

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»

на тему: «Інноваційні технології відновлення деталей машин з використанням термостійких клейових матеріалів для підвищення ефективності технічного сервісу»

КРМ.133ГМмд(ОНП)_22.03.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за міждисциплінарною
освітньо-науковою програмою
*«Сервісна інженерія в
агропромисловому виробництві»*
за спеціальностями 133 Галузеве
машинобудування, 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМ_мд_22[2](ОНП)
ВАСИЛЕВИЧ Вадім

Керівник: к.т.н., доцент
ДУДНИК Володимир

Рецензент: к.т.н., доцент
ГОНЧАРЕНКО Олександр

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Міждисциплінарна освітньо-наукова програма
«Сервісна інженерія в агропромисловому виробництві»
Спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія»
Ступінь вищої освіти *магістр*

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри механічної
та електричної інженерії,**

канд. техн. наук, доцент,

Станіслав ПОПОВ

30 червня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ВАСИЛЕВИЧ Вадім

1. Тема роботи: *«Інноваційні технології відновлення деталей машин з використанням термостійких клейових матеріалів для підвищення ефективності технічного сервісу»*,
керівник роботи *канд. техн. наук, доцент ДУДНИК Володимир*,
затверджено засіданням кафедри, протокол №18 від 30.06.2025 р.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – 20 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: *аналіз літературних джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана Котляревського; аналіз літературних джерел Національної бібліотеки України імені Володимира Вернадського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за тематичним спрямуванням.*

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

Розділ 1. *Аналіз існуючих досліджень.*

Розділ 2. *Теоретичні положення.*

Розділ 3. *Методика досліджень.*

Розділ 4. *Результати експериментів.*

Розділ 5. *Практична реалізація розробок.*

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *1. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи. 2. Основні завдання дослідження. 3. Оптимізація концентрації компонентів клейового суміші на основі рідкого калієвого скла. 4. Дослідження концентрації порошків металів на руйнівні дотичні напруження клейової суміші. 5. Результати досліджень та аналіз впливу підготовки поверхні на руйнівні дотичні напруження клейових сумішей. 6. Результати досліджень та аналіз стійкості клейових сполук до старіння. 7. Оцінка економічної ефективності впровадження проектних рішень. 8. Висновки.*

6. Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

| Розділ | Власне ім'я, прізвище та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-------------------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання отримав |
| Практична реалізація розробок | Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії | | |
| | Петро МАКАРЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління | | |
| | Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля | | |

7. Дата видачі завдання 30 червня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з.п. | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--------|--|----------------------------------|----------|
| 1 | Вибір і затвердження теми роботи | До 30.06.25 | |
| 2 | Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу | 21.07-27.07.25 15.12-28.12.25 | |
| 3 | Опрацювання літературних джерел | | |
| 4 | Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи | 20.04-26.04.26 | |
| 5 | Виконання розділів роботи | 27.04.26-10.05.26 | |
| 6 | Оформлення тексту роботи | | |
| 7 | Попередній захист роботи на кафедрі | 11.05-15.05.26 18.05-20.05.26 | |
| 8 | Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій | | |
| 9 | Нормалізаційний контроль | | |
| 10 | Захист кваліфікаційної роботи | 25.05-31.05.26 | |

Здобувач вищої освіти _____ Вадім ВАСИЛЕВИЧ
(підпис)Керівник роботи _____ Володимир ДУДНИК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 5 розділів, 1 додатку, 13 рисунків, 11 таблиць, 28 використаних джерел, 53 сторінки.

Об'єкт дослідження – клейові суміші та їх компоненти, а також різні вузли сільськогосподарської техніки та обладнання.

Предмет дослідження – клейові композиції на основі рідкого скла, їх суміш, властивості та вплив компонентів та технології нанесення на міцність з'єднань.

Постановка актуальної технічної задачі – розроблення термостійких клейових сумішей для відновлення деталей машин, що забезпечують високу міцність з'єднань за підвищених температур і дозволяють знизити витрати на технічний сервіс.

Мета роботи – зниження витрат при технічному сервісі в АПК шляхом відновлення деталей машин та обладнання термостійкими клейовими сумішами.

Практичне значення – зниження витрат на ремонт, підвищення надійності деталей, зменшення трудомісткості та можливість виконання ремонту без сумішного обладнання.

У **першому розділі** проведено аналіз стану рівня механізації сільськогосподарського виробництва та можливих груп споживачів результатів проведених наукових досліджень. Наведено класифікацію клейових сумішей та їх властивості.

У **другому розділі** наведено теоретичні положення дослідження концентрації добавок на руйнівні дотичні напруження клейових сумішей на основі рідкого скла та оптимізація концентрації компонентів клейового суміші на основі рідкого натрієвого скла.

У **третьому розділі** приведені методики визначення руйнівних дотичних напружень клейової суміші, оптимізації концентрації добавок у рідке скло, дослідження впливу підготовки поверхні, дослідження стійкості клейових сумішей до старіння та проведення порівняльних експлуатаційних випробувань.

У **четвертому розділі** приведено результати досліджень концентрації порошків металів на руйнівні дотичні напруження клейової суміші, аналізу впливу підготовки поверхні на руйнівні дотичні напруження та стійкості клейових сполук до старіння.

У **п'ятому розділі** було приділено увагу питанням охорони праці, екологічної експертизи та економічної ефективності удосконалення.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати можуть використовуватись на ремонтних та сервісних підприємствах агропромислового комплексу при проведенні сервісного обслуговування сільськогосподарських машин.

Сфера застосування результатів роботи – машинобудування, сервісна інженерія.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 10 аркушів.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність тексту – 97,74 %.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена зниженню витрат при технічному сервісі в АПК шляхом відновлення деталей машин та обладнання термостійкими клейовими сумішами.

Ключові слова: КЛЕЄВІ СУМІШІ, ШАР, ВІДНОВЛЕННЯ, МІЦНІСТЬ, КОНЦЕНТРАЦІЯ, АДГЕЗІЯ, З'ЄДНАННЯ, РУЙНІВНІ НАПРУЖЕННЯ, ПОВЕРХНЯ, ДОБАВКИ.

ANNOTATION

The master's qualification work is devoted to reducing costs during technical service in the agricultural industry by restoring machine parts and equipment with heat-resistant adhesive mixtures.

Keywords: ADHESIVE MIXTURES, LAYER, RECOVERY, STRENGTH, CONCENTRATION, ADHESION, JOINTS, FAILURE STRESSES, SURFACE, ADDITIVES.

ЗМІСТ

| | | |
|---|---|----|
| | ВСТУП..... | 8 |
| 1 | АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ | 10 |
| | 1.1 Аналіз стану рівня механізації сільськогосподарського виробництва | 10 |
| | 1.2 Аналіз можливих груп споживачів результатів наукових досліджень | 11 |
| | 1.3 Класифікація клейових сумішей та їх властивості | 13 |
| 2 | ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ | 18 |
| | 2.1 Дослідження концентрації добавок на руйнівні дотичні напруження клейових сумішей на основі рідкого скла | 18 |
| | 2.2 Оптимізація концентрації компонентів клейового суміші на основі рідкого натрієвого скла | 19 |
| 3 | МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ | 23 |
| | 3.1 Методика визначення руйнівних дотичних напружень клейової суміші | 23 |
| | 3.2 Методика визначення впливу добавок у рідке скло | 25 |
| | 3.3 Методика оптимізація концентрації добавок у рідке скло | 26 |
| | 3.4 Методика дослідження впливу підготовки поверхні | 27 |
| | 3.5 Методика дослідження стійкості клейових сумішей до старіння | 28 |
| | 3.6 Методика проведення порівняльних експлуатаційних випробувань | 28 |
| 4 | РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ | 30 |
| | 4.1 Дослідження концентрації порошків металів на руйнівні дотичні напруження клейової суміші | 30 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | Результати досліджень та аналіз впливу підготовки поверхні на руйнівні дотичні напруження клейових сумішей | 32 |
| 4.3 | Результати досліджень та аналіз стійкості клейових сполук до старіння | 33 |
| 5 | ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК | 37 |
| 5.1 | Екологічна експертиза..... | 37 |
| 5.2 | Охорона праці | 39 |
| 5.2.1 | Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі | 39 |
| 5.2.2 | Вимоги з охорони праці при нанесенні клейових сумішей | 41 |
| 5.2.3 | Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій..... | 42 |
| 5.3 | Оцінка економічної ефективності впровадження проектних рішень | 44 |
| | ВИСНОВКИ..... | 47 |
| | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 49 |
| | ДОДАТКИ..... | 52 |

ВСТУП

Сучасний етап розвитку машинобудування, ремонтно-відновлювальних технологій, енергетичного обладнання та транспортних систем характеризується підвищенням вимог до надійності, довговічності та термостійкості матеріалів, що застосовуються у вузлах та деталях машин. В умовах інтенсивної експлуатації технічні елементи часто працюють під дією підвищених температур, циклічних механічних навантажень, вібрацій, агресивних газових середовищ та перепадів температур, що призводить до прискореного зношування, втрати герметичності з'єднань та погіршення експлуатаційних характеристик обладнання. У зв'язку з цим особливу актуальність набуває розроблення нових композиційних матеріалів, здатних забезпечити ефективне з'єднання, ремонт, герметизацію та відновлення поверхонь без застосування трудомістких технологічних операцій.

Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є створення термостійких клейових сумішей на основі неорганічних зв'язувальних систем. Серед них особливий інтерес становить рідке скло, яке характеризується високою адгезійною здатністю, стійкістю до дії підвищених температур, доступністю сировини, низькою вартістю та простотою використання у виробничих умовах. Завдяки цим властивостям рідке скло широко використовується як базовий компонент термостійких композицій, герметиків та клеїв технічного призначення.

Важливим аспектом є також технологічна адаптивність таких сумішей до умов ремонтного виробництва. На відміну від традиційних методів відновлення, пов'язаних із зварюванням, наплавленням або механічною обробкою, клейові композиції не потребують складного високотемпературного обладнання, мають меншу енергоємність та можуть застосовуватися безпосередньо на місці експлуатації техніки. Це особливо важливо для сільськогосподарських машин, транспортних засобів та промислового обладнання, де оперативність ремонту безпосередньо впливає на економічні показники підприємства.

Отже, розроблення та дослідження термостійких клейових сумішей на основі рідкого скла є важливим науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення надійності роботи машин, зменшення витрат на ремонт та

забезпечення довговічності технічних систем, що функціонують у складних умовах експлуатації.

Об'єкт дослідження – клейові суміші та їх компоненти, а також різні вузли сільськогосподарської техніки та обладнання.

Предмет дослідження – клейові композиції на основі рідкого скла, їх суміш, властивості та вплив компонентів та технології нанесення на міцність з'єднань.

Постановка актуальної технічної задачі – розроблення термостійких клейових сумішей для відновлення деталей машин, що забезпечують високу міцність з'єднань за підвищених температур і дозволяють знизити витрати на технічний сервіс.

Мета роботи – зниження витрат при технічному сервісі в АПК шляхом відновлення деталей машин та обладнання термостійкими клейовими сумішами.

Практичне значення – зниження витрат на ремонт, підвищення надійності деталей, зменшення трудомісткості та можливість виконання ремонту без сумішного обладнання.

Практичні результати роботи – проаналізовано умови застосування термостійких клейових сумішей, обґрунтовано доцільність використання клейової композиції на основі рідкого скла для відновлення та герметизації зношених поверхонь, визначено оптимальний компонентний склад та технологічні параметри приготування та нанесення клейової суміші.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати можуть використовуватись на ремонтних та сервісних підприємствах агропромислового комплексу при проведенні сервісного обслуговування сільськогосподарських машин.

Апробація. Основні положення виконаної роботи доповідались і обговорювались:

- на VIII Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування» (Україна, Полтава, 04 грудня 2025 року);

- на XI Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Інноваційні аспекти систем безпеки праці, цивільного захисту та захисту інтелектуальної власності» (Україна, Полтава, 16-17 квітня 2026 року).

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз стану рівня механізації сільськогосподарського виробництва

В умовах старіння техніки, зниження її надійності закономірним є зростання кількості ремонтів – обсяг ремонтних робіт за останні роки зріс у 2 рази. Через нестачу коштів та з інших причин господарства проводять ремонти неякісно. Вартість послуг підприємств ремонтно-технічного сервісу істотно зросла, і багато сільськогосподарських товаровиробників немає можливості ними користуватися. Все це призводить до порушення агротехнічних термінів проведення польових робіт, величезного недобору та втрат урожаю сільськогосподарських культур [1].

Дослідження загальноекономічної тенденції у галузі ремонту машин та обладнання показує, що йде процес дезінтеграції інфраструктури ремонтно-обслуговуючих підприємств АПК. Ремонтно-обслуговуюча база АПК втрачає технологічний рівень і віддаляється від сільськогосподарського виробництва.

Останніми роками різко впали обсяги ремонту спеціалізованими ремонтними підприємствами [2]. Структурні зміни відбулися насамперед на підприємствах, які займалися ремонтом повнокомплектних тракторів та автомобілів, необхідність у якому зникла. Структурним змінам виявилися менш схильні підприємства, які займаються ремонтом сумішних сумішальних одиниць та агрегатів, таких як двигун.

Зниження обсягів ремонту на спеціалізованих підприємствах при старінні парку сільськогосподарських машин показує, що ремонт перемістився до господарств, де немає спеціалізованого обладнання, висококваліфікованого персоналу, який володіє сучасними технологіями ремонту, відсутні сучасні матеріали та обладнання. Тому виникає гостра потреба в універсальних та недорогих матеріалах та технологіях ремонту.

На основі маркетингового аналізу можна зробити наступний висновок.

Ринкові відносини майже повністю викорінили таке поняття, як «дефіцит» запасних частин. Тому необхідно приділяти увагу розробці ресурсозберігаючих технологій ремонту для ефективного відновлення з мінімальною вартістю вузлів та деталей сільськогосподарської техніки.

Вказаним вимогам відповідають технології, засновані на використанні клейових сумішей, які часто адекватно дозволяють не тільки замінити зварювання, наплавлення, паяння, а й відновити працездатність деталей, ремонт яких традиційними способами неможливий або утруднений.

Аналіз технологій із застосуванням полімерів показує, що при розширенні їх використання для ремонту сільськогосподарської техніки можна суттєво скоротити витрати на її ремонт. Раціональне використання фізико-механічних властивостей клейових сумішей дозволяє знизити трудомісткість ремонту та технічного обслуговування машин на 20...30%, собівартість робіт на 15...20%, витрати металів на 40...50% [2]. Основний внесок у науку та практичне застосування клейових сумішей при технічному сервісі машин та обладнання внесли ряд дослідників, які не тільки сформувавши основу подальшого розвитку цього перспективного напрямку, а й розробили багато практичних рекомендацій, успішно реалізованих практично [3, 4].

Простота технологій ремонту, що ґрунтуються на використанні клейових сумішей, дозволяє розширити номенклатуру послуг спеціалізованим ремонтним підприємствам та усувати багато несправностей сільськогосподарської техніки безпосередньо її користувачами.

1.2 Аналіз можливих груп споживачів результатів наукових досліджень

У процесі переходу нашої держави до ринкових відносин в агропромисловому комплексі виникла велика кількість дрібних та середніх сільськогосподарських підприємств (табл. 1.2) [5].

Більшість із них відразу ж зіштовхнулися з серйозними труднощами,

пов'язаними зі збутом, зберіганням, транспортуванням та переробкою сільськогосподарської продукції, постачанням, інформаційним, фінансовим та іншими видами обслуговування. Багато в чому ці проблеми були зумовлені тим, що в процесі аграрної реформи не було проведено адекватних перетворень у соціальній та виробничій інфраструктурах АПК, внаслідок чого збереглася колишня орієнтованість останніх на обслуговування великих підприємств [6].

Таблиця 1.2 - Число селянських (фермерських) господарств

| Показник | 2023 | 2024 | 2025 |
|---|------|------|------|
| Число зареєстрованих селянських (фермерських) господарств, тис. | 32,5 | 32,0 | 31,5 |
| Площа наданих земельних угідь – всього, млн га | 4,85 | 4,95 | 5,05 |
| у тому числі: | | | |
| сільгоспугідь, млн га | 4,60 | 4,70 | 4,80 |
| з них ріллі, млн га | 3,70 | 3,80 | 3,90 |
| В середньому на одне господарство, га: | | | |
| всієї землі | 149 | 155 | 160 |
| сільгоспугідь | 142 | 147 | 152 |
| ріллі | 114 | 119 | 124 |

Тому усумішлася ситуація з обслуговуванням засобів механізації багатомільйонного сектора індивідуальних підсобних господарств населення, які змушені самостійно робити ремонт своїх засобів механізації. Для цих цілей необхідні ефективні та не дорогі засоби та технології, якими є технології на основі застосування клейових сумішей.

