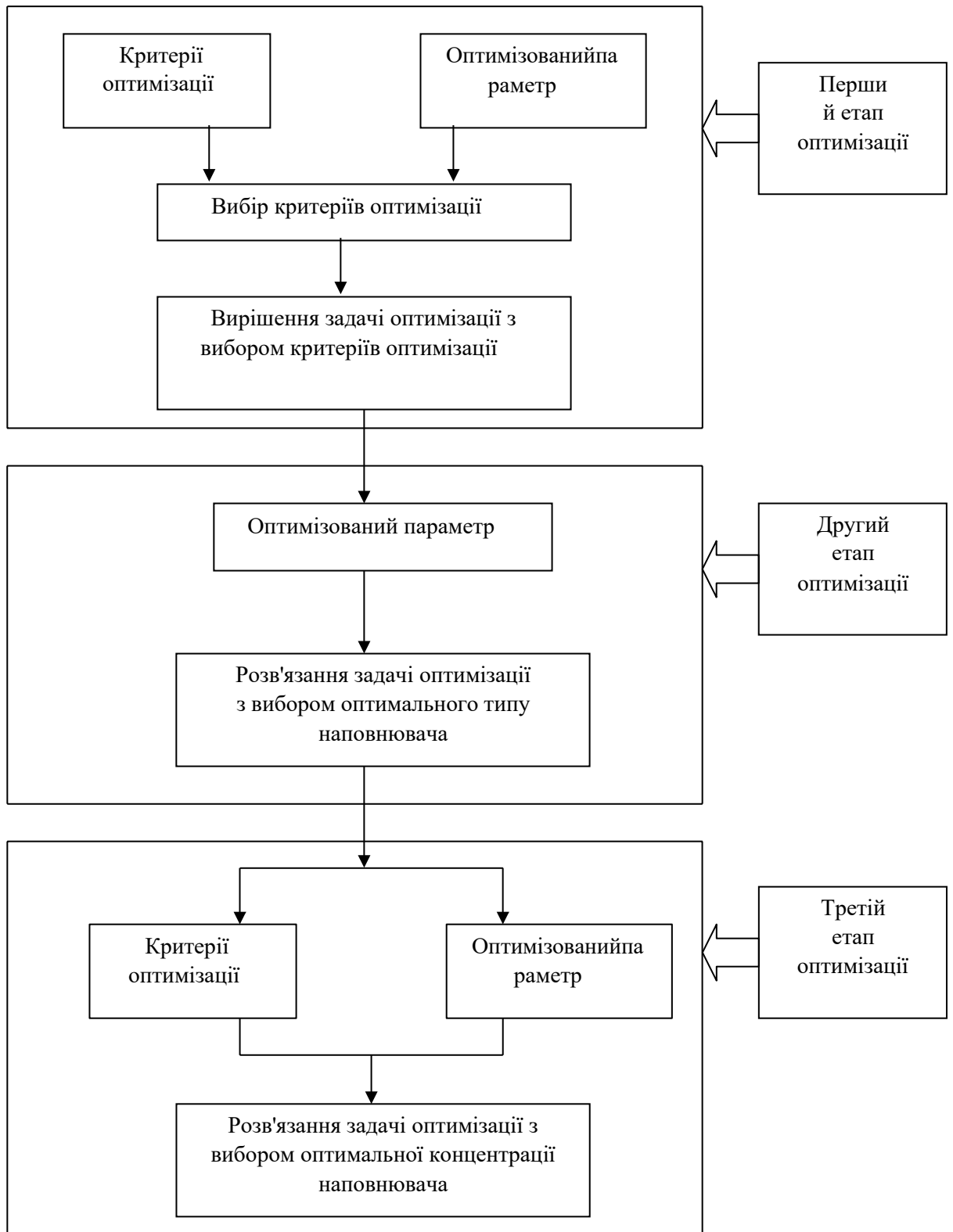


Рисунок 2.1 – Структура процесу оптимізації вибору наповнювача

Таким чином, на першому етапі оптимізації використовували 5 критеріїв, на другому етапі – 12 критеріїв, а на третьому етапі оптимізації

було використано 4 критерії. Вибір типу матеріалу здійснюється лише після завершення другого етапу оптимізації і тому у табл. 2.2 використано позначення  $X_i$ , а індексами показано процентний зміст обраного наповнювача.

Оптимізацію вибору типу наповнювача проводили методом ідеальної точки. Для проведення розрахунків, як кількісні характеристики, використані результати експертної оцінки ступеня налипання ґрунту. Відповідно до розробленої структури оптимізації, спочатку в якості критеріїв використовується 5 показників, що характеризують робочі середовища: пісок у сухому стані, глина в сухому та вологому стані та ґрунт у сухому та вологому стані. Усі вибрані критерії були використані лише за позитивної температури. В результаті проведених розрахунків встановлено, що наповнювачі під номерами 2 та 4 (слюда та волластоніт) мають однакові значення  $A$ , що не дозволяє вибрати з них найкращий. Наповнювач під номером 3 (графіт) має найкраще значення  $A$ , що вказує на те, що саме цей матеріал є оптимальним.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків відстані ( $A$ ) до ідеальної точки першому етапі оптимізації під час використання результатів випробувань при позитивних значеннях температур

| $X_i$ | Критерії оптимізації першому етапі |            |                |            |                  | $A$ |
|-------|------------------------------------|------------|----------------|------------|------------------|-----|
|       | $\Pi^+$                            | $\Gamma^+$ | $\Gamma^{B^+}$ | $\Gamma_p$ | $\Gamma_p^{B^+}$ |     |
|       | 1                                  | 2          | 3              | 4          | 5                |     |
| 1     | 2                                  | 2          | 1              | 3          | 2                | 5,4 |
| 2     | 2                                  | 2          | 4              | 3          | 3                | 2,6 |
| 3     | 4                                  | 3          | 3              | 5          | 4                | 0,2 |
| 4     | 1                                  | 3          | 2              | 4          | 5                | 2,6 |
| 5     | 3                                  | 3          | 2              | 3          | 1                | 4,8 |
| 6     | 1                                  | 2          | 2              | 3          | 1                | 6,6 |

Далі в роботі проводилася оцінка найменшої відстані до ідеальної точки, при використанні цих критеріїв оптимізації, але при негативних значеннях температури.

У табл. 2.5 наповнювачі розташовані в порядку від найкращого до найгіршого. Ті типи наповнювачів, які були повністю рівнозначні, позначені поруч у дужках.

Результати оцінки наповнювачів при впливі вибраних критеріїв оптимізації при негативних значеннях температури повністю відрізняються від аналогічних значень, отриманих для цих показників при позитивних значеннях температур. Єдиний із усіх досліджених типів наповнювачів – волластоніт, однаково погано працює в умовах позитивних та від'ємних температур. Однак, при позитивних температурах він аналогічний властивостям до слюди (номер 2), а за негативних температур – до тальку (номер 1).

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків відстані (A) до ідеальної точки першому етапі оптимізації під час використання результатів випробувань при негативних значеннях температур

| X <sup>i</sup> | Критерії оптимізації першому етапі |    |                 |     |                  | A   |
|----------------|------------------------------------|----|-----------------|-----|------------------|-----|
|                | П-                                 | Г- | Г <sup>B-</sup> | Гр- | Гр <sup>B-</sup> |     |
|                | 1                                  | 2  | 3               | 4   | 5                |     |
| 1              | 2                                  | 3  | 2               | 4   | 3                | 0,8 |
| 2              | 2                                  | 3  | 3               | 1   | 1                | 4,4 |
| 3              | 3                                  | 3  | 3               | 5   | 1                | 1   |
| 4              | 3                                  | 4  | 2               | 4   | 2                | 0,8 |
| 5              | 3                                  | 4  | 2               | 4   | 2                | 0,6 |
| 6              | 3                                  | 4  | 1               | 4   | 2                | 1,2 |

Таблиця 2.5 – Ранжування наповнювачів за результатами оптимізації за різних температур

| Умови оптимізації | Розташування наповнювачів<br>(від найкращого до найгіршого) |
|-------------------|---|
| Температура +20°C | 3 – 2 (4) – 5 –1 –6   |
| Температура -20°C | 5 – 1 (4) – 3 –6 –2   |

З усіх розглянутих наповнювачів, графіт (номер 3) показав найкращі характеристики при позитивних температурах, а кварцова мука (номер 5) – при негативних температурах дала найкращі результати. Таким чином, у результаті попередньо проведених досліджень встановлено, що кількість критеріїв оптимізації необхідно не скорочувати, а навпаки, збільшувати. До критеріїв, що вже використовуються, далі в роботі були додані сирі і сухі.

Завдання оптимізації типу наповнювача (з п'яти розглянутих матеріалів, див. табл. 2.1) також вирішувалося методом ідеальної точки при використанні наступних критеріїв: сухий пісок при позитивній та негативній температурах, глина – суха та волога, також при позитивних та негативних температурах, ґрунт сухий і вологий при двох значеннях температур і суміш ґрунту з протижелезним реагентом, яке використовувалося тільки при від'ємних значеннях температур.

Отже, використовуваний під час проведення оптимізації – метод ідеальної точки, дозволив одержати однозначне розв'язання завдання другий і третій етапах, тобто. обраний найкращий тип наповнювача – яким виявився графіт та встановлено його оптимальний зміст, величина якого дорівнює 15%.

### **3. Експериментальні дослідження матеріалів, що використовуються для створення покриттів робочого обладнання автотехніки**

#### **3.1.Визначення адгезійної міцності полімерних матеріалів з різними типами наповнювачів до матеріалу внутрішньої поверхні робочого обладнання автотехніки**

Покриття для робочого обладнання автотехніки повинні мати комплекс властивостей:

- мати хорошу адгезію до матеріалу робочого устаткування;
- мати антиадгезійні властивості до оброблюваних середовищ (пісок, ґрунт, сніг, протиожеледні реагенти та ін.) – оброблювані матеріали повинні добре видалятися з поверхні робочого обладнання.

Дані покриття є кремнійорганічною основою з різними наповнювачами, що забезпечують поєднання заданих властивостей.

Метою експериментального дослідження, наведеного в цьому розділі, є визначення антиадгезійних властивостей різних типів покриттів, які можуть бути використані для обробки внутрішньої поверхні робочого обладнання ДМ [122].

На підставі проведеного огляду літератури [6, 20, 21, 35, 67, 86, 105], як наповнювачі, здатні забезпечити покриттям комплекс антиадгезійних властивостей до оброблюваних ґрунтів, були вибрані наступні наповнювачі:

- тальк (дозволяє створювати полімерні структури підвищеної щільності, перешкоджає деформації поверхонь, ефективно зміцнює та покращує технічні характеристики полімерних матеріалів);
- слюда (збільшує волого-, тепло- та хімічну стійкість, жорсткість, твердість);
- графіт (надає складу низький коефіцієнт тертя і високу зносостійкість);

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 33   |

– волластоніт (надає складу високу водостійкість, теплостійкість, морозостійкість);

– кварцова мука (підвищує фізико-хімічні властивості наповнених ним полімерів).

Зразки для проведення експериментальних досліджень являли собою пластини, виготовлені з ресора сталі марки 60С2, розміром 7х10см, на які наносили різні типи полімерних покриттів. Як основу полімерного покриття використовувався нейтральний силіконовий герметик марки «Сілагерм 1041» з різними типами наповнювачів (рис. 3.1). В експерименті брали участь шість серій зразків з різним складом полімерного покриття [62].



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд зразків після нанесення покриттів із різними наповнювачами

Вибір матеріалу зразків аргументований тим, що ресори, як правило, максимально піддаються налипанню ґрунтів, особливо в холодний період, коли під дією протиголодних реагентів відбувається утворення кірок на поверхнях. До того ж ресори сильно схильні до динамічних навантажень і впливу вологи, що призводить до корозійних руйнувань листів ресор та їх кріплень [57].

У таблиці 3.1 наведено загальні характеристики серій зразків.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 34   |

Таблиця 3.1 – Загальні характеристики зразків щодо випробувань

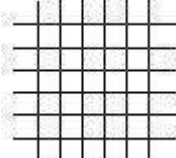
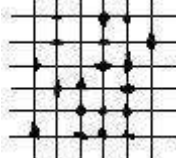
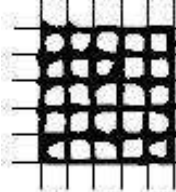
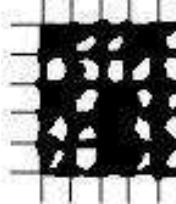
| № серії образця | Маса, гр. | Товщина шару, мм | Склад покриття                                   |                  |                       |
|-----------------|-----------|------------------|--|------------------|-----------------------|
|                 |           |                  | Основа   | Наповнювач       | Зміст наповни-теля, % |
| 1               | 363,2     | 0,5              | Нейтральний силіконовий герметик «Сілагерм 1041» | Тальк            | 5                     |
| 2               | 345,2     |                  |  | Слюда            |                       |
| 3               | 321,6     |                  |  | Графіт           |                       |
| 4               | 326,1     |                  |  | Волластоніт      |                       |
| 5               | 363,4     |                  |  | Кварцова борошно |                       |
| 6               | 369,3     |                  |  | -                | -                     |

Стандартизованих методів оцінки адгезійних властивостей полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки нині немає. Тому в даній роботі при дослідженні адгезійних властивостей покриттів використовувався метод ґратчастих надрізів, який широко застосовується для оцінки властивостей лакофарбових покриттів (ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013)). Цей метод використовується для визначення адгезії (стійкості до відшаровування) одношарового та/або багатшарового покриття або системи покриттів [25].

Суть методу ґратчастих надрізів полягає в тому, що на затверджене полімерне покриття при рівномірному тиску на різальний інструмент, використовуючи відповідний шаблон або лінійку, наносять шість надрізів при рівномірній швидкості різання в напрямку від оператора завдовжки не менше 20 мм. Потім повторюють зазначену операцію під кутом 90° до початкових надрізів для отримання решітки з чітко вираженими точками перетину (таблиця 3.2).