Проведеними маркетинговими дослідженнями встановлено, що технології ремонту машин і обладнання на основі застосування полімерних сумішей можуть бути затребувані не тільки виробниками сільськогосподарської продукції, а й спеціалізованими ремонтно-технічними підприємствами (РТП) [7, 8], транспортними підприємствами [9], підприємствами, зайнятими переробкою

сільськогосподарської продукції [10] та підприємствами інших галузей промисловості [11]. Зокрема, РТП це дозволить без істотних додаткових вкладень розширити номенклатуру послуг [12, 13].

Через ринкові перетворення різко зросла кількість транспортних засобів у населення. Значна їх кількість – імпортні автомобілі. Крім того, більша їхня частина має термін служби понад 10 років. Утримання таких транспортних засобів потребує постійних витрат на ремонт. У скрутному становищі опинилися власники імпортних машин, оскільки ціни запчастини та послуги різних сервісних служб багатьом недоступні. Ці обставини змушують користувачів транспортних засобів та іншої техніки самостійно займатися ремонтом, для якого можуть бути потрібні недорогі матеріали та технології.

1.3 Класифікація клейових сумішей та їх властивості

При обслуговуванні та ремонті машин та обладнання у сільському господарстві все більше використовуються різні клейові суміші, які класифікуються за різними ознаками (рис. 1.1) [17].

За фізичним станом клейові суміші можуть бути рідинами різної в'язкості або твердими матеріалами (плівки, порошки, прутки та ін), що розплавляються перед склеюванням або наносяться на нагріті поверхні.

За природою основного компонента розрізняють неорганічні (рідкі стекла – водні розчини силікатів натрію і калію, клеї), органічні (композиції на основі природних та синтетичних полімерів) та елементоорганічні клеї.

Залежно від хімічної природи полімеру клеєві суміші ділять на два види [15]:

- термопластичні, які після нагрівання розм'якшуються (і в цьому стані їм можна надати будь-яку форму), а при охолодженні тверднуть, при повторному нагріванні вони придатні для подальшого використання, оскільки зберігають свої пластичні властивості;

- термореактивні, які після затвердіння не можуть використовуватись повторно.

За функціональним призначенням клейові суміші класифікуються таким чином:

- конструкційні, слугують для передачі динамічних і статичних навантажень від однієї деталі до іншої;

- неконструкційні, застосовують для приклеювання декоративних та облицювальних виробів;

- спеціальні клеї – струмопровідні, медичні, оптичні тощо.

По теплостійкості клеї поділяються на групи [14]:

- невисоку теплостійкість, здатні працювати при температурі не вище 60...80°C;

- середня теплостійкість, що працюють до температури 150°C;

- довго працюючі при температурі 200...350°C;

- високотеплостійкі, що довго працюють при температурах 350...450°C та короткочасно – при 800...1200°C.

За умовою затвердіння клейові суміші поділяють на:

- анаеробні, що твердіють тільки в закритих порожнинах за відсутності

кисню;

- термічні, що твердіють лише за підвищеної температури;
- вологісного отвердіння (ці клейові суміші є термореактивними матеріалами, які під впливом вологи, вулканізуючих агентів або ініціаторів отвердіння без усадки переходять з пластичного стану в гумоподібний);
- твердіють ультрафіолетовими променями;
- твердіють введенням затверджувачів.

Проведений аналіз свідчить про відсутність єдиної прийнятої класифікації клейових сумішей, що пояснюється як відмінністю їх рецептур, і їх призначенням.

При проведенні ремонтних робіт все більше використовуються клейові суміші, які не тільки здатні склеювати дві або кілька поверхонь, але і, приклеюючись до поверхні, формувати конструкційний матеріал заздалегідь заданої форми та розмірів. Ця властивість клейових сумішей дозволяє проводити ремонтні роботи з відновлення дефектних поверхонь. До цього часу таким матеріалам немає однозначного і правильного визначення [16, 17]. У Німеччині фірма, що займається розробкою таких матеріалів, називається «Мульти Метал», так називаються суміші, які вона виробляє. У Швейцарії подібна фірма та матеріали відомі як «Дурметал». Але ці суміші до зварювання (яка має на увазі розплавлення матеріалів, що з'єднуються) не мають жодного відношення, і працюють за законами склеювання [18].

Найменування «холодне зварювання» по відношенню до полімерних композиційних матеріалів обґрунтовується тим, що в багатьох випадках вони дозволяють не тільки замінити пайку, зварювання або наплавлення, але й відновлювати деталі, ремонт яких відомими способами утруднений або неможливий. Такі клейові суміші будемо назвати формотворчими клейовими матеріалами.

За своїми характеристиками міцності формоутворюючі матеріали поступаються металам, але можуть успішно застосовуватися для проведення

ремонтних робіт. Існуючі суміші зазвичай використовуються для ремонту деталей машин працюючих у діапазоні температур від -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$ (до 250°C короткочасно), що виключає їх використання в системі випуску відпрацьованих газів ДВЗ, в димоходах, паропроводах [19].

Сучасні клейові суміші є сумішними системами, до суміші яких зазвичай включають основу, наповнювач, затверджувач (структуруючий агент), каталізатор, розчинник, інгредієнти загального (еластифікатори тощо) та спеціального (адгезійні добавки) призначення. Дослідження компонентів клеїв та варіювання їх концентрації дозволяє отримати клейову суміш з необхідними властивостями [20].

Висновки і постановка завдань досліджень

1. Дослідження законів маркетингу та особливостей вітчизняного ринку клейових сумішей використовуваних для ремонту деталей машин та обладнання дозволили розробити методику обґрунтування напряму наукових досліджень.

2. Структурні зміни сільського господарства викорінили таке поняття як дефіцит запасних частин, що робить економічно доцільним відновлювати сумішні, габаритні та вузли та агрегати, що потребують трудомістких розбірних робіт, без значних трудових і матеріальних витрат.

3. В останні роки на ринку клейових матеріалів з'явилися клейові суміші вітчизняних виробників з властивостями, що не поступаються імпортним і стали їх витісняти. Термостійкі суміші для ремонту постачає в обмеженій кількості зарубіжними фірмами, висока ціна обмежує їх використання виробниками сільськогосподарської продукції.

4. Розробка термостійкої клейової суміші є перспективним науковим напрямом і від його реалізації очікується суттєвий економічний ефект.

Виходячи з цього, були сформульовані основна мета і завдання дослідження.

Мета дослідження – зниження витрат при технічному сервісі в АПК

шляхом відновлення деталей машин та обладнання термостійкими клейовими сумішами.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати ринок клейових сумішей та визначити перспективність їх застосування для відновлення деталей сільськогосподарської техніки.

2. Вивчити класифікацію, суміш, фізико-механічні та експлуатаційні властивості клейових матеріалів.

3. Обґрунтувати доцільність використання термостійких клейових сумішей у ремонті машин та обладнання.

4. Розробити суміш та технологію застосування термостійкої клейової суміші для відновлення зношених деталей.

5. Дослідити вплив суміші та режимів застосування клейової суміші на її міцність та довговічність.

6. Оцінити економічну ефективність використання розробленої технології ремонту в умовах АПК.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Дослідження концентрації добавок на руйнівні дотичні напруження клейових сумішей на основі рідкого скла

Крім міцнісних характеристик, клейова суміш повинна мати липкість при її нанесенні, тиксотропність (утримуватися до затвердіння на поверхні) і при цьому мати якомога меншу вартість. Вигляд відновлених ділянок більш естетичний, якщо колір ділянки, що відновлюється, не відрізняється від кольору основного металу.

В якості добавок для калієвого та рідкого натрієвого скла використовували глинозем, порошок графіту і епоксидну смолу. Глинозем забезпечує тиксотропність клейової суміші та зменшує її вартість.

Графіт надає колір, близький до металу, і, як і глинозем, знижує вартість суміші. Епоксидна смола підвищує липкість клейової суміші в момент її нанесення на поверхню, що відновлюється.

Аналіз впливу перерахованих добавок на руйнівні дотичні напруження клейової суміші на основі рідкого натрієвого скла представлені на рис. 2.1. Всі добавки (хоча і меншою мірою, ніж порошки заліза), підвищують значення руйнівних дотичних напружень. Оптимальна концентрація графіту та глинозему становить 9...13 %. Епоксидна смола при концентрації до 5 % не впливає на руйнівні дотичні напруження, а подальше її збільшення незначно, але погіршують характеристики міцності клейової суміші.