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 35   |

Таблиця 3.2 – Класифікація ґратчастих надрізів відповідно до ГОСТ 31149-2014

| Оцінка | Опис зовнішнього вигляду надрізів   | Схема видів відшарування поверхнею надрізів   |
|--------|---|---|
| 0      | Краї надрізів повністю гладкі, жоден із квадратів у ґратах не відшарувався.   |    |
| 1      | Відшарування дрібних лусочок покриття на перетині надрізів. Площа відшарування небагато перевищує 5% площі ґрат.  |    |
| 2      | Покриття відшарувалося уздовж країв та/або на перетині надрізів. Площа відшарування трохи перевищує 5%, але не більше 15% площі решітки.  |   |
| 3      | Покриття відшарувалося вздовж країв надрізів частково та/або відшарувалося частково або повністю на різних частинах квадратів. Площа відшарувань перевищує 15%, але не більше 35% площі ґрат. |  |
| 4      | Покриття відшарувалося уздовж країв надрізів широкими смугами та/або деякі квадрати відокремилися частково або повністю. Площа відшарування перевищує 35%, але не понад 65% площі ґрат.       |  |
| 5      | Будь-який ступінь відшарування, який не можна класифікувати 4-им балом шкали.   | -   |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Далі візуально або з використанням мікроскопа при хорошому освітленні досліджують зовнішній вигляд поверхні надрізів випробуваного покриття. При огляді поверхонь надрізів повертають пластину таким чином, щоб кути зору та падаючого світла не обмежувалися одним напрямком. Поверхню випробуваного покриття класифікують відповідно до ГОСТ 31149-2014 [25]. На рис. 3.2 – 3.7 (а) представлена поверхня зразків з різними типами наповнювачів відразу після затвердіння полімерного покриття, а на рис. 3.2 –

3.7 (б) – аналогічна поверхня після закінчення 24 годин після нанесення надрізів.



а)



б)

Рисунок 3.2 – Фото зразка №1 з використанням як наповнювач тальку до (а) та після (б) нанесення надрізів



а)

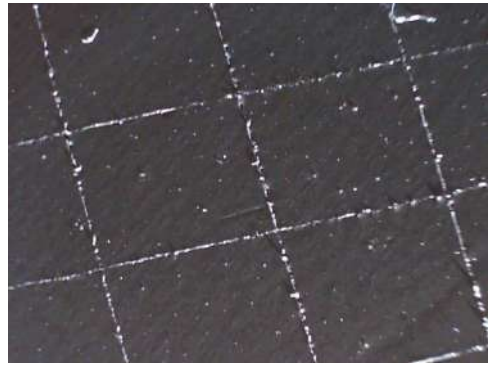


б)

Рисунок 3.3 – Фото зразка №2 з використанням як наповнювач слюди до (а) та після (б) нанесення надрізів



а)



б)

Рисунок 3.4 – Фото зразка №3 з використанням як наповнювач графіту до (а) та після (б) нанесення надрізів



а)



б)

Рисунок 3.5 – Фото зразка №4 з використанням як наповнювач волластоніту до (а) та після (б) нанесення надрізів



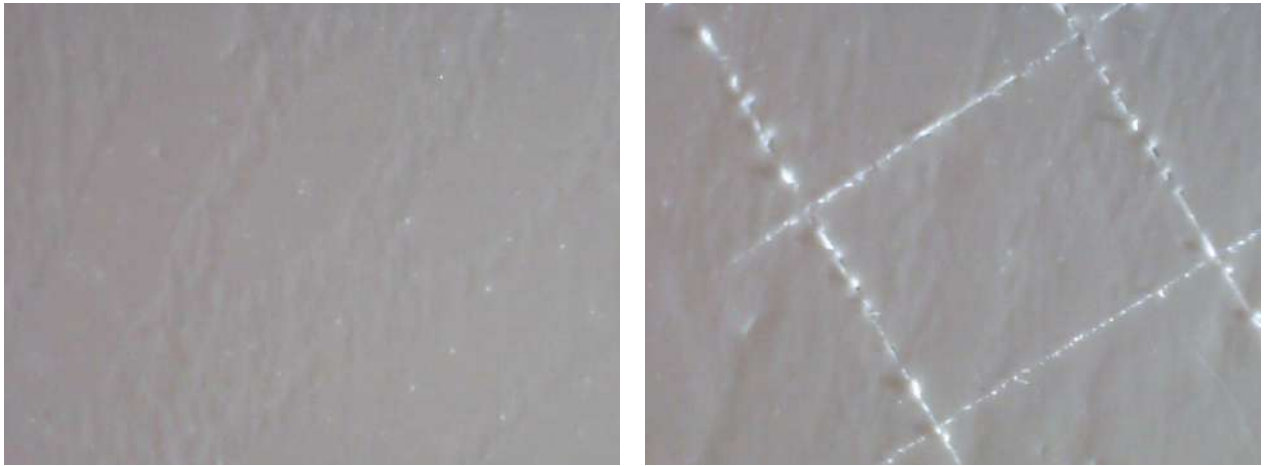
а)



б)

Рисунок 3.6 – Фото зразка №5 з використанням як наповнювач кварцового борошна до (а) та після (б) нанесення надрізів

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 38   |



а) б)

Рисунок 3.7 – Фото зразка №6 з базовим покриттям без наповнювача до (а) та після (б) нанесення надрізів

Як бачимо на фото, пошкоджена поверхня не вступила в реакцію з навколишнім середовищем, слідів руйнування матеріалів не виявлено (усім зразкам присвоюється 0 балів). Виходячи з отриманих результатів, можна дійти висновку про те, що завдяки обробці композиційними полімерними матеріалами можна забезпечити зниження руйнування поверхні металу від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища, тим самим створивши ефект «бар'єра» між металом та агресивними середовищами [78, 79].

### **3.2. Дослідження антиадгезійних властивостей полімерних покриттів з різними типами наповнювачів до різних типів робочих середовищ**

Для визначення антиадгезійних властивостей покриття до середовищ, що обробляються, зразки з усіма обраними наповнювачами (див. розділ 3.1) пройшли випробування в найбільш поширених для автотехніки робочих середовищах:

- будівельний пісок;
- суха глина;

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 39   |

- сира глина;
- суха ґрунтова суміш;
- сира ґрунтова суміш;
- сира ґрунтова суміш із піску та землі, змішана з протиожеледним реагентом марки «Goodhim» у рекомендованих пропорціях;
- суха ґрунтова суміш із піску та землі, змішана з протиожеледним реагентом марки «Goodhim» у пропорціях, що рекомендуються.

Для оцінки налипання ґрунту до поверхні полімерного покриття, на зразки було нанесено вищевказані види ґрунтів. Після двадцятихвилинної витримки ґрунт здувався з поверхні повітряним струменем (з використанням повітряної гармати). Експеримент видалення ґрунту з пластини проводився при кімнатній температурі (+20°C) і при негативній температурі (-20°C). Видалення суміші з протиожеледним реагентом проводилося лише при -20°C, оскільки при позитивних температурах протиожеледний реагент не використовується.

На рис. 3.8 – 3.14 наведено фото зразків після нанесення шару ґрунту та після здування його за допомогою повітряної гармати при температурі +20°C та -20°C.



а)

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 40   |



б)

Рисунок 3.8 – Фото зразків після взаємодії з піском (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)



а)



б)

Рисунок 3.9 – Фото зразків після взаємодії із сухою глиною (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 41   |



а)



б)

Рисунок 3.10 – Фото зразків після взаємодії із сирію глиною (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)



а)



б)

Рисунок 3.11 – Фото зразків після взаємодії із сухою ґрунтовою сумішшю до (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)



а)



б)

Рисунок 3.12 – Фото зразків після взаємодії з сирою ґрунтовою сумішшю до (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 43   |



а)



б)

Рисунок 3.13 – Фото зразків після взаємодії з сирою ґрунтовою сумішшю, змішаною з протиожеледним реагентом



а)



б)

Рисунок 3.14 – Фото зразків після взаємодії з сухою ґрунтовою сумішшю, змішаною з протиожеледним реагентом

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 44   |

Після цього візуально оцінювалося налипання ґрунту до поверхні зразків, і давалася оцінка за п'ятибальною шкалою:

1 - дуже велика кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості незадовільні;

2 – велика кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості незадовільні;

3 – середня кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості задовільні;

4 - мала кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості хороші;

5 - Налипання ґрунту практично відсутнє, антиадгезійні властивості відмінні.

Результати узагальненої оцінки ступеня налипання робочих середовищ до різних типів полімерних покриттів за кімнатної та негативної температури наведено в табл. 3.3.

З даних можна зробити такі висновки:

– Антиадгезійні властивості покриттів із різними наповнювачами змінюються залежно від температури навколишнього середовища.

– При позитивних температурах найкращі антиадгезійні властивості до оброблених ґрунтів (найменший ступінь налипання ґрунту) мають покриття з графітовим наповнювачем та волластонітом. Найбільш сильне налипання ґрунту (погані антиадгезійні властивості до оброблених ґрунтів) мають покриття без наповнювача, а також з тальком, кварцовим борошном та слюдою.

– При негативних температурах найкращі антиадгезійні властивості до оброблених ґрунтів (найменший ступінь налипання ґрунту) мають покриття з тальком, графітом та слюдою. Найбільш сильне налипання ґрунту при від'ємних температурах (погані антиадгезійні властивості до оброблених ґрунтів) мають покриття без наповнювача, а також з

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 45   |

кварцовим борошном та волластонітом.

Таблиця 3.3 - Узагальнена оцінка ступеня налипання робочих середовищ до різних типів полімерних покриттів

| Оброблювані середовища   | Оцінка ступеня налипання ґрунту, в балах до зразків (№ зразка у соотв. з табл. 3.1) |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|
|  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Пісок  |   |   |   |   |   |   |
| +20°C  | 2   | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 |
| -20°C  | 2   | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Сира глина   |   |   |   |   |   |   |
| +20°C  | 1   | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| -20°C  | 2   | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Суха глина   |   |   |   |   |   |   |
| +20°C  | 2   | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| -20°C  | 3   | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Сира ґрунтова суміш  |   |   |   |   |   |   |
| +20°C  | 2   | 3 | 4 | 5 | 1 | 1 |
| -20°C  | 4   | 5 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Суха ґрунтова суміш  |   |   |   |   |   |   |
| +20°C  | 3   | 3 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| -20°C  | 4   | 1 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Сира ґрунтова суміш +<br>протиголодний реагент при -<br>20°C   | 3   | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Суха ґрунтова суміш +<br>противоґлолідний реагент<br>при -20°C | 4   | 4 | 3 | 4 | 3 | 1 |

Таким чином, виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 46   |

про те, що графіт є найбільш універсальним наповнювачем, для створення захисних полімерних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання.

рожних машин, що мають антиадгезійні властивості до найбільш поширених середовищ, що обробляються [6].

### **3.3. Дослідження стійкості полімерних покриттів із різними типами наповнювачів до впливу кліматичних факторів**

Прискорені кліматичні випробування проводились з метою визначення стійкості захисних властивостей покриттів для внутрішніх поверхонь робочого обладнання ДМ та встановлення прогнозованого терміну служби в умовах відкритої промислової атмосфери помірного та холодного клімату.

Прискорені кліматичні випробування проводились відповідно до ГОСТ 9.401-91 «Єдина система захисту від корозії та старіння. Покриття лакофарбові. Загальні вимоги та методи прискорених випробувань на стійкість до впливу кліматичних факторів» [27].

Випробування проводилися за скороченим варіантом методу 6 (ГОСТ 9.401-91) з використанням камери холоду та камери вологи [27].

Послідовність проведення випробувань полягала в наступному: зразки поміщали в камеру вологи і витримували при температурі  $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$  та відносній вологості повітря  $(97\pm 3)\%$  протягом 2 год. З камери вологи зразки переносили в камеру холоду і витримували при температурі мінус  $(30\pm 3)^{\circ}\text{C}$  протягом 6 год. Згідно з вимогами ГОСТ 9.401-91, метод 6 передбачає проведення не менше 15 циклів прискорених кліматичних випробувань покриттів, у даному випадку було проведено 30 циклів. Тривалість перерви при випробуванні між циклами повинна становити не більше 96 годин (мінімальний час перерви між випробуваннями стандартом не встановлено), при цьому зразки витягують із камери та зберігають як контрольні. В даному випадку перерва між циклами становила 10-14 годин. Огляд зразків під час випробування проводився через 1, 2, 3, 5, 7, 10 циклів, потім через кожні 5

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 47   |

циклів.

Режим випробувань, послідовність переміщення та час витримки зразків в апаратах в одному циклі наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Режим прискорених випробувань методом б (помірний і холодний клімат) ГОСТ 9.401-91

| Устаткування              | Режими випробувань |                       | Тривалість витримки в одному циклі, год. | Число циклів |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|--|--------------|
|                           | Температура, °С    | Відносна вологість, % |  |              |
| Камера вологи (гідростат) | 40(±2)             | 97(±3)                | 2  | 30           |
| Камера холоду             | -30(±3)            | Не нормується         | 6  | 30           |
| РАЗОМ                     |                    |                       | 8  | 30           |

Візуальний огляд та оцінку стану покриттів у процесі випробувань проводили за ГОСТ 9.407-2015 «Єдина система захисту від корозії та старіння. Лакофарбові покриття. Метод оцінки зовнішнього вигляду». При візуальному огляді стану покриттів оцінювалися види руйнувань, що характеризують захистно-декоративні властивості: розтріскування (Т), вивітрювання (В), відшаровування (С), утворення пухирів (П), розчинення (Р), зморщування (СМ), корозія металу (К) [28].

При оцінці не враховують стан покриттів на краях та прилеглих до них поверхнях на відстані 10 мм. Допускається площу зруйнованого покриття визначати візуально. Узагальнену оцінку зовнішнього вигляду комплексу змін захисних властивостей (АЗ) проводять за табл. 3.5. Результати узагальненої оцінки записуються у вигляді літер «АЗ» та цифри, що позначає бал (табл. 3.6).

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 48   |



Таблиця 3.6 – Результати прискорених кліматичних випробувань покриттів на основі силіконового герметика до різних наповнювачів за методом (УХЛ1) ГОСТ 9.401-91

| Результати випробувань | № зразка/наповнювач    |               |                     |   |   |                                    |
|------------------------|------------------------|---------------|---------------------|---|---|------------------------------------|
|                        | 1/ тальк               | 2 / слюда     | 3 / графіт          | 4 / волла-стогне                            | 5 / кварцове борошно                        | 6 / без наповнювача                |
| 1                      | А31(без змін)          |               |                     |   |   |                                    |
| 2                      | А31(без змін)          |               |                     |   |   |                                    |
| 3                      | А31(без змін)          |               |                     |   |   |                                    |
| 5                      | А31(без змін)          |               |                     |   | А32 (розтріскування)                        |                                    |
| 7                      | А31(без змін)          |               |                     |   | А32 (розтріскування)                        |                                    |
| 10                     | А31(без змін)          |               |                     | А32 (розтріскування)                        |   |                                    |
| 15                     | А31(без змін)          |               |                     | А32 (розтріскування)                        |   | А33 (розтріскування, відшарування) |
| 20                     | А32 (зморщування - ня) | А31(без змін) |                     | А33 (розтріскування, відслоювання)          | А33 (розтріскування, відшарування, корозія) |                                    |
| 25                     | А32 (зморщування)      |               | А32 (вивіт-ривання) | А33 (розтріскування, відслоювання)          | А33 (розтріскування, відшарування, корозія) |                                    |
| 30                     | А32 (зморщування)      |               | А32 (вивіт-ривання) | А33 (розтріскування, відшарування, корозія) |   |                                    |

Відповідно до ГОСТ 9.407-2015 відповідність стану покриття після 15

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 50   |

циклів випробувань вимогам щодо захисних властивостей не більше А31 та адгезії не більше 3 балів забезпечує мінімальний гарантований термін служби у відкритій промисловій атмосфері помірного та холодного кліматів не менше двох років [28].

У покриттів без наповнювача (зразок 6) і кварцове борошно (зразок 5), що містить як наповнювач, погіршення захисних властивостей зафіксовано після 5 циклів випробувань (А32).

Після 15 циклів випробувань на покриттях без наповнювача, а також покриттів до складу яких як наповнювач входить кварцове борошно і волластоніт також зафіксовано погіршення захисних властивостей (розтріскування, відшаровування). Захисні властивості покриттів, до складу яких як наповнювач входить графіт, слюда та тальк після 15 циклів випробувань збереглися без змін та оцінювалися балом А31. Тому було ухвалено рішення провести ще 15 циклів випробувань.

Після 20 циклів випробувань захисні властивості покриттів, до складу яких наповнювач входить графіт, і слюда також збереглися без змін, а на покриттях з тальком спостерігаються незначне зморщування (А32). Видимі зміни (зморщування та вивітрювання А32) у цих покриттях зафіксовані після 25 циклів і збереглися без змін після 30 циклів. Таким чином, найкращі захисні властивості зафіксовані у відкритій промисловій атмосфері помірного та холодного кліматів біля покриттів до складу яких входить графіт, слюда та тальк. Ці наповнювачі можуть бути використані для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки.

Адгезію покриттів оцінювали після 30 циклів випробувань, методом гратчастих надрізів за ГОСТ 15140 після витримки зразків протягом не менше 1 години на повітрі при температурі 15-30°C та відносній вологості повітря не більше 80% (рис. 3.15). У таблиці 3.7 представлено оцінку структури поверхні зразків відразу після нанесення надрізів і через годину [23].

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 51   |



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.15 – Фото зразків після кліматичних випробувань з нанесеними надрізами: а – тальк, б – слюда, в – графіт, г – волластоніт, д – кварцове борошно, е – без наповнювача

Таблиця 3.7 – Оцінка структури поверхні зразків після кліматичних випробувань відразу після нанесення надрізів та через 1 годину

| № зразка | Відразу після нанесення надрізів | Через 1 годину після надрізів |
|----------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1        | 1                                | 1                             |
| 2        | 2                                | 1                             |
| 3        | 2                                | 2                             |
| 4        | 3                                | 2                             |
| 5        | 2                                | 2                             |
| 6        | 2                                | 2                             |

Для підтвердження результатів кліматичних випробувань було проведено структурний аналіз усіх зразків до та після кліматичних випробувань [62].

Структура покриттів досліджувалась з використанням растрового (скануючого) електронного мікроскопа (РЕМ) «Phenom» (табл. 3.8), що дозволяє отримувати зображення поверхні зразка з роздільною здатністю до 50 нм, вивчати морфологічні характеристики поверхні. Технічні характеристики мікроскопа представлені таблиці [93].

Послідовність підготовки зразка:

1. Нанесення зразка на двосторонню клейку вуглецеву стрічку, приклеєну на спеціальну підкладку;
2. Встановлення підкладки в картридж (рис. 3.16 а);
3. Встановлення картриджа в робочу зону мікроскопа (рис. 3.16, б).

Таблиця 3.8 - Основні технічні характеристики  
растрового електронного мікроскопа  
Phenom

| Технічні характеристики        | Значення                             |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Діапазон збільшення            | 20x - 24,000x                        |
| Просторовий дозвіл             | 30 нм                                |
| Робочий тиск                   | 1 Па                                 |
| Час завантаження зразка        | менше 30 сек                         |
| Розмір зразка                  | діаметр до 25 мм<br>товщина до 35 мм |
| Джерело електронів             | Кристал СеВ6                         |
| Прискорююча напруга електронів | 5 кВ                                 |
| Управління                     | Сенсорний монітор                    |



а)



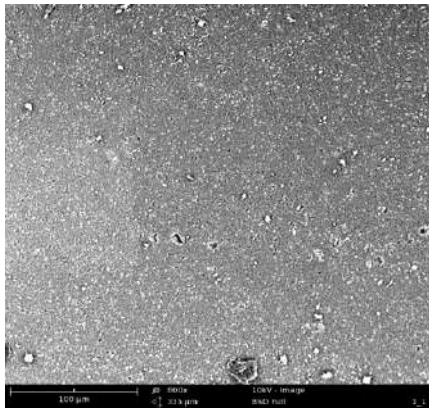
б)

Рисунок 3.16 – Встановлення підкладки в картриджі РЕМ «Phenom» (а) та встановлення картриджа в «робочу» зону мікроскопа (б)

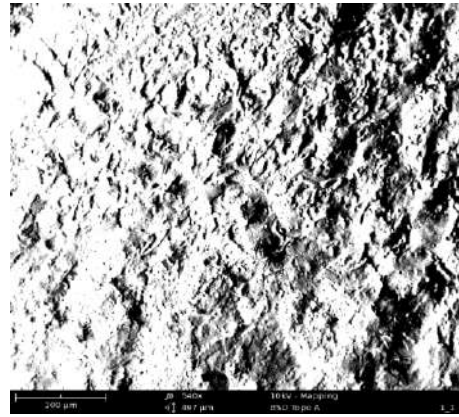
Фото структури покриття до та після кліматичних випробувань при збільшенні 100, 50 та 30 мкм наведено на рис. 3.17 – 3.22.

Спочатку зразки, до складу яких як наповнювач входить слюда (зразок №2, рис. 3.18), графіт (зразок №3, рис. 3.19), і волластоніт (зразок №4, рис. 3.20) мають найбільш рівномірну та однорідну структуру з незначними включеннями. Зразки, до складу яких як наповнювач входить тальк (зразок №1, рис. 3.17) і без наповнювача (зразок №6, рис. 3.22), спочатку відрізняються структурою з дрібними порами.

Найбільша кількість структурних дефектів, як на початковому етапі, так і після кліматичних випробувань зафіксована у покриттві, до складу яких як наповнювач входить кварцове борошно (зразок №5, рис. 3.21). Це покриття спочатку має неоднорідну пористу структуру з великою кількістю включень та дефектів, яка ще більше погіршується після кліматичних випробувань. Дані дефекти знижують стійкість покриття до впливу вологи та негативних температур та викликають передчасне розтріскування покриття при кліматичних випробуваннях (див. табл. 3.6).

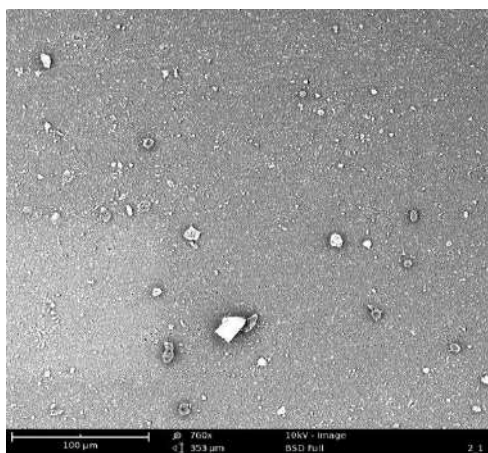


а)

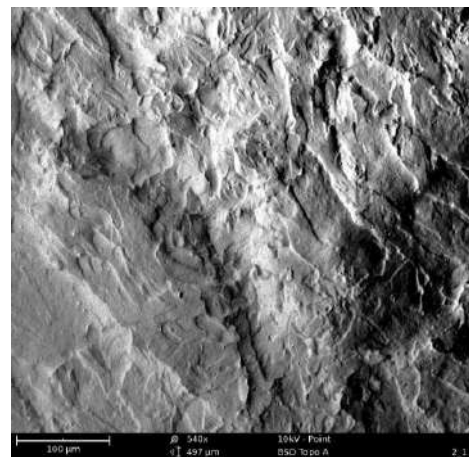


б)

Рисунок 3.17 – Фото структури покриття -тальк (зразок №1) до (а) і після (б) кліматичних випробувань при різному збільшенні

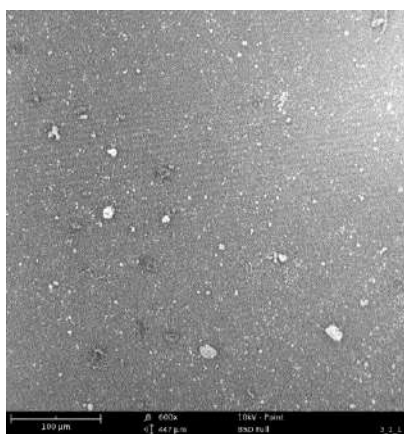


а)

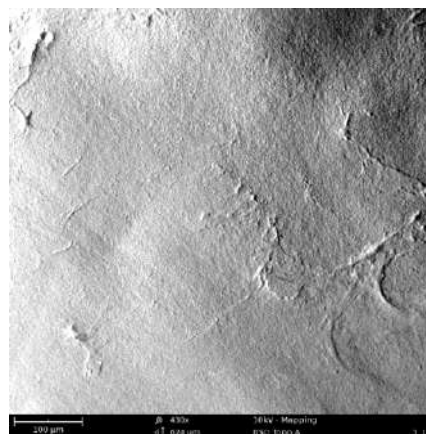


б)

Рисунок 3.18 – Фото структури покриття -слюда (зразок №2) до (а) та після (б) кліматичних випробувань при різному збільшенні



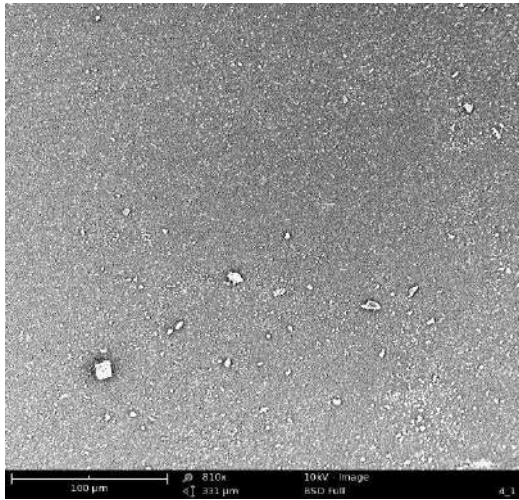
а)



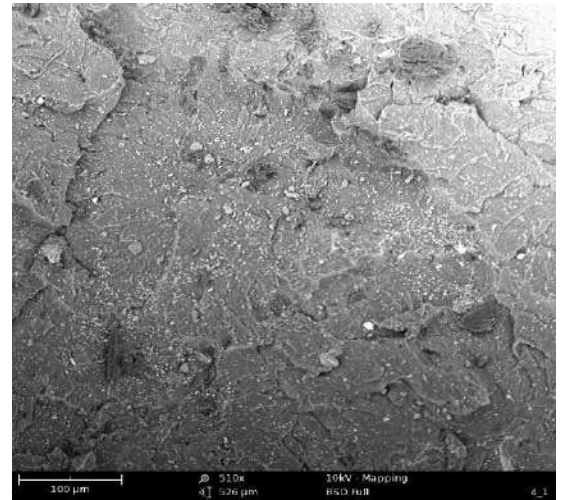
б)

Рисунок 3.19 – Фото структури покриття- графіт (зразок №3) до (а) та після (б) кліматичних випробувань при різному збільшенні

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 55   |

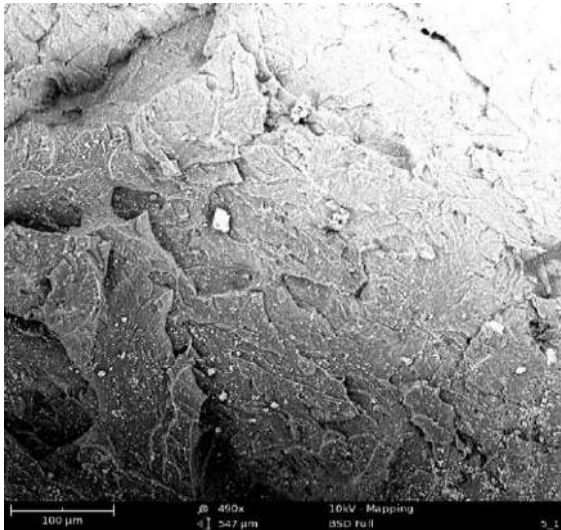


а)

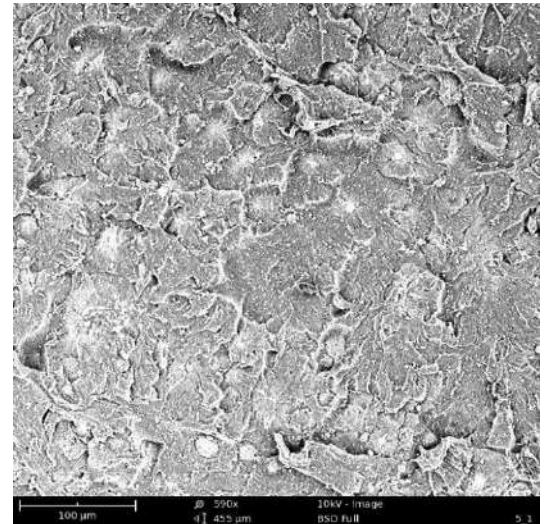


б)