На рис. А.1 (додаток А) представлені графіки залежностей руйнівних дотичних напружень клейової суміші на основі калієвого рідкого скла. Графіт і глинозем покращують характеристики міцності клейової суміші. Оптимальна концентрація глинозему становить 14...16%, графіту 9...12%. Суміші на основі калієвого рідкого скла мають більшу адгезійну та когезійну міцність, ніж суміші з аналогічними наповнювачами на основі натрієвого.

Епоксидна смола в межах 5...10 % практично не впливає на характеристики

міцності клейової суміші, тому її концентрацію можна обмежити 5...10%.

Рисунок 2.1 - Вплив добавок на руйнівні дотичні напруження клейової суміші на основі рідкого натрієвого скла

Таким чином, всі добавки (хоча і меншою мірою, ніж порошки заліза), підвищують характеристики міцності, що робить доцільним їх введення в клейову суміш у зазначених вище концентраціях.

2.2 Оптимізація концентрації компонентів клейового суміші на основі рідкого натрієвого скла

Теоретичними дослідженнями встановили верхній, нижній та основний рівні варіювання концентрації кожного компонента в рідкому натрієвому склі.

Інтервали варіювання обрані з урахуванням того, щоб загальна концентрація добавок у клейовому розчині не перевищувала 80%. При більшому значенні утруднюється перемішування суміші, що не в повному обсязі змочує

частинки наповнювача, погіршується липкість суміші та інші її характеристики.

Концентрацію епоксидної смоли прийнято постійною – 5%. Вона необхідна для збільшення липкості клейової суміші, що робить її більш технологічним при використанні.

Матриця планування, експериментальні та розрахункові значення параметра оптимізації представлені у табл. 2.1. Необхідно відзначити особливість використовуваної програми, яка на відміну від методик, наведених у роботах [21], сама керує матрицею, змінюючи рівні варіювання.

Таблиця 2.1 - Матриця проведення експериментальних досліджень суміші на основі епоксидного натрієвого скла

| Концентрація, % | | | Експериментальне значення | | | | | Розрахункове значення т, МПа |
|-----------------|--|------------|---------------------------|------|------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Залізо (Fe) | Глинозем (Al ₂ O ₃) | Графіт (C) | руйнівна сила, Н | | | середня руйнівна сила, Н | руйнівні дотичні напруження т, МПа | |
| 59 | 10,5 | 5,5 | 1050 | 1100 | 1150 | 1100 | 2,200 | 2,09936 |
| 59 | 10 | 6 | 1120 | 1140 | 1100 | 1120 | 2,240 | 2,22173 |
| 55,5 | 14 | 5,5 | 1020 | 980 | 940 | 980 | 1,960 | 2,24171 |
| 53 | 14 | 8 | 1020 | 1060 | 1040 | 1040 | 2,080 | 2,00586 |
| 56,5 | 10 | 8,5 | 1420 | 1450 | 1480 | 1450 | 2,900 | 2,6775 |
| 53 | 13,5 | 8,5 | 930 | 970 | 950 | 950 | 1,900 | 2,00343 |
| 56 | 12 | 7 | 1490 | 1450 | 1530 | 1490 | 2,980 | 2,86472 |
| 57,5 | 11,25 | 6,25 | 1250 | 1280 | 1220 | 1250 | 2,500 | 2,68522 |
| 57,5 | 11 | 6,5 | 1290 | 1270 | 1250 | 1270 | 2,540 | 2,73083 |
| 55,75 | 13 | 6,25 | 1480 | 1510 | 1450 | 1480 | 2,960 | 2,65446 |
| 54,5 | 13 | 7,5 | 1220 | 1250 | 1280 | 1250 | 2,500 | 2,62316 |
| 56,25 | 11 | 7,75 | 1430 | 1440 | 1450 | 1440 | 2,880 | 2,87243 |
| 54,5 | 12,75 | 7,75 | 1240 | 1270 | 1300 | 1270 | 2,540 | 2,63756 |
| 59 | 10,25 | 5,75 | 1120 | 1060 | 1090 | 1090 | 2,180 | 2,16953 |
| 57,25 | 12,25 | 5,5 | 1260 | 1290 | 1320 | 1290 | 2,580 | 2,45663 |
| 57,75 | 10 | 7,25 | 1250 | 1260 | 1270 | 1260 | 2,520 | 2,69794 |
| 54,25 | 14 | 6,75 | 1210 | 1250 | 1290 | 1250 | 2,500 | 2,37248 |
| 53 | 13,75 | 8,25 | 1010 | 1040 | 1070 | 1040 | 2,080 | 2,01361 |
| 54,75 | 11,75 | 8,5 | 1220 | 1250 | 1280 | 1250 | 2,500 | 2,62711 |
| 56 | 12 | 7 | 1490 | 1470 | 1510 | 1490 | 2,980 | 2,69373 |

На рис 2.2 подано тривимірний графік поверхні відгуку. На ньому добре видно мінімуми та максимуми досліджуваної залежності. Тривимірний графік поверхні відгуку дозволяє приблизно оцінити відносні частки кожного компонента клейової суміші, при яких спостерігаються максимальні значення параметра оптимізації (величини руйнуючих дотичних напружень).

Рисунок 2.2 - Поверхня відгуку оптимізації клейової суміші на основі натрієвого скла

Більш точно і наочно визначити зону найбільш сприятливого поєднання компонентів, що вводяться можна на тривимірному контурному графіку, який представлений на рис. 2.3.

Рисунок 2.3 - Контурний графік (рідке натрієве скло)

Чисельне значення оптимальної концентрації кожного значення представлено на графіку (рис. А.2 додаток А).

За результатами багатофакторного експерименту остаточна рецептура термостійкої клейової суміші на основі рідкого натрієвого скла представлена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Концентрація компонентів у термостійкій клейовій суміші на основі рідкого натрієвого скла

| Компонент | Концентрація, % |
|---------------------|-----------------|
| Рідке натрієве скло | 20 |
| Карбонільне залізо | 55 |
| Глинозем | 12 |
| Графіт | 8 |
| Епоксидна смола | 5 |

Встановлено, що найбільшу частку у суміші займає карбонільне залізо (55%), що забезпечує підвищену механічну міцність та термостійкість матеріалу. Рідке натрієве скло (20%) виконує роль зв'язувального компонента, формуючи структуру композиції та забезпечує адгезійні властивості.

Додавання глинозему (12%) сприяє підвищенню жаростійкості та стабільності при високих температурах, тоді як графіт (8%) покращує теплопровідність та зменшує внутрішні напруження завдяки своїм антифрикційним властивостям. Невелика кількість епоксидної смоли (5%) підвищує міцність зчеплення та технологічність суміші при нанесенні.

Таким чином, запропонована рецептура є збалансованою за сумішом і забезпечує необхідне поєднання адгезійних, механічних та термостійких властивостей, що робить її придатною для використання в умовах підвищених температур і навантажень.

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика визначення руйнівних дотичних напружень клейової суміші

Для визначення характеристик міцності клейового з'єднання існує безліч методик. Однак різноманітність властивостей клейових сумішей часто не дозволяє використовувати існуючі методики, виникає потреба у розробці нових методик.

Сутність методу полягає у визначенні руйнівної сили, спрямованої паралельно площині склеювання при розтягуванні стандартного зразка клейового з'єднання нахльост. Але, як показали теоретичні та попередні експериментальні дослідження, цей спосіб не може бути використаний при визначенні руйнівних дотичних напружень клейової суміші на основі рідкого скла. Це пов'язано з тим, що при нагріванні склеєних зразків відбувається інтенсивне випаровування води, що призводить практично до руйнування клейової сполуки навіть без застосування зовнішніх сил. Тому нами було запропоновано в одному зі зразків просвердлити отвори, які сприяють випаровуванню води без руйнування клейової суміші.

Випробування зразків на відрив проводили за допомогою спеціального пристрою (рис. 3.1). Пристосування встановлювали у затискачах випробувальної розривної машини. Воно забезпечувало центрування випробуваних зразків за рахунок шарнірного закріплення верхнього затиску і зазорів між фіксуючими штифтами і зразками, а також між площиною зразка і площиною центруючих вилок. Розривна випробувальна машина дозволяє проводити випробування на розтягування та вимірювати значення навантаження з похибкою не більше 1%.

Для випробувань склеювали два зразки довжиною 60 мм: один – суцільний, а інший з кількома отворами діаметром 3 мм та кроком 4 мм. Довжина клейового шва сумішає 25 мм.