Рисунок 3.20 – Фото структури покриття, до складу якого як наповнювач входить волластоніт (зразок №4) до (а) і після б) кліматичних випробувань при різному збільшенні



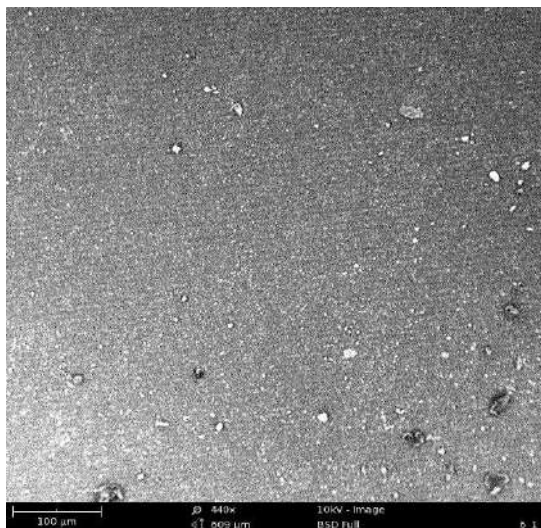
а)



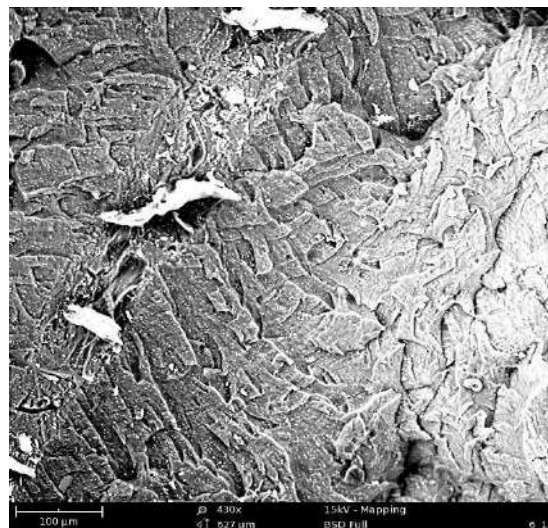
б)

Рисунок 3.21 – Фото структури покриття, до складу якого як наповнювач входить кварцеве борошно (зразок №5) до (а) і після (б) кліматичних випробувань при різному збільшенні

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 56   |



а)



б)

Рисунок 3.22 – Фото структури вихідного покриття без наповнювача (зразок №6) до (а) та після (б) кліматичних випробувань при різному збільшенні

Після 30 циклів кліматичних випробувань у покриттях з графітом, тальком та слюдою не спостерігається структурних дефектів (тріщин, сторонніх включень та інших дефектів). Найменш дефектна структура після кліматичних випробувань спостерігається у покриттів, до складу яких як наповнювач входить графіт.

У покриттях з волластонітом і без наповнювача після 30 циклів кліматичних випробувань зафіксовано наявність пір та розшарування, які призводять до відшаровування покриття.

Таким чином, на підставі кліматичних випробувань і структурного аналізу можна зробити висновок, що покриття до складу яких як наповнювач входить волластоніт, кварцове борошно і без наповнювача мають низьку стійкість до впливу вологи та негативних температур і не можуть бути використані для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки

Покриття, до складу яких як наповнювач входить графіт, слюда та тальк відповідають вимогам ГОСТ 9.401-91 щодо захисних властивостей, що підтверджується результатами структурного аналізу [27].

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 57   |

Отже, можна зробити висновок, що гарантований термін служби покриттів, до складу яких як наповнювач входить графіт, слюда та тальк при експлуатації в умовах відкритої промислової атмосфери помірного та холодного клімату, становить не менше чотирьох років.

### **3.4. Визначення оптимальної концентрації наповнювача для створення полімерних покриттів для обробки внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки**

Визначення оптимальної концентрації наповнювача в кремнійорганічному полімерному матеріалі для створення покриття, виконано для графіту, слюди та тальку, оскільки за результатами випробувань, наведених у розділах ці наповнювачі показали найкращі властивості. Цикл експериментальних досліджень проводився з урахуванням методики, описаної у розділі 3.2.

Для проведення експериментальних досліджень були підготовлені зразки, які були пластинами, розміром 4x10 см. На пластини попередньо були нанесені полімерні матеріали з різною концентрацією наповнювачів (табл. 3.9). Як основу полімерного покриття використовувався нейтральний силіконовий (кремнійорганічний) герметик марки «Сілагерм 1041». Попередня підготовка зразків полягала у зачистці, обробці та знежиренні поверхні пластин.

Спочатку було проведено оцінку адгезійних властивостей покриттів з різною концентрацією наповнювача з використанням методу ґратчастих надрізів (ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013)) [25, 29].

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що наповнювачі, що розглядаються (графіт, тальк, слюда) можуть входити до складу захисного покриття в різній концентрації (від 5 до 20%) не знижуючи адгезійних властивостей покриття до матеріалу робочого обладнання.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 58   |

Таблиця 3.9 – Загальні характеристики зразків щодо випробувань

| № зразка | склад                            |                              | Наповнювач | Товщина шару, мм |
|----------|----------------------------------|------------------------------|------------|------------------|
|          | Основа                           | Наповнювач (Концентрація, %) |            |                  |
| 1        | Нейтральний силіконовий герметик | 5                            | Графіт     | 0,3              |
| 2        |                                  | 10                           |            |                  |
| 3        |                                  | 15                           |            |                  |
| 4        |                                  | 20                           |            |                  |
| 5        | «Сілагерм 1041»                  | 5                            | Тальк      | 0,2              |
| 6        |                                  | 10                           |            |                  |
| 7        |                                  | 1                            |            |                  |
| 8        |                                  | 20                           |            |                  |
| 9        |                                  | 5                            | Слюда      | 0,2              |
| 10       |                                  | 10                           |            |                  |
| 11       |                                  | 15                           |            |                  |
| 12       |                                  | 20                           |            |                  |

Для оцінки налипання ґрунту до поверхні полімерного покриття, на зразки було нанесено вищевказані види ґрунтів. Після двадцятихвилинної витримки ґрунт здувався з поверхні повітряним струменем (з використанням повітряної гармати). Експеримент видалення ґрунту з пластини проводився при кімнатній температурі (+20°C) і при негативній температурі (-20°C). Видалення суміші з протижелезним реагентом проводилося лише при -20°C, оскільки при позитивних температурах протижелезний реагент не використовується.

Після цього візуально оцінювалося налипання ґрунту до поверхні зразків і давалася оцінка за п'ятибальною шкалою:

1 - дуже велика кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості незадовільні;

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 59   |

- 2 – велика кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості незадовільні;
- 3 – середня кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості задовільні;
- 4 - мала кількість налипання ґрунту, антиадгезійні властивості хоро-  
ші;
- 5 – налипання ґрунту практично відсутнє, антиадгезійні властивості  
чудові.

На рисунках 3.23 – 3.29 представлена поверхня зразків після нанесення шару ґрунту та після здування його за допомогою повітряної гармати при температурі +20°C та -20°C. Випробування з 5% концентрацією графіту наведено у розділі Тому в даному розділі розглядалася лише концентрація 10, 15 та 20%.

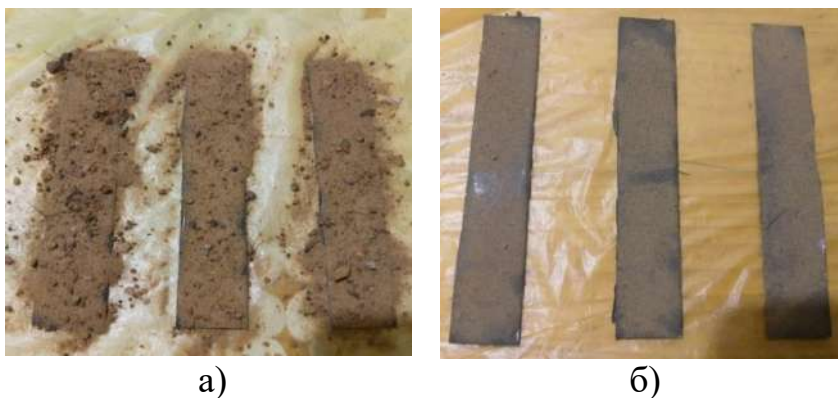


Рисунок 3.23 – Фото зразків із графітом після взаємодії з піском (а) та після впливу потоку повітря при температурі (б)



Рисунок 3.24 – Фото зразків із графітом після взаємодії із сухою глиною (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)



а)



б)

Рисунок 3.25 – Фото зразків із графітом після взаємодії із сирією глиною (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)



а)



б)

Рисунок 3.26 – Фото зразків з графітом після взаємодії із сухою ґрунтовою сумішшю (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)



а)



б)

Рисунок 3.27 – Фото зразків з графітом після взаємодії з сирією ґрунтовою сумішшю (а) та після впливу потоку повітря при температурі +20°C (б)

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 61   |



а)



б)

Рисунок 3.28 – Фото зразків з графітом після взаємодії з сирою ґрунтовою сумішшю та протиожеледним реагентом відразу після нанесення (а) та після впливу потоку повітря (б)



а)



б)

Рисунок 3.29 – Фото зразків з графітом після взаємодії з сухою ґрунтовою сумішшю та протиожеледним реагентом відразу після нанесення (а) та після впливу потоку повітря (б)

Узагальнені результати оцінки ступеня налипання робочих середовищ до полімерних покриттів з різною концентрацією графіту при кімнатній та заперечній температурі наведено в таблиці 3.10.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 62   |

Таблиця 3.10 – Оцінка ступеня налипання робочих середовищ до полімерних покриттів з різною концентрацією графіту за кімнатної та негативної температури

| Оброблювані середовища   | Оцінка ступеня налипання ґрунту, в балах до образцям при різній концентрації графіту |     |     |     |
|--|--|-----|-----|-----|
|  | 5%   | 10% | 15% | 20% |
| Пісок<br>+20°C   | 4  | 3   | 3   | 3   |
|  | 3  | 3   | 3   | 3   |
| Сира глина<br>+20°C  | 3  | 2   | 3   | 2   |
|  | 3  | 4   | 3   | 3   |
| Суха глина<br>+20°C  | 3  | 3   | 2   | 2   |
|  | 3  | 2   | 3   | 3   |
| Сира ґрунтова суміш<br>+20°C                                   | 4  | 3   | 3   | 2   |
|  | 1  | 4   | 5   | 5   |
| Суха ґрунтова суміш<br>+20°C                                   | 5  | 3   | 3   | 4   |
|  | 5  | 3   | 4   | 4   |
| Сира ґрунтова суміш +<br>протиголовий реагент при<br>-<br>20°C | 4  | 3   | 4   | 4   |
| Суха ґрунтова суміш +<br>протиголовий реагент<br>при -20°C     | 3  | 4   | 4   | 5   |

Антиадгезійні властивості покриттів із графітовим наповнювачем змінюються залежно від температури навколишнього середовища. При позитивних температурах найкращі антиадгезійні властивості до

оброблюваних ґрунтів (найменший ступінь налипання ґрунту) мають покриття з концентрацією графіту 5% та 15%. Найбільш сильне налипання ґрунту (погані антиадгезійні властивості до оброблюваних ґрунтів) спостерігається у зразка з 20% концентрацією графіту.

**Таким чином, оптимальна концентрація графіту в кремнійорганічному полімерному покритті становить 15%.**

Узагальнені результати оцінки ступеня налипання робочих середовищ до поверхонь зразків з різною концентрацією тальку наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Оцінка ступеня налипання робочих середовищ до полімерних покриттів з різною концентрацією тальку при кімнатній та негативній температурі

| Оброблювані середовища                               | Оцінка ступеня налипання ґрунту, в балах до образцям при різній концентрації тальку |     |     |     |
|--|---|-----|-----|-----|
|  | 5%  | 10% | 15% | 20% |
| Пісок  |   |     |     |     |
| +20°C  | 3   | 3   | 3   | 3   |
| -20°C  | 2   | 3   | 2   | 2   |
| Сира глина   |   |     |     |     |
| +20°C  | 2   | 2   | 2   | 2   |
| -20°C  | 2   | 2   | 3   | 2   |
| Суха глина   |   |     |     |     |
| +20°C  | 3   | 3   | 3   | 3   |
| -20°C  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| Сира ґрунтова суміш                                  |   |     |     |     |
| +20°C  |   |     |     |     |
| -20°C  | 4   | 5   | 5   | 5   |
|  | 4   | 4   | 5   | 5   |
| Суха ґрунтова суміш                                  |   |     |     |     |
| +20°C  |   |     |     |     |
| -20°C  | 4   | 4   | 4   | 4   |
|  | 4   | 4   | 4   | 4   |
| Сира ґрунтова суміш + протиголовий реагент при -20°C | 4   | 4   | 5   | 5   |
| Суха ґрунтова суміш + протиголовий реагент при -20°C | 3   | 4   | 4   | 3   |

Виходячи з отриманих даних можна зробити висновок про те, що оптимальна концентрація тальку в кремнійорганічному герметиці, що використовується для створення захисних покриттів робочого обладнання ДМ складає 15%. Узагальнені результати оцінки ступеня налипання робочих середовищ до поверхонь зразків з різною концентрацією слюди наведено у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Оцінка ступеня налипання робочих середовищ до полімерних покриттів з різною концентрацією слюди за кімнатної та негативної температури

| Оброблювані середовища                                | Оцінка ступеня налипання ґрунту, в балах до зразків при різній концентрації слюди |     |     |     |
|---|---|-----|-----|-----|
|   | 5%  | 10% | 15% | 20% |
| Пісок<br>+20°C  | 2   | 2   | 2   | 3   |
|   | -20°C   | 3   | 3   | 3   |
| Сира глина<br>+20°C                                   | 2   | 2   | 3   | 2   |
|   | -20°C   | 2   | 2   | 2   |
| Суха глина<br>+20°C                                   | 3   | 3   | 2   | 3   |
|   | -20°C   | 3   | 3   | 3   |
| Сира ґрунтова суміш<br>+20°C                          | 4   | 4   | 5   | 5   |
|   | -20°C   | 4   | 5   | 5   |
| Суха ґрунтова суміш<br>+20°C                          | 4   | 4   | 4   | 4   |
|   | -20°C   | 4   | 4   | 3   |
| Сира ґрунтова суміш + протиголовий реагент при - 20°C | 4   | 4   | 4   | 4   |
| Суха ґрунтова суміш + протиголовий реагент при -20°C  | 4   | 4   | 4   | 4   |

Виходячи з даних можна зробити висновок про те, що оптимальна концентрація слюди становить 15%. При меншій концентрації спостерігається значне налипання ґрунту до поверхні покриття. Збільшена до 20% концентрація наповнювача показує задовільний результат [64].

Таким чином, оптимальна концентрація графіту, тальку та слюди у кремнійорганічному полімерному покритті для створення захисних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання ДМ становить 15%.

### 3.5.Визначення впливу полімерних покриттів з різними типами наповнювачів на корозійну стійкість

Для визначення корозійної стійкості полімерних покриттів з різними типами наповнювачів, які застосовуються для робочого обладнання автотехніки, зразки пройшли прискорені корозійні випробування за ГОСТ Р 9-905 2007 [30].

У таблиці 3.13 наведено загальну характеристику зразків та зміст наповнювача у складі полімерного покриття.

Таблиця 3.13 – Загальні характеристики образів під час проведення випробувань

| № серії зразка | Товщина шару, мм | Склад покриття                                  |                  |                      |
|----------------|------------------|---|------------------|----------------------|
|                |                  | Основа  | Наповнювач       | Зміст наповнювача, % |
| 1              | 0,3              | Нейтральний силікінний герметик «Сілагерм 1041» | Кварцове борошно | 15                   |
| 2              |                  |   | Тальк            |                      |
| 3              |                  |   | Слюда            |                      |
| 4              |                  |   | Графіт           |                      |
| 5              |                  |   | Волостаніт       |                      |
| 6              |                  | -   | -                |                      |

На Рисунку 3.44 зображені зразки до обробки полімерним покриттям

(а) та відразу після нанесення покриття (б).



(а)

(б)

Рисунок 3.30 - Зовнішній вигляд зразків до та після нанесення полімерного герметика

Суть методу прискорених корозійних випробувань у тому, що зразки містяться у 5% водний розчин NaCl. Пластини поміщаються в розчин на відстані один від одного приблизно 20 мм терміном на один місяць. Протягом першого місяця зразки залишаються у статичному стані. Після цього терміну, зразки вилучаються з розчину і оглядаються. Дані щодо корозійних руйнувань фіксуються. Після огляду зразки знову поміщаються у розчин ще на один місяць. Проводиться зовнішній огляд корозійних руйнувань. На Рисунку 3.31 представлено фото розчину після двомісячної витримки образів.



Рисунок 3.31 - Зразки у 5% водному розчині NaCl після 2-х місячної

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 67   |

витримки

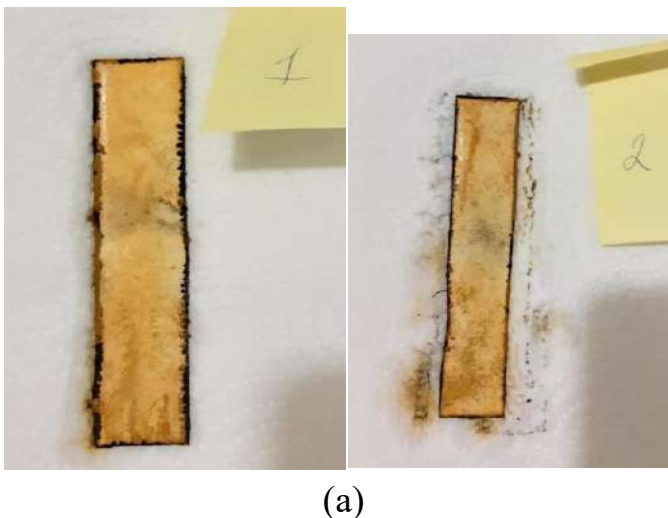


Рисунок 3.32 - Зовнішній вигляд полімерного покриття на поверхні зразків після двомісячної витримки у 5% водному розчині NaCl

Далі на фото (рис. 3.33) представлена зворотна поверхня зразків, не захищена полімерним покриттям.

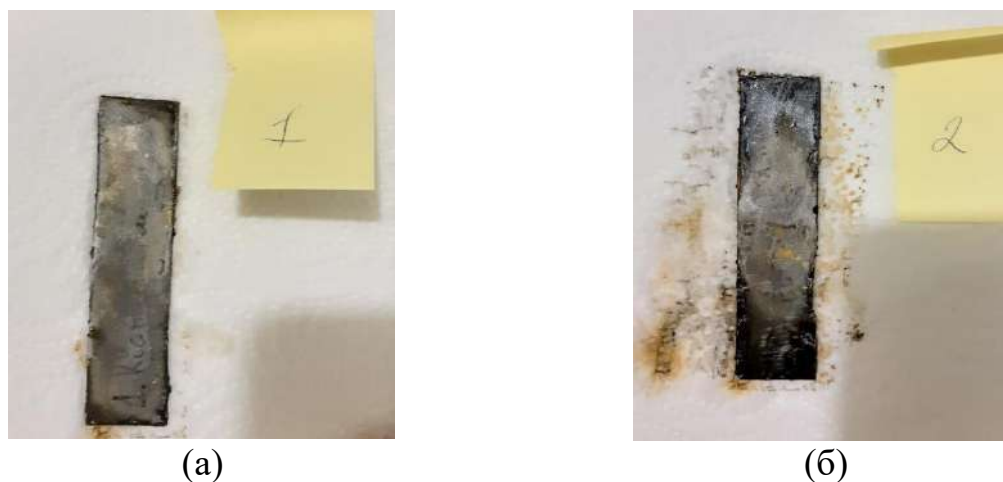


Рисунок 3.33 - Зовнішній вигляд зворотної сторони зразків після двомісячної витримки в 5% водному розчині NaCl

Як видно на малюнках, за період на поверхні зразків з полімерним покриттям по краях пластин спостерігається корозійне руйнування з ефектом «запаювання» герметика по краях.

На зворотному боці зразків, яка не була покрита полімерним

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 68   |

покриттям, спостерігається виразкова та точкова корозія із зміною вихідного кольору металу.

Після зовнішнього огляду поверхні полімерного покриття кожного зразка були зроблені надрізи з метою розгляду стану металевої підкладки. На Рисунку 3.48 представлені фото зразків із надрізами на поверхні покриття.



Рисунок 3.34 – Зразки після зрізу ділянки полімерного покриття з металевої підкладки

Зовнішній огляд показав, що поверхня металевої підкладки залишилася недоторканою до корозійних змін незалежно від типу наповнювача в полімерному герметиці.

На фото чітко видно неушкоджену структуру металевої підкладки після зрізання полімерного покриття.

На Рисунку 3.35 представлені фото звороту зразків, які зазнали корозійного руйнування.

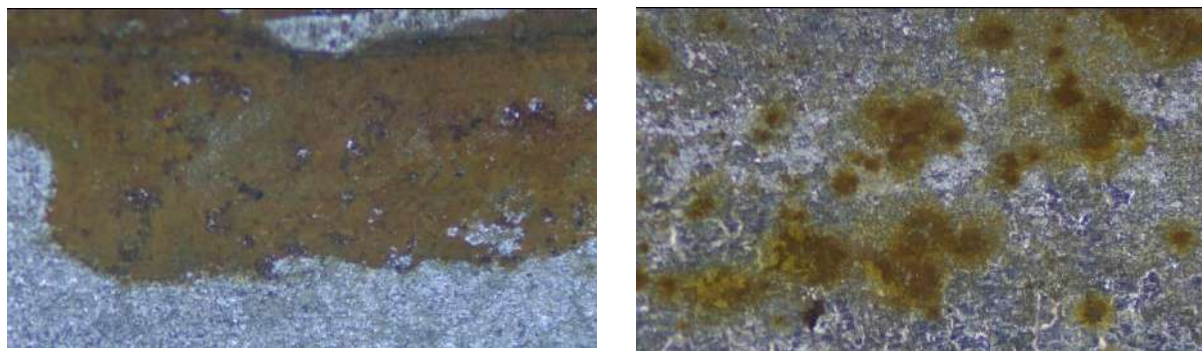


Рисунок 3.35 – Зовнішній вигляд зворотної сторони зразків

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 69   |

Зворотна сторона, не оброблена полімерним покриттям, зазнала корозійного руйнування. На фото зразків чітко простежується суцільна та точкова корозія [46].

Далі в таблиці 3.14 наведено оцінку покриття за п'ятибальною шкалою.

- 1 - дуже велика кількість корозійних плям;
- 2 – велика кількість корозійних плям, середня корозійна руйнація;
- 3 – середня кількість корозійних плям, середня корозійна руйнація;
- 4 - мала кількість корозійних плям, незначна корозійна руйнація;
- 5 - Повна відсутність корозійного руйнування.

Таблиця 3.14 – Оцінка корозійного руйнування поверхонь із полімерним покриттям та без нього

| № зразка | Найменування наповнювача | Оцінка корозійного руйнування з полімерним покриттям, бал | Оцінка корозійного руйнування поверхні без полімерного покриття, бал |
|----------|--------------------------|---|--|
| 1        | Кварцове борошно         | 5   | 2  |
| 2        | Тальк                    | 5   | 1  |
| 3        | Слюда                    | 5   | 3  |
| 4        | Графіт                   | 5   | 1  |
| 5        | Волостаніт               | 5   | 1  |
| 6        | Без наповнювача          | 5   | 1  |

З даних можна зробити висновок про те, що кремнійорганічний полімерний герметик добре перешкоджає корозійному руйнуванню металевої підкладки незалежно від типу наповнювача, що використовується в складі покриття.

Таким чином, полімерний кремнійорганічний герметик як з наповнювачами, так і без них, за умови дотримання технології нанесення, може використовуватися як протикорозійне покриття.

## 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОТЕХНІКИ

### 4.1. Дослідження трибологічних властивостей та зносостійкості полімерних покриттів з різними типами наповнювачів

Наведено методику та результати оцінки трибологічних властивостей та зносостійкості полімерних покриттів, що містять різні типи дисперсного наповнювача при сухому та рідинному терті.

Випробування проводилися на машині марки Nanovea Tribometer, призначеної для випробування на тертя та знос металів та сплавів (рис. 4.1, а). Випробування проводилися відповідно до стандарту ASTM D3702-94. Тертя проводилося з використанням кулі зі сталі (рис. 4.2, 1), радіусом 4 мм, яка вільно встановлювалася всередині втулки (2), яка далі кріпилася на різьбленні (3) шпинделя (4). У процесі проведення випробувань шпиндель здійснював обертальні рухи, радіус яких протягом усього часу випробувань був однаковим і становив 8мм. Радіус був обраний з урахуванням розмірів досліджуваного зразка таким чином, щоб у процесі руху не відбувалося торкання шпинделя з оснасткою для закріплення зразка. Загальну характеристику машини для проведення випробувань наведено в табл. 4.1

Зразок для випробувань був плоскою металевою пластиною, на яку наносили досліджуване покриття. Пластина встановлювалася у спеціальний затискач (рис. 4.1, б), де вона механічно фіксувалася до поверхні столу машини для тертя за допомогою притискних елементів.

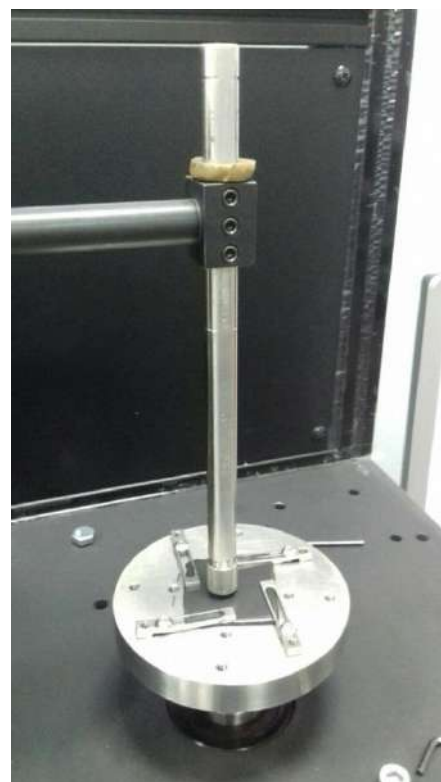
|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 71   |



а)



б)



в)

Рисунок 4.1 – Фото машини Nanovea Tribometer (а), елемент оснастки із закріпленим у ній зразком з досліджуваним типом полімерного покриття (б) та фото оснастки із зразком перед початком випробувань (в)

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 72   |



Рисунок 4.2 – Фото елемента пристосування машини Nanovea Tribometer: 1 – кулька; 2 – втулка; 3 – різьбове з'єднання; 4 – шпиндель

Таблиця 4.1 – Характеристика машини марки Nanovea Tribometer для випробувань на тертя

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Діапазон навантажень, Н             | 10 – 1000 |
| Похибка навантаження, %             | ±1        |
| Похибка моменту тертя, %            | ±2        |
| Швидкість обертання шпинделя, об/хв | 1 - 2000  |
| Мінімальний час випробувань, з      | 10        |
| Максимальний час випробувань, хв    | 9999      |

При налаштуванні шпиндель, з уже закріпленою на ньому втулкою, всередині якої розташовується кулька, встановлювали в центр пластини. Далі на шпиндель зверху встановлювали вантаж, який був плоским диском (рис. 4.1, а) заданої маси. Навантаження при терті регулювалося шляхом зміни маси вантажу.