Перед випробуванням зразки зачищали наждачним папером, знежирювали

ацетоном та нагрівали до 100°C . Потім наносили клей (полімер, металополімер) та витримували протягом 2 годин при кімнатній температурі. Після цього поміщали їх у піч і піддавали нагрівання до 800°C , підтримуючи температуру 20 хв, виймали з печі, давали охолонути до кімнатної температури, після чого випробували на розривній машині.

Рисунок 3.1 – Пристрій для випробування зразків на відрив

Для випробування брали п'ять зразків, потім знаходили середнє значення, яке використовували для подальшого аналізу.

Випробування проводили з поступовим наростанням навантаження до руйнування зразка зі швидкістю затискання машини 10 мм/хв. Фіксували найбільше навантаження, досягнуте під час випробування.

Обидві частини випробуваного зразка піддавали візуальному огляду визначення характеру руйнування по площині склеювання і по клею.

Характер руйнування оцінювали у відсотках від номінальної площі

склеювання з похибкою трохи більше 5...10%. Далі проводили підрахунок результатів випробувань та оформлення документації.

Межу міцності клейової сполуки при відриві в $\tau_{зсв}$ (Па) обчислюють за формулою:

$$\tau = \frac{P}{bl} \quad (3.1)$$

де P – руйнівне навантаження, Н;

b – ширина клейової зони зразка, м;

l – довжина клейової зони зразка, м.

Межу міцності при зсуві визначали до третьої цифри. За результатами випробувань обчислювали середнє арифметичне значення межі міцності:

$$\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (3.2)$$

де n – число випробуваних зразків.

При випробуванні зразків клейових сумішей вели журнал, протокол випробувань, де записували дані результатів експерименту аналогічно випробуванню адгезивів на відрив.

3.2 Методика визначення впливу добавок у рідке скло

Перед тим, як визначати необхідну концентрацію кожного компонента в клейовій суміші, спочатку проводили дослідження впливу кожного компонента окремо на руйнівні дотичні напруження клейової сполуки.

Для цього на електронних вагах в ємність відважували спочатку рідке скло, а потім необхідний відсоток випробуваної добавки. Потім весь вміст обох ємностей поміщали в одну і змішували протягом 5...7 хв до отримання однорідної композиції. На початку, концентрацію брали у кількості 5%, а потім її поступово збільшували до максимально можливої. Межею можливої концентрації добавки була в'язкість отриманої композиції, при якій можна було вводити склеювання.

3.3 Методика оптимізація концентрації добавок у рідке скло

Для оптимізації концентрації добавок у рідке скло та вивчення взаємодії клейової суміші з субстратом та компонентів у клейовій суміші застосовували моделювання процесу, що дозволяє оцінити зміну стану клейового з'єднання, його адгезійні та когезійні характеристики, оптимальні концентрації компонентів у клейовій суміші.

В результаті маркетингових і теоретичних досліджень встановлено, що клейова суміш, що розробляється, повинна бути працездатною в умовах підвищених температур (900°C) і в середовищі вуглекислого газу. Розроблювану суміш планується також використовувати і в системі випуску відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання. При цьому клейова суміш може короткочасно піддаватися дії води, вібрації та перепаду температур. Точно змоделювати умови роботи такої клейової суміші в лабораторних умовах важке завдання. Тому при оптимізації змушені обмежитись частковим моделюванням, що часто використовується при розробці та випробуванні клейових сумішей. Остаточне рішення приймається лише після завершення натурних (експлуатаційних) випробувань.

Об'єкт дослідження – клейову сполуку – представимо у вигляді так званої «чорної скриньки», на вхід якої впливають змінні параметри x .

Як вхідні параметри досліджуваної системи приймаємо концентрацію добавок: x_1 – порошку карбонильного заліза; x_2 – глинозему; x_3 – графіту.

У загальному вигляді форма функціонального зв'язку між «входом» та «виходом» виражається функцією:

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3.3)$$

Найчастіше вона апроксимується поліномами:

$$y=b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{ij \\ i \neq j}} b_{ij} x_j x_i + \dots, \quad (3.4)$$

де y – параметр оптимізації;

x_i – фактори, що варіюються при проведенні експерименту;

$i=1, 2, 3 \dots, n$; b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти регресії.

Науковим підходом до планування експериментальних досліджень є теорія планування експерименту, яка є розділом математичної статистики, що вивчає раціональну організацію вимірювань та спостережень. Використання теорії планування експерименту дозволяє експериментатору краще розібратися в процесах, що відбуваються, визначити взаємозв'язки між вхідними і вихідними параметрами і зробити надійні висновки [21].

Комп'ютерні системи планування експерименту за визнанням багатьох авторитетних журналів є на сьогоднішній день одними з найбільш ефективних систем статистичного аналізу даних [22]. Такої високої оцінки програми заслужили завдяки вдалому поєднанню наукових методів обробки різнотипних даних із сучасною інтерактивною графікою. Доступний інтерфейс та ретельно відшліфована документація істотно змінила уявлення про цю предметну область. Якщо раніше вони вважалися долею висококваліфікованих професіоналів у математичній статистиці, що володіють у досить повному обсязі їх тонкощами, то тепер планування експерименту стало доступним широкому колу фахівців в інших галузях. У програмах включений весь спектр графічних процедур, які дозволяють підбирати, а також ясно і точно «бачити» особливості аналізованого матеріалу, у тому числі тривимірні поверхні відгуку різного виду. Можна (як в автоматичному, так і в ручному режимах) підбирати найбільш ілюстративні малюнки та графіки експериментальних планів.

3.4 Методика дослідження впливу підготовки поверхні

Поверхні зразків перед нанесенням клейових сумішей очищали механічним способом, промивали розчином, знежирювали ацетоном і шаром покривали моторного масла.

Потім наносили клейову суміш та витримували зразки при температурі 800°C . Для випробування брали п'ять зразків, потім знаходили середнє значення, яке використовували подальшого аналізу.

3.5 Методика дослідження стійкості клейових сумішей до старіння

Фізико-механічні властивості клейових сумішей змінюються з часом у результаті фізико-хімічних процесів, що протікають у самих матеріалах під впливом високих та низьких температур, вологості, хімічного середовища та інших факторів.

Однак дослідити старіння ремонтних матеріалів в умовах експлуатації неможливо у зв'язку з тривалістю таких випробувань. Тому теплове старіння сумішей досліджували прискореними методами, що дозволяють у короткий термін оцінити та зіставити властивості різних матеріалів у процесі старіння.

Сутність методу полягає у проведенні випробувань зразків циклами при послідовному впливі негативних та позитивних температур та одночасним контактом з агресивним середовищем.

Як зразки використовувалися пластини довжиною 60 мм, склеєні двома способами, що імітують реальні умови експлуатації:

а) клейові суміші наносили на сталеві пластини, витримували протягом 2 год при кімнатній температурі, піддавали нагрівання до 800°C протягом 20 хв після чого охолоджували до кімнатної температури;

б) сталеві пластини нагрівали до 800°C , витримували протягом 10 хв для стабілізації температури, після чого відразу наносили клейові суміші та охолоджували до кімнатної температури. Потім знову нагрівали до 800°C протягом 20 хв, після чого охолоджували до кімнатної температури.

Зразки з клейовими сумішами поміщали на $1 \pm 0,2$ години в морозильну камеру з температурою $-25 \pm 5^{\circ}\text{C}$, потім із затримкою не більше 2 хв переносили в термокамеру з температурою $1000 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Тривалість випробувань складала 40 циклів.

3.6 Методика проведення порівняльних експлуатаційних випробувань

Для проведення порівняльних експлуатаційних випробувань

використовували автомобіль ВАЗ-21113 2002 р. випуску, ідентифікаційний номер. Для випробування, крім розроблених сумішей на основі натрієвого та калієвого скла, були також взяті суміші наявні у вільному продажу.

Аналіз літературних джерел [23] дозволив встановити величину та розподіл температури системи випуску відпрацьованих газів.

Для проведення експерименту використовували каталізатор автомобіля ВАЗ-21113 – найбільш вразливий елемент системи випуску відпрацьованих газів: нагрівається до 750°C і схильний до механічних руйнувань.

Для чистоти експерименту каталізатор був знятий і очищений від вмісту, а потім у ньому було просвердлено 8 отворів діаметром 6 мм. Заклеювання отворів проводили за двома режимами затвердіння:

Режим 1. Суміш наносили на каталізатор при кімнатній температурі (18°C) і витримували протягом 6 год. Потім двигун працював 10 хв на холостому ходу, суміш тверділа при нагріванні.