Перед початком випробувань попередньо проводився підбір режимів

(маса вантажу, швидкість обертання шпинделя, матеріал кульки) таким чином, щоб максимально посилити режими тертя і зробити видимим зношування поверхонь. Результати попередніх випробувань наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Режими попередніх випробувань

| Режими випробувань |                            |                | Результати           |
|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| Маса, Н            | Швидкість обертання, об/хв | Наявність води |                      |
| 10                 | 10                         | ні             | Зношення немає       |
| 20                 | 10                         | ні             | Зношення немає       |
| 10                 | 50                         | так            | Зношення немає       |
| 10                 | 50                         | ні             | Зношення немає       |
| 20                 | 50                         | так            | Зношення немає       |
| 20                 | 50                         | ні             | Спостерігається знос |
| 10                 | 100                        | так            | Зношення немає       |
| 10                 | 100                        | ні             | Спостерігається знос |
| 20                 | 100                        | так            | Зношення немає       |
| 20                 | 100                        | ні             | Спостерігається знос |
| 10                 | 150                        | ні             | Спостерігається знос |
| 10                 | 150                        | так            | Спостерігається знос |

Як зразок, на якому проводилося попереднє відпрацювання режимів випробувань, використовувався склад полімерного покриття, який як наповнювач входив графіт. Тривалість випробувань на режимах, наведених у таблиці 4.2, склала 30 хв. Для забезпечення рідинного тертя під час

проведення випробувань використовували воду. У процесі випробувань вода поступово віддалялася із зони тертя і тому її постійно підливали, щоб уникнути граничного тертя.

Аналіз отриманих результатів показує, що видиме зношування (при сухому терті) полімерного покриття починається при режимах 150 об/хв і масі вантажу 10 Н або при масі вантажу 20 Н при 50 об/хв. Ці режими були використані при наступних випробуваннях.

У табл. 4.3 наведено характеристики шести типів досліджуваних покриттів. Зразки №1-5 виготовляли з використанням різних типів наповнювачів, зразок №6 не містив наповнювача та використовувався лише для порівняння одержаних результатів.

Таблиця 4.3 - Характеристики зразків полімерних покриттів для проведення випробувань на тертя

| № серії зразка | Матеріал підкладки                  | Товщина шару покриття, мм | Склад покриття                                   |                  |                           |
|----------------|-------------------------------------|---------------------------|--|------------------|---------------------------|
|                |                                     |                           | Основа   | Наповнювач       | Зміст наповнителя, % мас. |
| 1              | Нержавіючі сталь<br>10X13H17<br>МЗТ | 0,5                       | Нейтральний силіконовий герметик «Сілагерм 1041» | Тальк            | 10                        |
| 2              |                                     |                           |  | Слюда            | 10                        |
| 3              |                                     |                           |  | Графіт           | 10                        |
| 4              |                                     |                           |  | Волластоніт      | 10                        |
| 5              |                                     |                           |  | Кварцова борошно | 10                        |
| 6              |                                     |                           |  | Без наповнювача  |                           |

Визначення значень коефіцієнтів тертя проводили при навантаженні 10 Н при 150 об/хв. Усі випробування проводили як при сухому, так і рідинному терті (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 - Результати визначення значень коефіцієнта тертя

| № серії зразка<br>(наповнювач) | Значення коефіцієнта тертя |               |
|--------------------------------|----------------------------|---------------|
|                                | Сухе тертя                 | Рідинне тертя |
| 1 (тальк)                      | 0,346                      | 0,112         |
| 2 (слюда)                      | 0,334                      | 0,112         |
| 3 (графіт)                     | 0,332                      | 0,112         |
| 4 (волластон)                  | 0,354                      | 0,116         |
| 5 (кварцове борошно)           | 0,367                      | 0,124         |
| 6 (без наповнювача)            | 0,385                      | 0,133         |

В результаті проведених випробувань встановлено, що нанесення покриттів з різними наповнювачами призводить до зменшення значень коефіцієнта тертя проти аналогічними матеріалами без наповнювача. Наприклад, для покриття з наповнювачем графіт коефіцієнт сухого тертя знизився на 13,8%, для покриття з наповнювачем з кварцового борошна – на 4,3%.

Наявність води на поверхнях тертя призводить до суттєвого зниження зносу. Для всіх досліджених типів покриттів коефіцієнт рідинного тертя в кілька разів нижче, ніж сухого. Найбільші значення коефіцієнтів тертя (при сухому та рідинному терті) для покриття, спостерігаються у зразка, в якому як наповнювач використовується кварцове борошно. Для покриттів із наповнювачами графіт, слюда та тальк коефіцієнт рідинного тертя найменший і дорівнює 0,112.

У процесі проведення випробувань щодо визначення значень коефіцієнта тертя в роботі також оцінювалися характеристики зносостійкості (інтенсивність зносу та зносостійкість).

Інтенсивність зношування визначали шляхом оцінки зміни маси покриття на поверхні тертя. Визначити аналогічні характеристики інтенсивності лінійного та енергетичного зносу за методикою, що

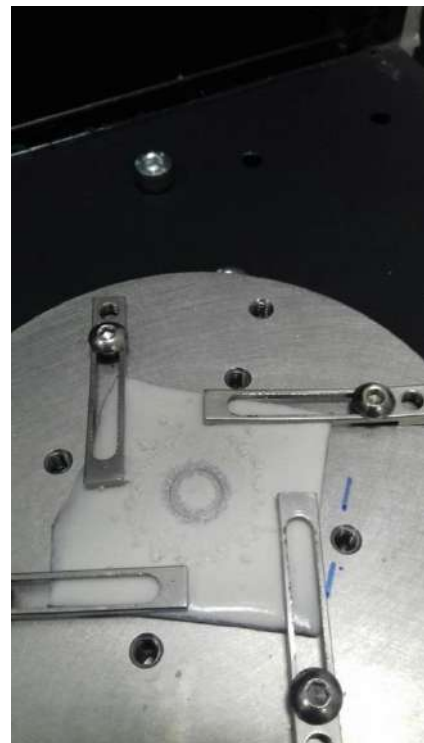
використовується, не вдалося.

Втрати маси фіксувалися тільки при сухому терті, тому що при рідкому терті втрат маси зафіксувати не вдалося. Фото відбитка на зразках після випробувань наведено на рис. 4.3.

Для оцінки зміни маси металеві пластини з покриттями зважували до та після проведення випробувань (табл. 4.5). Для зручності аналізу отриманих результатів у роботі оцінювалися втрати маси, отримані на тих самих режимах, за яких визначено значення коефіцієнтів тертя, наведені в табл. 4.4. Усі випробування на тертя проводили протягом 1-го години, що дозволило щодо зносу не враховувати довжину шляху, т.к. всім досліджених зразків вона була однаковою.



а)



б)

Рисунок 4.3 – Фото зразків після проведення випробувань: а – зразок №1 (наповнювач графіт); б – зразок №5 (наповнювач кварцове борошно)

У результаті проведених досліджень встановлено, що за

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 77   |

характеристикою «зносостійкість» всі досліджені типи покриттів відрізняються між собою в кілька разів. Наприклад, покриття з графітом має у 1,2 рази менші

характеристики зносу, ніж покриття з волластонітом. Для порівняння, за показником коефіцієнт тертя, ці типи покриттів різняться лише на 0,061%.

Таблиця 4.5 – Результати втрати маси після випробувань

| № серії зразка (наповнювач) | Маса пластини з покриттям, гр |                   | Втрати маси, |       |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------|-------|
|                             | До випробувань                | Після випробувань | Δ, гр        | Δ, %  |
| 1 (тальк)                   | 13,20                         | 13,14             | 0,06         | 0,454 |
| 2 (слюда)                   | 13,44                         | 13,37             | 0,07         | 0,52  |
| 3 (графіт)                  | 13,56                         | 13,52             | 0,04         | 0,294 |
| 4 (волластон)               | 13,36                         | 13,27             | 0,09         | 0,673 |
| 5 (кварцове борошно)        | 13,62                         | 13,48             | 0,14         | 1,027 |
| 6 (без наповнювача)         | 13,20                         | 13,08             | 0,12         | 0,909 |

За характеристикою зносостійкості досліджувані типи покриттів розташовуються в наступний ряд (у порядку зменшення зносостійкості): графіт – тальк – слюда – волластон – без наповнювача – кварцове борошно.

Таким чином, саме характеристика зносостійкості (а не коефіцієнт тертя) використовуватиметься в роботі як один з найважливіших критеріїв якості покриттів при подальшій оптимізації їх складів.

На основі комплексу проведених досліджень встановлено, що найкращі результати за трибологічними властивостями та зносостійкістю одержані при використанні покриття, до складу якого як наповнювач

входить графіт, слюда та тальк.

#### **4.2.Розробка технологічного процесу створення полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки**

Пропоноване у цій роботі полімерне покриття являє собою спеціальну композицію на основі кремнійорганічного однокомпонентного герметика та дисперсного наповнювача. Спочатку кремнійорганічний герметик знаходиться в рідкому стані, а при змішуванні з наповнювачем та нанесенні на поверхню переходить у твердий стан.

Основні етапи технологічного процесу створення дисперсно-наповненого полімерного покриття для робочого обладнання автотехніки представлені на Рисунку 4.4

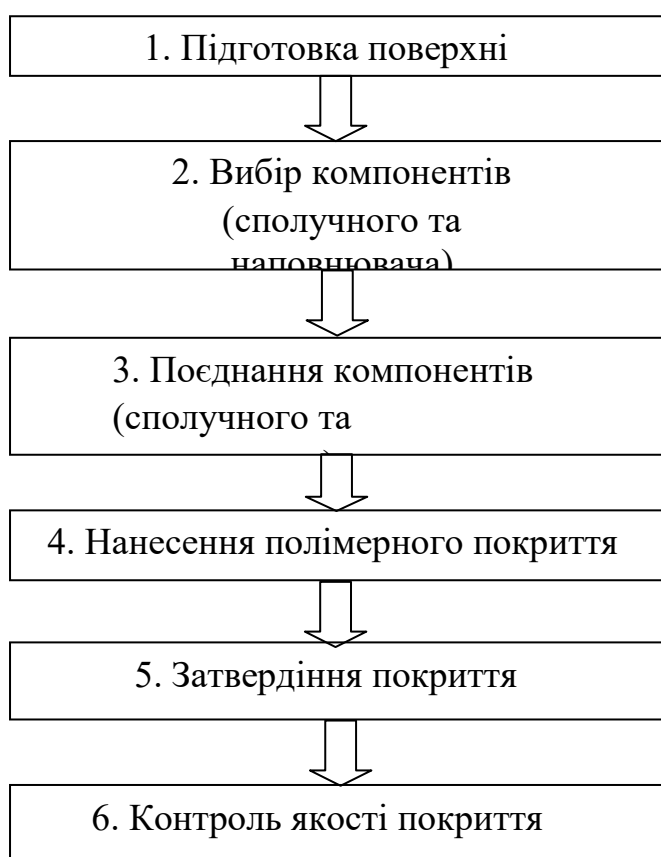


Рисунок 4.4 – Етапи технологічного процесу створення дисперсно-наповненого полімерного покриття для робочого обладнання автотехніки

1. Перед нанесенням полімерного покриття потрібно провести підготовку поверхні, яка включає механічну обробку, очищення потоком води, просушування і знежирення. У разі присутності на поверхні забруднень суттєво знижується адгезія полімерного покриття із підкладкою. Механічна обробка проводиться по всій площі поверхні, яку потрібно наносити покриття. Очищення поверхні від слідів корозії та залишків старого покриття здійснюється до металевого блиску. Очищення поверхні водою необхідне для змивання продуктів механічної обробки та пилу. Змивання проводиться проточною водою кімнатної температури. Просушування вимитої поверхні здійснюється на повітрі. Після очищення та промивання поверхня знежирюється (з використанням розчинника) та просушується на повітрі.

2. Як сполучне для створення полімерних покриттів на внутрішніх поверхнях робочого обладнання ДМ, як правило, використовуються кремнійорганічні матеріали. Найважливішим етапом є вибір наповнювача. Саме від типу та концентрації використовуваного наповнювача залежать основні експлуатаційні властивості одержаних покриттів. Для вибору наповнювача пропонується використовувати алгоритм, наведений на Рисунку 4.5, який дозволяє враховувати основні експлуатаційні властивості (стійкість до впливу кліматичних факторів, антиадгезійні властивості до ґрунтів, вартість та ін.).

При виборі наповнювача особливо важливо враховувати не лише технологічні вимоги, а й експлуатаційні. Дані покриття повинні мати хорошу адгезію до матеріалу робочого обладнання, мати стабільні антиадгезійні властивості до оброблюваних робочих середовищ (різні види ґрунтів) і мати хорошу стійкість до впливу кліматичних факторів [75, 85, 95].

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 80   |



Економічні вимоги, як наприклад, вартість (Ц), для полімерного покриття відноситься до другорядних, так як вартість герметика і наповнювачів може змінюватись в дуже широкому діапазоні. На основі комплексу проведених досліджень [3, 6, 20], як наповнювачі, здатні забезпечити покриттям заданий комплекс експлуатаційних властивостей, були обрані такі матеріали: тальк, слюда, графіт, волластоніт і кварцове борошно. Як основу (сполучного) полімерного покриття використовувався нейтральний силіконовий герметик марки «Сілагерм 1041» (аналогічні матеріали традиційно застосовуються для обробки робочого обладнання ДМ).

3. При приготуванні складу спочатку здійснюється перемішування герметика, яке проводиться в загальній тарі перед змішуванням з наповнювачем. Залежно від типу герметика загальна маса може випадати в осад, який потрібно перемішати повільними круговими рухами. По суті, перемішування герметика – важливий етап створення полімерного покриття, оскільки при поганому перемішуванні в масі можуть залишитися грудки осаду, повітряні бульбашки та продукти спінювання, що надалі може призвести до неякісного нанесення герметика на поверхню, поганого затвердіння на повітрі. та відшаровування від підкладки. Повільними круговими рухами за допомогою пластикової лопатки герметик вимішується до однорідного стану. Потрібно проводити повільне перемішування в одному напрямку, щоб уникнути утворення бульбашок повітря і спінювання герметика. Також для перемішування можуть бути використані механічні або ультразвукові мішалки.

З'єднання герметика та наповнювача проводиться у скляній тарі, щоб уникнути додаткової реакції складу на матеріал тари. Насамперед у тару вливається необхідну кількість герметика, а потім дрібними порціями вводиться наповнювач (відповідно до обраної концентрацією). Після завантаження кожної порції, герметик потрібно ретельно перемішувати,

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 82   |

уникаючи різких рухів або зміни їхнього напрямку. Потрібно змішувати компоненти до

забезпечення рівномірного розподілу частинок наповнювача у сполучному, уникаючи комкоутворення.