Режим 2. Суміш наносили на попередньо розігрітий каталізатор відразу після зупинки двигуна. Після повного остигання двигун запускали, прогрівали 10 хв і робили пробіг на автомобілі. При цьому контролювали пробіг та стан випробуваного матеріалу. Якщо через загерметизований отвір починали проходити відпрацьовані гази або клейова суміш повністю відокремлювався від субстрату, то цей отвір залізною щіткою звільняли від залишків старої суміші і робили наступний дослід.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Дослідження концентрації порошоків металів на руйнівні дотичні напруження клейової суміші

Рисунок 4.1 - Залежність руйнівних дотичних напружень від концентрації порошоків заліза в натрієвому рідкому склі

Рисунок 4.2 - Залежність руйнівних дотичних напружень від концентрації порошків заліза в калієвому рідкому склі

4.2 Результати досліджень та аналіз впливу підготовки поверхні на руйнівні дотичні напруження клейових сумішей

Рисунок 4.3 - Вплив підготовки поверхні на міцність клейових сумішей:

- 1 - механічне очищення; 2 - нанесення мастила; 3 - обезжирення ацетоном;
4 - очищення розчином;

4.3 Результати досліджень та аналіз стійкості клейових сполук до старіння

Рисунок 4.4 - Залежність міцності клейових сумішей, нанесених штатним (1) та аварійним (2) методами від кількості циклів

Висновки за результатами експериментальних досліджень

1. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що наповнення натрієвого та калієвого рідкого скла порошками заліза підвищує адгезійні та когезійні характеристики клейової суміші до максимальних значень

при концентрації в межах 55...70%. Більш високі адгезійні і міцнісні характеристиками має суміш на основі калієвого рідкого скла.

2. Оптимальна концентрація глинозему становить 14...16%, графіту 9...12%. Суміші на основі калієвого рідкого скла мають більшу адгезійну та когезійну міцність, ніж суміші з аналогічними наповнювачами на основі натрієвого.

3. Епоксидна смола в межах 5... 10% практично не впливає на характеристики міцності клейової суміші, тому її концентрацію можна обмежити 5-10%.

4. Експериментальними дослідженнями визначено оптимальну концентрацію компонентів для клейових сумішей:

- на основі рідкого натрієвого скла – рідке натрієве скло – 20%; порошок карбонильного заліза – 60%; глинозем – 20%; графіт – 5%; епоксидна смола – 5%;

- на основі калієвого рідкого скла – калієве рідке скло – 20%; порошок карбонильного заліза – 60%; глинозем – 20%; графіт – 5 %; епоксидна смола – 5%.

5. Порівняльними експлуатаційними випробуваннями встановлено, що розроблені суміші найбільш працездатні, якщо їх наносити на гарячу поверхню глушника та давати їм остигати разом з деталлю. У цьому працездатність сумішей підвищується в 1,5 разу.

6. В результаті досліджень впливу підготовки поверхні на руйнівні дотичні напруження клейових сумішей встановлено, що механічне очищення спільно з знежиренням збільшує міцність клейових сполук порівняно просто з механічним очищенням майже на 24 %. Тому цей спосіб слід рекомендувати для підготовки поверхні перед нанесенням клейових сумішей.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза – це діяльність спеціально уповноважених органів та експертів, врегульована нормативно-правовими актами, що полягає в аналізі, перевірці та оцінці технологічних рішень щодо їх відповідності вимогам охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів. Її основною метою є запобігання негативному впливу виробничої діяльності на довкілля та здоров'я людини [24].

Основними цілями екологічної експертизи є:

- визначення відповідності технології виготовлення клейових сумішей екологічним вимогам;
- запобігання шкідливому впливу виробництва на навколишнє середовище;
- оцінка рівня екологічної безпеки процесу приготування та використання клею.

Екологічна експертиза може здійснюватися в державній, громадській та інших формах і є обов'язковою складовою впровадження технологічних процесів, що можуть впливати на стан довкілля.

Процес проведення екологічної експертизи включає три основні етапи:

- підготовчий – перевірка повноти технологічної документації та паспортів безпеки компонентів;
- аналітичний – оцінка впливу процесу приготування клею на повітря, воду та ґрунти;
- завершальний – формування висновків щодо екологічної безпеки виробництва.

У виробництві та застосуванні термостійких клейових сумішей екологічні аспекти мають важливе значення, оскільки процес супроводжується використанням дрібнодисперсних порошоків, зв'язувальних речовин та

допоміжних компонентів. Це особливо актуально для сумішей на основі рідкого натрієвого стекла, карбонільного залізу, глинозему, графіту та епоксидної смоли.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи, джерелом можливого впливу на довкілля є ділянка приготування та нанесення термостійкої клейової суміші, де здійснюються дозування компонентів, механічне перемішування та нанесення композиції на робочі поверхні.

У процесі виконання цих робіт основними джерелами забруднення атмосферного повітря є:

- ділянка дозування порошкових компонентів;
- змішувальне обладнання;
- зона нанесення та термічного затвердіння суміші.

При цьому у повітря можуть виділятися:

- пил карбонільного залізу та глинозему;
- графітовий пил;
- леткі компоненти епоксидної смоли;
- аерозолі лужного характеру від рідкого натрієвого скла.

Для забезпечення нормативної якості повітря передбачається застосування ефективної вентиляційної системи. Крім загальнообмінної вентиляції, необхідно встановити місцеві витяжні пристрої безпосередньо в зоні дозування порошків, змішування та нанесення клею [25].

Для очищення повітря від пилу необхідно використовувати циклони або рукавні фільтри, які забезпечують ефективне уловлювання твердих частинок. Додатково рекомендується застосування локальних пиловловлювачів для очищення повітря від дрібнодисперсного пилу графіту та оксидних наповнювачів.

Джерелами забруднення ґрунтів та водних ресурсів можуть бути залишки клейових композицій, промивні води після очищення обладнання, а також відходи епоксидної смоли. У процесі приготування суміші вони можуть утворюватися під час миття змішувальних ємностей та інструменту.

Стічні води, що утворюються в процесі очищення обладнання, повинні

підлягати попередньому очищенню. Для цього застосовується система відстоювання твердих частинок, нейтралізації лужних компонентів та фільтрації, після чого очищена вода може повторно використовуватись у виробничому циклі.

Відходи клейових сумішей, забруднені салфетки, фільтри та залишки смол збираються у герметичні ємності та передаються на спеціалізовані підприємства для утилізації. Не допускається їх потрапляння до ґрунту або системи каналізації.

З метою зниження негативного впливу на довкілля також передбачаються такі заходи:

- застосування ресурсозберігаючих технологій дозування компонентів;
- використання закритих змішувальних систем;
- своєчасне очищення та технічне обслуговування обладнання;
- контроль за дотриманням екологічних норм під час роботи з порошковими та полімерними компонентами.

Отже, впровадження технології виготовлення термостійкої клейової суміші на основі рідкого натрієвого скла дозволяє забезпечити не лише високі експлуатаційні властивості композиції, а й екологічну безпеку виробництва. Запропоновані заходи сприяють зниженню негативного впливу на атмосферне повітря, водні ресурси та ґрунти, що відповідає сучасним вимогам охорони навколишнього природного середовища.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі

Актуальність проблеми безпеки людини у виробничій середовищі зумовлена постійним розвитком промислових технологій, ускладненням процесів виготовлення композиційних матеріалів та широким застосуванням сучасного змішувального, дозувального та термічного обладнання. У процесі

приготування та використання термостійких клейових сумішей працівники можуть піддаватися впливу різноманітних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які негативно впливають на їх здоров'я, працездатність та безпеку праці. До таких факторів належать механічні, хімічні, фізичні та психофізіологічні навантаження [26].

Забезпечення безпечних умов праці є одним із найважливіших завдань сучасного виробництва клейових композицій. Це пов'язано з необхідністю збереження життя та здоров'я працівників, підвищення ефективності праці та зниження рівня виробничого травматизму. Наявність безпечного виробничого середовища сприяє стабільності технологічного процесу, підвищенню якості готової клейової суміші та зменшення економічних втрат підприємства.

Особливо актуальним це питання є на дільницях приготування термостійких клейових сумішей, де працівники мають справу з порошковими наповнювачами, лужними зв'язувальними речовинами та полімерними компонентами. Під час дозування карбонільного залізу, глинозему та графіту існує небезпека утворення пилу, який може потрапляти до органів дихання. Рідке натрієве скло створює ризик хімічного впливу на шкіру та слизові оболонки через лужне середовище, а епоксидна смола може викликати подразнення шкіри та алергічні реакції.