4. Нанесення полімерного покриття може здійснюватись механізованим (напиленням) або ручним способом. При ручному способі на підготовлену поверхню наливають необхідну порцію герметика та протягують шпателем по всій площі. Залежно від товщини необхідного шару герметика, варіюється його кількість, спочатку нанесена на поверхню. Товщина покриття залежить від типу поверхні, необхідних властивостей до покриття, умов експлуатації та кліматичних умов. Тому кожен вид покриття технологію потрібно розраховувати з огляду на вищевказані вимоги.

5. Затвердіння покриття на основі кремнійорганічного сполучного відбувається на повітрі при кімнатній температурі. Потрібно уникати протягів при просушуванні поверхні, щоб не допустити утворення хвилястостей і нерівностей затверденого покриття. Середній час повного затвердіння, що розглядається в даній роботі полімерного покриття, становить 24 години. Цей показник може сильно змінюватись в залежності від типу використовуваного сполучного та товщини нанесеного шару. У деяких випадках після затвердіння покриття потрібно протерти поверхню розчинником за допомогою м'якої ганчірки, щоб позбутися липкого шару, що утворився на поверхні затверденого герметика.

6. Заключним етапом технологічного процесу контроль якості. Контроль якості покриття здійснюється візуальним оглядом на наявність нерівностей, відколів, відшарувань або порожнин на поверхні покриття.

Представлений технологічний процес створення та нанесення полімерного покриття з подальшим проявом необхідних властивостей показує, що застосування дисперсно-наповнених полімерних матеріалів більш технологічне та впровадження даних матеріалів на виробничі та

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 83   |

ремонтні підприємства дозволить збільшити термін служби робочого обладнання автотехніки, забезпечивши необхідні властивості та довговічність захисних покриттів.

#### **4.3.Методи контролю якості полімерних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки**

Необхідна якість полімерних покриттів внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки забезпечується точним дотриманням технологічного процесу та використанням відповідних матеріалів. Контроль якості є невід'ємною частиною технологічного процесу, який включає контроль матеріалів, міжопераційний контроль і контроль готового покриття.

У разі порушення технології створення або нанесення полімерного покриття або при неякісному підборі компонентів у покритті можуть виникнути різні дефекти: порушення адгезії з підкладкою, пори, тріщини або неоднорідні включення по площі покриття.

Якість полімерного покриття насамперед залежить від якості складових компонентів (сполучного, наповнювача) та якості підготовки поверхні, на яку потрібно нанести покриття. Технологічні та фізико-механічні властивості сполучного, з якого виготовляється покриття, згодом змінюються, так само, як і властивості наповнювачів, які вводяться у сполучне з метою покращення та надання ряду спеціальних властивостей. Змінені властивості сполучного та наповнювачів можуть вплинути на довговічність та міцність полімерного покриття.

Контроль якості кремнійорганічних полімерних герметиків здійснюється за ГОСТ 9.410-88 [29].

При підборі сполучного та наповнювачів для полімерного покриття внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки необхідно

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 84   |

контролювати показники призначення, до яких, згідно з ГОСТ 9.410-88, належать експлуатаційні показники та показники адгезії покриття з підкладкою. Перелічені показники дозволяють зробити висновок про якість полімерного покриття та його використання за певних умов [29].

Під час створення та нанесення полімерного покриття потрібно контролювати якість на всіх етапах технологічного процесу. Розглянемо основні етапи міжопераційного контролю при створенні полімерного покриття на внутрішніх поверхнях робочого обладнання автотехніки:

1. Підготовка поверхні перед нанесенням полімерного покриття полягає в очищенні поверхні від різних забруднень, фарби, пилу та слідів корозії. Контроль якості цього етапу здійснюється візуально, шляхом огляду поверхні на наявність забруднень.

2. Вибір компонентів (сполучного та наповнювача) – слід звертати увагу на якість використовуваної сировини, умови її зберігання та часові рамки терміну придатності.

3. Поєднання компонентів (сполучного та наповнювача) проводиться у необхідних пропорціях з дотриманням технології змішування. На цьому етапі контролюється точність дозування компонентів та якість перемішування.

4. При нанесенні полімерного покриття контролюється товщина покриття та рівномірність нанесення. Оптимальна товщина покриття внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки становить 1-2 мм. Потрібно простягати герметик по всій поверхні підкладки, дотримуючись рівномірності шару.

5. Під час затвердіння покриття контролюється температура та час затвердіння.

6. Заключний контроль якості відповідно до ГОСТ 9.410-88 проводиться за допомогою візуального огляду поверхні затверденого покриття.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 85   |

При виявленні невідповідностей у процесі контролю на всіх етапах технологічного процесу є можливість корекції та запобігання подальшим фінансовим та трудовим витратам на усунення дефекту. У таблиці 4.6 наведено основні етапи технологічного процесу створення та нанесення полімерного покриття.

Таблиця 4.6 - Зведена таблиця етапів створення полімерного покриття, основних контрольованих параметрів та можливих дефектів

| Основні етапи технологічного процесу              | Контрольовані параметри  | Можливі дефекти   |
|---|--|---|
| Підготовка поверхні                               | Чистота поверхні, відсутність бруду, слідів олії, технічних рідин і легко відшаровують. вих частинок   | Зниження адгезії покриття з підкладкою, відшаровування покриття   |
| Вибір компонентів (сполучного та наповнювача)     | Якість сировини, відповідність сполучного та наповнювача заданим вимогам (дисперсність, вологість та ін.)  | Нерівномірний розподіл наповнювача у зв'язуючому, спінювання складу, комкоутворення   |
|   | Сумісність заповнювача та сполучного   | Пористість і спінювання покриття  |
| Поєднання компонентів (сполучного наповнювача) та | Точність дозування компонентів   | Зниження експлуатаційних властивостей покриття  |
|   | Якість перемішування сполучного та наповнювача, рівномірність розподілу наповнювача у сполучному, відсутність спінювання, осаду та грудкоутворення | Нерівномірний шар покриття, що призводить до зниження адгезії та утрудненого видалення з покриття оброблюваних ґрунтів (налипання ґрунту) |
| Нанесення покриття                                | Технологічні режими нанесення покриття (товщина, рівномірність)  | Утворення розриву покриття, погана адгезія з підкладкою, пористість,  |
| Затвердіння покриття                              | Час та умови (вологість, температура та ін.) затвердіння   | Неповне відкидання покриття, що призводить до його пошкодження та налипання на нього сторонніх тел  |
| Контроль якості покриття                          | Однорідність і твердість покриття, відсутність усадки та зовнішніх дефектів  | Відшарування покриття від підкладки; передчасні дефекти і спроможні шивання покриття  |

Крім візуального контролю, для оцінки якості дисперсно-наповнених полімерних покриттів робочого обладнання ДМ можуть бути використані методи аналізу мікроструктури та інфрачервоної термографії.

Для проведення експериментальних досліджень щодо визначення найефективнішого методу розпізнавання технологічних дефектів були підготовлені чотири серії зразків, що являють собою металеві пластини розміром 40x100 мм, з нанесеним на поверхню полімерним матеріалом («Сілагерм 1041») з графітовим наповнювачем 10%.

На кожній серії зразків штучно створено технологічні дефекти у вигляді комкоутворення наповнювача, спінювання або нерівномірного шару покриття. Дані дефекти найбільше часто виникають при створенні дисперсно-наповнених полімерних покриттів при обробці робочого обладнання автотехніки в умовах ремонтних ділянок [61].

На основі проведеного літературного огляду [47, 78] було обрано три групи методів неруйнівного контролю якості полімерного покриття:

- візуальний огляд;
- із використанням електронного мікроскопа;
- з використанням тепловізора.

При візуальному огляді зразків добре проглядається комкоутворення наповнювача та порушення рівномірності шару покриття. Спінювання покриття під час візуального огляду виявити практично не вдалося. Слід зазначити, що візуальний огляд дозволяє зафіксувати лише дефекти макрорівня. Далі ділянки зразків, де візуально не проглядаються технологічні дефекти (але відомо, що внаслідок порушення технології вони можуть бути там) були досліджені з використанням електронного мікроскопа (рис. 4.6).

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 87   |



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.6 – Структура полімерного покриття без дефектів (а) та з технологічними дефектами у вигляді комкоутворення (б), спінювання (в) та нерівномірності нанесення (г)

Встановлено, що зразок, виготовлений із дотриманням усіх технологічних режимів, має рівномірну структуру (рис. 4.6, а). На зразках, поданих на рис. 4.6 (б-г) чітко простежуються технологічні дефекти: грудки наповнювача, бульбашки повітря та нерівномірність покриття.

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз методів досягнення антиадгезійних властивостей полімерних композиційних матеріалів виявив, що на стан та довговічність захисних покриттів безпосередньо впливають умови експлуатації та кліматичні фактори.

2. З існуючих методів підвищення довговічності внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки найбільш ефективними, дешевими і найменш трудомісткими є полімерні покриття.

3. Обробка внутрішніх поверхонь робочого обладнання автотехніки полімерними композиційними матеріалами з різними наповнювачами дозволяє забезпечити зниження руйнування поверхні металу від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища

4. Встановлено, що при позитивних температурах найкращі антиадгезійні властивості до оброблюваних ґрунтів (найменший ступінь налипання ґрунту) мають покриття з концентрацією графіту 5% та 15%; тальку та слюди – 15%.

5. Проведений комплекс експериментальних досліджень з оцінки трибологічних властивостей та зносостійкості полімерних покриттів, що містять різні типи дисперсного наповнювача при сухому та рідинному терті.

6. Розроблено технологічний процес нанесення полімерного покриття на внутрішні поверхні робочого обладнання автотехніки. Встановлено, що дисперсно-наповнені полімерні покриття більш технологічні та впровадження даного методу на ремонтні підприємства дозволить збільшити безпеку експлуатації робочого обладнання автотехніки, а також знизити економічні витрати.

7. Розроблено рекомендації щодо міжопераційного контролю якості технологічного процесу створення полімерних покриттів на внутрішніх поверхнях робочого обладнання автотехніки.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 89   |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Адамов, А.А. Аналіз вітчизняної та зарубіжної нормативної бази з механічних випробувань полімерних композиційних матеріалів / О.О. Адамов, М.Ю. Лаптев, Є.Г. Горшкова // Конструкції з композиційних матеріалів. - 2012. - №3. - С. 72-77.
2. Ананьєва, Є.С. Експериментальне дослідження залежності фізико-механічних характеристик модифікованих епоксидних композицій від ступеня їх наповнення вуглецевими ультрадисперсними частинками / О.С. Ананьєва, Є.А. Новіковський // Повзунівський вісник. □ 2016. –№3. – С. 177-181.
3. Антюфєєва, Н.В. Дослідження та оцінка властивостей полімерних композиційних матеріалів за методиками, гармонізованими з міжнародними стандартами / Н.В. Антюфєєва, Ю.В. Столянков, І.В. Ісходжанова // Конструкції з композиційних матеріалів. - 2013. - №3. - С. 41-45.
4. Бабіна, А.М. Сполучні для полімерних композиційних матеріалів нового покоління / О.М. Бабін // Праці ВІАМ. - 2013. - №4. - С. 11.
5. Байдер, Е.Я. Композиційні термопластичні матеріали - властивості та способи переробки / Е.Я. Байдер, С.В. Малишенюк, Г.М. Петрова // Пластичні маси. - 2013. - №7. - 56-60 с.
6. Байдер, Е.Я. Композиційні термопластичні матеріали та пінополіімідиди / Е.Я. Байдер, Г.М. Петрова, Т.Ф. Ізотова, Є.В. Гурєєва // Праці ВІАМ: електрон. наук. техніч. журн. - 2013. - №11. - 3 1.
7. Баловнєв, В.І. Тривалість робочого процесу важливий показ- тель ефективності технологічної машини/ В.І. Баловнєв, Р.Г. Данилов //Механізація будівництва. -2016. – Т. 77. –№3. - С. 34-38.
8. Бородулін, А.С. Оптимізація реологічних властивостей сполучних, що використовуються при формуванні виробів зі склопластиків методом вакуумної інфузії / О.С. Бородулін, Г.В. Малишева, І.К. Романова / / Клеї.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 90   |

герметики. Технології. – 2015. – № 3. – С. 40–44.

9. Вайнштейн, Е.Ф. Властивості частинок різних розмірів/Е.Ф. Вайнштейн, І.І. Криволуцька // Конструкції із композиційних матеріалів. -2011. - №2. - С. 43-48.

10. Горбаткіна, Ю.А. Адгезійні властивості композицій на основі епоксидної смоли, модифікованої полієфірїмідом або полісульфоном / Ю.А. Горбаткіна, І.Ю. Горбунова, В.Г. Іванова-Мумжієва та ін. // Механіка композиційних матеріалів та конструкцій. 2014. – Т. 20. – №2. – С. 207-218.

11. Горбаткіна, Ю.А. Адгезія дисперсно-наповнених епоксидів до твердих тіл / Ю.А. Горбаткіна, В.Г. Іванова-Мумжієва // Механіка композитних матеріалів. - 2012. - Т.48. - №2. - С.235-248.

12. Гордієнко, В.П. Зносостійкість антифрикційних композицій лінійного поліетилену при прискорених та натуральних кліматичних випробуваннях / Гордієнко В.П., Сальников В.Г. //Пластичні маси. - 2012. - №12. - С. 16-19.

13. Гузева, Т.А. Методи оцінки експлуатаційних властивостей полімерних композиційних матеріалів/Т.А. Гузева // Усі матеріали. Енциклопедичний довідник. – 2014. – №3. - С. 17-19.

14. Гусєва, Є.А. Порошкові полімерні покриття як альтернативний спосіб захисту металів від корозії / О.О. Гусєва, М.К. Константинова // Вісник ІрДТУ. - 2015. - №10 (105). - С. 71-76.

15. Демоніс, І.М. Матеріали ВІАМ у космічній техніці / І.М. Демоніс, А.П. Петрова // Усі матеріали. Енциклопедичний довідник. 2011. - № 6. - С. 2-9.

16. Доценко, О.І.Будівельні машини: навч. посіб. / А.І. Доценко, В.Г. Дронов. - М.: ІНФРА-М, 2012. Електронно-бібліотечна система ZNANIUM.COM.