Крім хімічних небезпечних, процес змішування та нанесення клейової композиції, присутні механічні фактори ризику, пов'язані з роботою мішалок, дозаторів, пресувального обладнання та нагрівальних установок для термічного затвердіння. Недотримання вимог охорони праці, неправильна організація робочого місця або відсутність засобів захисту можуть призвести до травмування працівників, опіків та аварійних ситуацій [27].

Тому важливим напрямком діяльності підприємства є розроблення та впровадження комплексу організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці під час виготовлення клейових сумішей. Значну роль у цьому відіграє система управління охороною праці, яка передбачає навчання працівників правилам

безпеки, контроль за дотриманням нормативних вимог, використання засобів особистого захисту (респіратори, рукавички, захисні окуляри, спецодяг), а також застосування ефективної вентиляції та локальних витяжних систем.

Таким чином, проблема безпеки людини у виробничій середовищі при виготовленні термостійких клейових сумішей залишається надзвичайно актуальною і потребує комплексного підходу до її вирішення. Створення безпечних умов праці є важливою передумовою збереження здоров'я працівників, забезпечення стабільності технологічного процесу та підвищення ефективності виробництва.

5.2.2 Вимоги з охорони праці при нанесенні клейових сумішей

Нанесення термостійких клейових сумішей на основі рідкого натрієвого скла, карбонільного залізу, глинозему, графіту та епоксидної смоли повинно виконуватися з обов'язковим дотриманням вимог охорони праці, оскільки технологічний процес супроводжується впливом хімічних, механічних та фізичних небезпечних факторів.

До виконання робіт допускаються особи, які пройшли вступний та первинний інструктаж з охорони праці, ознайомлені з технологією нанесення клейової композиції, правилами користування обладнанням та засобами особистої захисту. Працівники повинні використовувати спецодяг, гумові рукавички, захисні окуляри та респіратори для захисту органів дихання від пилу графіту, глинозему та карбонільного заліза [27].

Перед початком роботи необхідно перевірити справність змішувального обладнання, дозаторів, шпателів, кистей чи інших пристроїв для нанесення суміші. Робоче місце повинно бути обладнане загальнообмінною вентиляцією та місцевою витяжкою, особливо в зоні приготування клею та його нанесення на поверхню. Це необхідно для видалення пилу порошкових компонентів та можливих випарів епоксидної смоли.

Особливу увагу слід приділяти роботі з рідким натрієвим склом, яке має

лужні властивості та при попаданні на шкіру або слизові оболонки може спричиняти подразнення чи хімічні опіки. У разі контакту речовини зі шкірою уражене місце необхідно негайно промивати великою кількістю води. При попаданні в очі слід терміново промити їх проточною водою та звернутися за медичною допомогою.

Під час нанесення клейової суміші забороняється [27]:

- працювати без засобів індивідуального захисту;
- використовувати несправний інструмент чи обладнання;
- допускати попадання суміші на відкриті ділянки шкіри;
- виконувати роботи поблизу джерел відкритого вогню чи нагрівальних приладів без відповідного контролю;
- зберігати компоненти суміші у відкритій тарі.

При нанесенні клею на нагріті поверхні або під час термічного затвердіння необхідно застосовувати термостійкі рукавички та дотримуватися безпечної відстані до нагрівальних елементів. Робоча зона повинна бути вільною від сторонніх предметів, щоб уникнути випадкового перекидання ємностей із клейовою композицією.

Після завершення роботи необхідно очистити інструмент, герметично закрити тару із залишками суміші, вимкнути вентиляцію та обладнання, а також прибрати робоче місце. Забруднені салфетки, рукавички та залишки клейової композиції слід збирати у спеціальні контейнери для подальшої утилізації відповідно до вимог екологічної безпеки [27].

Таким чином, дотримання вимог охорони праці при нанесенні клейових сумішей забезпечує безпеку працівників, запобігає професійним захворюванням та травмам, а також сприяє стабільності технологічного процесу та високої якості готового покриття.

5.2.3 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Аналіз потенційно небезпечних умов, які існують або можуть виникати

безпосередньо в процесі приготування та нанесення термостійких клейових сумішей, показав, що їх можна поділити на кілька основних груп:

- умови, що визначають рівень небезпеки виробничого обладнання або робочого місця, пов'язані з конструктивними недоліками змішувальних установок, дозаторів, ємностей для зберігання компонентів та пристроїв для нанесення клейової композиції;

- фактори, що призводять до помилок працівників у процесі роботи – зокрема, недостатній рівень кваліфікації, недотримання технології приготування суміші, порушення правил роботи з хімічними речовинами (рідким натрієвим склом, епоксидними смолами) та недостатні знання з питань охорони праці;

- обставини, що створюють ризик потрапляння працівників у небезпечну зону, в тому числі при роботі з обертовими елементами змішувального обладнання, при контакті з агресивними компонентами суміші або в умовах недостатньої вентиляції та контролю за дотриманням вимог безпеки.

У процесі роботи з клейовими сумішами можливе виникнення травм різного характеру [27]. Будь-яке порушення цілісності організму або його функцій під впливом небезпечного фактору (хімічного, механічного чи термічного) визначається як травма. Зокрема, при роботі з рідким натрієвим склом можливі хімічні опіки, при контакті з обладнанням – механічні ушкодження, а при термічному затвердінні суміші – термічні опіки.

Якщо травмування працівників стало наслідком несправності змішувального чи допоміжного обладнання, такий випадок слід розглядати як подію, спричинену аварійною ситуацією. Це особливо актуально для виробничих процесів, де взаємодіють людина та технічні засоби під час приготування та нанесення клейових композицій.

У разі виходу з ладу обладнання (змішувачів, систем вентиляції, дозувальних пристроїв) або його окремих елементів, що призводить до зупинки технологічного процесу, розливу клейових сумішей чи викиду пилу та парів у робочу зону, таке явище визначається як аварія та може супроводжуватися

матеріальними втратами та загрозою для здоров'я працівників.

Оскільки в системі «людина – технологічне обладнання» механізми виникнення травм та аварій мають спільні риси, ці процеси доцільно розглядати комплексно з урахуванням усіх факторів ризику при роботі з клейовими матеріалами.

Розроблення на підприємстві планів запобігання, локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, у тому числі пов'язаних із витокком компонентів клейових сумішей або їх займанням (у разі використання полімерних складових), а також регулярне проведення інструктажів та навчань персоналу дає змогу уникнути надзвичайних ситуацій або мінімізувати їх наслідки.

5.3 Оцінка економічної ефективності впровадження проектних рішень

Економічну ефективність відновлення системи вихлопу газів із застосуванням клейових матеріалів визначали як різницю витрат за одиницю продукції в базовому та проектному варіантах. Передбачається, що в базовому варіанті при виникненні прориву відпрацьованих газів у з'єднанні між випускним колектором і приймальною трубою глушника несправності усували заміною приймальної труби на нову (цей спосіб є найпоширенішим, від зварювання глушника ремонтні підприємства давно відмовилися через економічну недоцільність).

Для розрахунку економічної ефективності використовували дані під час ремонту глушника автомобіля КамАЗ-5511.

Розрахунок витрат за одиницю продукції у базовому варіанті.

Собівартість заміни глушника [28]:

$$C_{c.mex} = 3П + М + НВ, \quad (5.1)$$

де 3П – заробітна плата робітників, грн.;

М – витрати на матеріали, що використовуються при заміні глушника, грн.;

НВ – накладні витрати, грн.

Заробітна плата робітників механічної ділянки:

$$ЗП_{\text{мех}} = ЗП_{\text{о.мех}} + ЗП_{\text{д.мех}}, \quad (5.2)$$

де $ЗП_{\text{о.мех}}$ – основна заробітна плата, грн.;

$ЗП_{\text{д.мех}}$ – додаткова заробітна плата, грн.

Основна заробітна плата:

$$ЗП_{\text{о.мех}} = T \cdot C \cdot K, \quad (5.3)$$

де T – трюдомісткість робіт, люд/год, $T = 0,35$ год;

C – середньогодинна тарифна ставка, грн/год, $C = 170$ грн/год;

K – коефіцієнт, що враховує доплату за понаднормові та інші роботи, $K = 1,3$.

Тоді:

$$ЗП_{\text{о.мех}} = 0,35 \cdot 170 \cdot 1,3 = 77,35 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата робітників:

$$ЗП_{\text{д.мех}} = ЗП_{\text{о.мех}} \cdot K_{\text{дод}}, \quad (5.4)$$

де $K_{\text{дод}}$ – коефіцієнт, що враховує доплату за додаткові роботи.