17. Дрінберг, А.С. Фотохімічні реакції на поверхні полімерів та покриттів / А.С. Дрінберг, А.В. Павлович // Лакофарбові матеріали та їх

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 91   |

примирення. – 2017. – №5. - С.40-45

18. Дірда, Н.П. Експериментальні дослідження налипання та намерзання ґрунту на робочий орган роторного екскаватора / Н.П. Дірда, Н.Д. Каслін. – Вісник Харківського Національного Автомобільно-дорожнього університету, – 2005. – №29. - С.155-157.

19. Жук, Н.П. Курс теорії корозії та захисту металів: навчальний посібник / Н.П. Жук. □ М.: Альянс, 2014. – 472 с.

20. Заболотнов, А.С. Зносостійкість композиційних матеріалів на основі надвисокомолекулярного поліетилену з наповнювачами різного типу / Заболотнов А.С., Бревнов П.М., Акульшин В.В., Новокшорова Л.А., Доронін Ф.А., Євдокимов А.Г. ., Назаров В.Г. // Усі матеріали. Енциклопедичний довідник.

– 2017. – №12. - С.13-19.

21. Зорін, В.А. Вплив антижелезних реагентів на захисні властивості антикорозійних герметиків / В.А. Зорін, В.В. Карташова //Вантажівка. – 2017. –

№4. - С. 18-21.

22. Зорін, В.А. Вплив фреттинг-корозії на довговічність ресора автомобілів / В.А. Зорін, В.В. Карташова //Вантажівка. – 2017. –2. - С. 32-34.

23. Зорін, В.А.Дефектація деталей з дисперсно-наповнених полімерних матеріалів методом інфрачервоної термографії/ В.А. Зорін, Н.І. Баурова, Є.А. Косенко //Усі матеріали. Енциклопедичний довідник. – 2017. –№2. - С. 22-25.

24. Зорін, В.А. Критерії оптимізації складу комплекту машин для будівництва та ремонту асфальтобетонних покриттів / В.О. Зорін, Є.А. Косенко //Наука та техніка у дорожній галузі. – 2017. –№3(81). - С. 37-39.

25. Зорін, В.А. Основи працездатності технічних систем/В.А. Зорін. - М: ІЦ «Академія»,- 2015. - 204 с.

26. Ільдарханова, Ф.І. Вибір лакофарбових покриттів для

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 92   |

довготривалого протикорозійного захисту металоконструкцій нафтогазової галузі / Ф.І. Ільдарханова, К.Г. Богословський // Корозія території Нафтогазу. - 2013. - N2 (25). – С. 22–27.

27. Каблов, Є.М. Стратегічні напрями матеріалів та технологій їх переробки на період до 2030 року / О.М. Каблів // Авіаційні матеріали та технології. - 2012. - №5. – С. 7–17.

28. Калістратова, Л.Ф. Упорядкування та щільність аморфної фази полімерної матриці композиційних матеріалів ПТФЕ з дисперсним наповнювачем / Л.Ф. Калістратова // Бюлетень науки та практики. – 2018. – Т. 4. – №6. - С. 10-22.

29. Карташова, В.В. Вивчення антиадгезійних властивостей покриттів внутрішніх поверхонь робочих органів автотехніки до впливу робочих середовищ / В.В. Карташова, Н.І. Баурова // Вантажівка. – 2019. – №9. - С. 6-8.

30. Карташова, В.В. Вивчення антиадгезійних властивостей покриттів, що використовуються для внутрішніх поверхонь робочих органів автотехніки / В.В. Карташова, Н.І. Баурова // Вантажівка. – 2019. – №4. - С. 27-28.

31. Карташова, В.В. Вивчення стійкості полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки до впливу кліматичних факторів / В.В. Карташова, Н.І. Баурова // Усі матеріали. Енциклопедичний довідник. - 2019. - №11. - С. 16-22.

32. Карташова, В.В. Вивчення експлуатаційних властивостей покриттів, що використовуються для обробки внутрішніх поверхонь робочих органів дорожніх машин/ В.В. Карташова, Н.І. Баурова // Усі матеріали. Енциклопедичний довідник. – 2019. – №5. - С. 23-28.

33. Карташова, В.В. Дослідження трибологічних властивостей полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки / В.В. Карташова // Ремонт. Відновлення. Модернізація. - 2020. - №4. 3. 25-28.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 93   |

34. Карташова, В.В. Контроль якості полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки / В.В. Карташова, Є.А. Косенко// Ремонт. Відновлення. Модернізація. - 2020. - №3. З. 16-19.

35. Карташова, В.В. Методи забезпечення антиадгезійних властивостей внутрішніх поверхонь робочих органів автотехніки / В.В. Карташова, Н.І. Баурова // Ремонт. Відновлення. Модернізація. – 2018. – №9. З. 17-19.

36. Карташова, В.В. Створення антиадгезійних полімерних покриттів для робочого обладнання автотехніки / В.В. Карташова, Н.І. Баурова // Техніка та технологія транспорту. – 2019. –№2(12). - С. 4.

37. Кириєнко, Т.А. Дослідження реологічних властивостей клейових сполучних / Т.А. Кириєнко, Н.Ф. Лукіна, К.Є. Куцевич // Клеї. герметики. Технології. – 2016. – №2. – С. 6–8.

38. Коломейченко, О.В. Дослідження технологічних можливостей карбовібродугового методу зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин / О.В. Коломейченка // Техніка та обладнання для села. – 2015. –№2. – С.24-26.

39. Комаров, Г.А. Стан, перспективи та проблеми застосування ПКМ у техніці / Г.А. Комарів// Полімерні матеріали. [Електронний ресурс], – режим доступу:<https://polymerbranch.com/>(Дата звернення 04.07.2018).

40. Коноплін, А.Ю. Методика обробки результатів експериментальних досліджень під час вирішення завдань оптимізації / О.Ю. Коноплін // Ремонт, відновлення, модернізація. – 2016. – № 8. – С. 37–39.

41. Косенко, Є.А. Методи неруйнівного контролю виробів машинобудування, виготовлених із полімерних композиційних матеріалів (огляд) / О.О. Косенко// Ремонт. Відновлення. Модернізація. - 2020. - №1. -С. 12-17.

42. Косенко, Є.О.Застосування інфрачервоної термографії при

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 94   |

розпізнаванні ванні підплівкової корозії/ Є.А. Косенко, В.А. Зорін, Н.І. Баурова //Коро-зія: матеріали, захист. – 2019. –№1. - С. 43-48.

43. Кравченко, І.М. Дослідження впливу рівня надійності на технічну готовність машин / І.М. Кравченко, О.О. Івойлов, Ф.Ю. Керімов, О.В. Закарчевський, М.С. Овчиннікова //Ремонт. Відновлення. Модернізація. - 2017. -№4. - С. 36-42.

44. Кузнецов, Ю.І. Прогрес у науці про інгібітори корозії / Ю.І. Ковалів // Корозія: метали, захист. - 2015. - N3. – С. 12–23.

45. Лапіна, Н.В.Оцінка експлуатаційних властивостей термопластичних полімерних матеріалів, що використовуються при ремонті дорожньо-будівельних машин / Н.В. Лапіна, Н.І. Баурова //Технологія металів. – 2018. –№4. - С. 39-43.

46. Лапіна Н.В., Баурова Н.І. Визначення адгезійної міцності термопластичних полімерних матеріалів, що використовуються для ремонту дорожньо-будівельних машин //Механізація будівництва. – 2017. – Т. 78. – №8. - С. 50-54.

47. Лапіна, Н.В. Удосконалення технології ремонту дорожньо-будівельних машин шляхом використання клеїв-розплавів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Н.В. Лапіна. - М.: МАДИ, 2018. - 161 с.

48. Махутов, Н.А. Конструкційна міцність, ресурс та технологічна безпека: о 2 год. / Н.А. Махутів; за ред. К.В. Фролова, В.В. Москвичева. - Новосибірськ: Наука, 2005. - 493 с.

49. Михайлин, Ю.А. Конструкційні полімерні композиційні матеріали / Ю.А. Михайлин. - СПб.: Наукові основи та технології, - 2009. - 658 с.

50. Михальченко, А.М.Вплив дисперсності піску на абразивну зно-стійкість композиту з епоксидною основою/ А.М. Михальченко, В.Ф. Комогірців, Ю.І. Пугач // Всі матеріали. Енциклопедичний довідник. – 2017. – №2. - С. 33-36.

51. Нелюб, В.А. Оптимізація технологічних режимів затвердіння

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 95   |

композитів, виготовлених на основі вуглецевої стрічки із мідним покриттям / В.А. Нелюб, Янянь Чень, Г.В. Малишева // Вісник технологічного університету. □ 2018. – Т.21. - №12. - С.84-87.

52. Основні технічні характеристики растрового електронного мікроскопа Phenom. [Електронний ресурс], – режим доступу:<https://www.labprom.info/>(Дата звернення 14.11.2019).

53. Песто, А.В. Отримання нового матеріалу на основі епоксидних олігомерів для формування захисного антикорозійного покриття / О.В. Пестов, В.А. Осипова, О.В. Корякова, Т.І. Горбунова та ін.// Журнал прикладної хімії. - 2020. - Т.93. - Вип.3. - С. 385-390.

54. Петрова, А.П. Клеї, клейові сполучні та клейові препреги / О.П. Петрова, Г.В. Малишева; за ред. О.М. Каблова. - М.: ВІАМ, - 2017. - 472 с.

55. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. [Електронний ресурс], – режим доступу: <https://www.mehanika-ua.ru/sbornik-statej/> (Дата звернення 12.01.2020).

56. Рудський, А.І. Технологічна спадковість при виробництві та експлуатації конструкційних матеріалів/ А.І. Рудський, Н.І. Баурова //Технологія металів. – 2019. –№2. - С. 2-10.

57. Рібаков, В.В. Функціональні градієнтні матеріали на основі обмежено сумісних епоксидних олігомерів: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06/В.В. Рибалок. – К.: КНІТУ, – 2012. – 22 с.

58. Сполучні для композиційних матеріалів. [Електронний ресурс], – режим доступу:<http://www.detalmach.ru/>(Дата звернення 06.05.2019).

59. Семенова, Л.В. Лакофарбні покриття для захисту композиційних полімерних матеріалів / Л.В. Семенова, А.А. Козлова // Праці ВІАМ – 2013. №4. - С. 8.

60. Синельников, А.Ф. Основи технології виробництва та ремонт автомобілів / А.Ф. Синельников. - М.: Видавничий центр «Академія», 2011. - 320 с.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 96   |

61. Сітнікова, В.Є. Спектроскопічне вивчення структури полімерних дисперсних систем: дис. ...канд.техн.наук: 02.00.04 / В.Є. Ситнікова. - Т.: ТДУ, 2015. - 139 с.

62. Скрябін, В.А. Технологічні методи застосування полімерних матеріалів під час проведення ремонтних робіт / В.А. Скрябін, А.Г. Схїртладзе // Ремонт. Відновлення. Модернізація. □ 2017. – №7. - С.14-19.

63. Способи змішування полімерів із дисперсними наповнювачами. [Електронний ресурс], – режим доступу:<https://life-prog.ru/> (дата звернення 13.05.2018).

64. Схема ЕНГЛУ-400. [Електронний ресурс], – режим доступу: <http://www.artr.ru/>(дата звернення 25.05.2018).

65. Теплинський, Ю.А. Шляхи розвитку функціональних можливостей внутрішньотрубної дефектоскопії/Ю.А. Теплинський, А.Я. Яковлев, С.Г. Оленников, І.А. Меркур'єва / / Газова промисловість. - 2009. - №1. - С. 64-66.

66. Технологія машинобудування, виробництво та ремонт підйомно-транспортних, будівельних та автотехніки / за ред. В.А. Зоріна. - М.: Академія, 2010. - 568 с.

67. Чень, Янян. Алгоритм оптимізації технологічних режимів формування композитів на основі епоксидної матриці / Янян Чень, М.О. Городецький, В.А. Нелюб та ін// Технологія металів. □ 2019. – №2. - С.18-22.

68. Chrusciel JJ Modification epoxy resins with functional silanes, polysiloxanes, silsesquioxanes, silica and silicates / JJ Chrusciel, E. Lesniak // Prog. Polym. SCI. - 2015. - Vol. 41. - P. 67-121.

69. Ciardiello, R. Iron-based reversible adhesives: Effect of particles size on механічні властивості/R.Ciardiello, B. Martorana, VG Lambertini, V. Brunella//Процеси Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. – 2018. – №232(8). - Pp. 1446–1455.

70. Coronado, JJ Effect of Abrasive size on wear / JJ Coronado // Abrasion

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 97   |

Resistance of Materials. - 2012. - №9. - P. 167-184.

71. Derkach, OD Investigation of influence of fullerene-containing oil on tribotechnical characteristics of metal conjunction. / Derkach OD, Kabat. OS, Bezus RM, Kovalenko VL, Kotok VA // Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2018. - Vol.13. - №4. - P. 780-787.

72. Kartashova, VV Study of the characteristics of coating used for treating inner surfaces of road-machine working tools / VV Kartashova, NI Baurova // Polymer Science, Series D. – 2019. – Vol. 12. - №4. - С. 435-439.

73. Kartashova, VV Studium резистентності полімерних coatings для працюючих техніку транспортних засобів до ефекту кліматичних факторів / VV Kartashova, NI Baurova // Polymer Science, Series D. – 2020. – Vol. 13. - №2. - С. 214-218.

74. Koh-hei, Nitta. Creep behavior of high density polyethylene under a constant true stress. / Koh-hei Nitta, Hirohino Maeda. // Polymer Testing. - 2010. - №29. P. 60-65.

75. Howard, J. Giving glue its best shot / Howard John // Adhesives Technology. - 2002. - March. - pp. 16-18.

76. Sinh, LH Improvements in thermal, mechanical, and dielectric properties of epoxy resin by chemical modification with novel amino-terminated liquidcrystalline copoly(ester amide) / LH Sinh, BT Son, N. Nguyen, D.-G. Lim, S. Shin, J.-Y. Bae// React. Funct. Polym. - 2012. - Vol. 72. - №8. - P. 542-548.

77. Sprenger, S. Epoxy resins modified with elastomers and surface-modified silica nanoparticles / S. Sprenger // Polymer. - 2013. - V. 54. - №18. - P. 4790-4797.

78. Vecchio, KS Synthetic Multifunctional metallic-intermetallic laminate composites / KS Vecchio // JOM. - 2005. - №3. - pp. 25-31.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | МРТАМ 21.16112.000. ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        | 98   |