Тоді:

$$ЗП_{\text{д.мех}} = 77,35 \cdot 0,45 = 34,81 \text{ грн.}$$

Заробітна плата на заміну одного глушника:

$$ЗП_{\text{мех}} = 77,35 + 34,81 = 112,16 \text{ грн.}$$

Вартість приймальної труби глушника дорівнює 1200 грн., накладні витрати становлять 75% всіх наявних витрат, тобто:

$$НВ = (ЗП + М) \cdot 0,75 = (112,16 + 1200) \cdot 0,75 = 984,12 \text{ грн}$$

Собівартість заміни приймальної труби становитиме:

$$C_{\text{с.мех}} = 112,16 + 1200 + 984,12 = 2296,28 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат за одиницю продукції проектному варіанті.

Собівартість ремонту:

$$C_{\text{в.пол}} = ЗП_{\text{пол}} + М + НВ, \quad (5.5)$$

де $ЗП_{\text{пол}}$ – заробітна плата робітників, які проводять роботи з полімерного відновлення приймальної труби глушника, грн.;

$М$ – витрати на матеріали при відновленні клейовими матеріалами, грн.;

НВ – накладні витрати, грн.

Заробітна плата робітників:

$$ЗП_{\text{пол}} = ЗП_{\text{о.пол}} + ЗП_{\text{д.пол}}, \quad (5.6)$$

де $ЗП_{\text{о.пол}} = T_{\text{пол}} \cdot C_{\text{пол}} \cdot K$ – основна заробітна плата, грн.;

$ЗП_{\text{д.пол}} = ЗП_{\text{о.пол}} \cdot K_{\text{доп}}$ – додаткова заробітна плата, грн.

Трудомісткість полімерних робіт складається з підготовки поверхні дефекту глушника – 5 хв, усунення дефекту клейовими матеріалами – 5 хв, тобто:

$$T_{\text{пол}} = 5 + 5 = 10 \text{ хв} \sim 0,16 \text{ год.}$$

Призначення показників $C_{\text{пол}}$, K і $K_{\text{доп}}$ аналогічно попередньому варіанту.

При $C_{\text{пол}} = 170$ грн/год, $K = 1,3$, $K_{\text{доп}} = 0,4$ заробітна плата складе:

основна: $ЗП_{\text{о.пол}} = 170 \cdot 0,16 \cdot 1,3 = 35,36$ грн.;

додаткова: $ЗП_{\text{д.пол}} = 35,36 \cdot 0,4 = 14,14$ грн.;

на відновлення одного глушника: $ЗП_{\text{пол}} = 35,36 + 14,14 = 49,50$ грн.

Витрати на матеріали розраховуємо, виходячи із середньої ціни в магазині 800 грн. за 100 г. У середньому витрата на заклеювання глушника дорівнює 100 г, тобто матеріальні витрати становитимуть 800 грн.

Накладні витрати становлять 75% від усіх наявних витрат:

$$НВ = (800 + 45) \cdot 0,75 = 633,75 \text{ грн.}$$

Собівартість відновлення одного дефекту із застосуванням клейових матеріалів:

$$C_{\text{в.пол}} = 49,50 + 800 + 633,75 = 1483,25 \text{ грн.}$$

Отримані розрахунки підтверджують економічну ефективність виконаної роботи, а впровадження розробленої клейової суміші дасть ремонтному підприємству економічний ефект від відновлення 100 приймальних труб глушника на КамАЗ-5511 в розмірі 81303 гривні.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що використання формуючих клейових сумішей у багатьох випадках дозволяє не тільки адекватно замінити зварювання, наплавлення, паяння, а й відновити працездатність деталей, ремонт яких традиційними способами неможливий або утруднений. Термостійкі клейові суміші підвищують ефективність технічного обслуговування в агропромисловому комплексі.

2. Встановлено, що на основі вітчизняних компонентів можна розробити конкурентоспроможні формуючі клейові суміші для відновлення працездатності вузлів та деталей машин та обладнання, що працюють за підвищених температур.

3. Дослідження властивостей і характеристик сполучних клейових сумішей дозволили встановити, що для формуючих термостійких клейових сумішей як сполучного доцільно використовувати натрієве та калієве рідке скло.

4. Встановлено, що експлуатаційні властивості формуючих клейових сумішей на основі рідкого скла підвищуються за рахунок наповнювачів у вигляді порошоків металів та мінералів. За результатами експериментальних досліджень виявлено, що найбільш ефективним наповнювачем, що підвищує руйнівні дотичні напруження в 3 рази, є порошок карбонильного заліза при концентрації 50...60%.

5. Експериментальні дослідження мінерального наповнювача глинозему, показали, що при концентрації 15% глинозем не тільки підвищує тиксотропність клейової суміші, а й збільшує руйнівні дотичні напруження з 0,2 до 1,35 МПа.

6. Встановлено оптимальну концентрацію компонентів формуючої клейової суміші на основі калієвого рідкого скла: калієве рідке скло – 19%, порошок карбонильного заліза – 52%, глинозем – 15%, графіт – 9%, епоксидна смола – 5%. На основі рідкого натрієвого скла: рідке натрієве скло – 20 %, порошок карбонильного заліза – 55 %, глинозем – 12 %, графіт – 8 %, епоксидна смола – 5 %.

7. Проведені випробування показали, що експлуатаційні показники розробленого формоутворюючої клейової суміші на основі рідкого натрієвого скла відповідають рівню імпорتنих аналогів, а на основі калієвого рідкого скла перевершують їх.

8. Розроблена програма масового впровадження результатів наукових досліджень дозволить використовувати розроблені клейові суміші ремонтними підприємствами, а також іншими користувачами. Економічний ефект від відновлення 100 приймальних труб глушника на КамАЗ-5511 складе 81303 гривні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пашенко В.Ф., Корнієнко С.І., Храмов Н.С. Машина для поверхневого обробітку ґрунту. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2016. № 173. С. 75-82.
2. Сідашенко О.І., Науменко О.А. Ремонт машин та обладнання агропромислового виробництва. Київ: Ліра-К, 2018. 544 с.
3. Шмат К.І. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин. Київ: Кондор, 2009. 308 с.
4. Труханська О.О. Перспективні напрямки технології відновлення деталей машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 3 (98). С. 104-110.
5. Молдаван Л.В., Крисанов Д.Ф., Удова Л.О. Роль кооперативів у подоланні сільської бідності. *Економіка АПК*. 2010. № 11. С. 121-129.
6. Щербата І.В., Прокопишин О.С. Технічне забезпечення фермерських господарств Львівщини та напрямки його відтворення. *Наука й економіка*. 2009. № 4 (16), Т. 2. С. 49-54.
7. Ахматова О.В. Композиційні матеріали на основі модифікованого епоксидного олігомеру та нанонаповнювачів: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.17.06. Київ, 2011. 18 с.
8. Пархоменко Г.М., Риженко В.М. Теорія та конструкція автомобілів. Київ: НАУ, 2015. 380 с.
9. Лахно А.В., Рілякін Є.Г. Відновлення деталей машин із полімерних матеріалів. *Молодий учений*. 2014. №8. С.196-199.
10. Івченко Д.І. Відновлення корпусних деталей анаеробними полімерними композиціями: На прикладі картерів коробок передач автомобілів сімейства ГАЗ: дис.... канд. техн. наук: 05.20.03. Київ, 2001. 198 с.
11. Горбенко О.В., Чумак М.В. Використання полімерних матеріалів при відновленні деталей машин. *Збірник наукових праць ПДАА*. Полтава, 2017. С. 229-230.
12. Гаджієв А.А. Технологічне забезпечення довговічності підшипникових

вузлів машин застосуванням полімерних матеріалів: автореф. дис... докт. техн. наук. Київ. 2005. 35 с.

13. Чорновіл К.І. Технологічні засади відновлення деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями: автореф. дис... докт. техн. наук. Київ. 1992. 35 с.

14. Черкашина Г.М., Авраменко В.Л., Підгорна Л.П., Близнюк О.В. Технологія виробництва синтетичних і природних клеїв та герметиків: лаб. практикум. Харків: НТУ «ХП», 2020. 320 с.

15. Brent Strong A., Scott W. Beckwith Joining composite materials-mechanical or adhesive. *Composites Fabrication*. 1999. No. 6. P. 59-73.

16. Sambayi P.M.K., Heyns P.S. Effects of multiple post cure cycles on properties of composite carbon fibre and epoxy materials. *Journal of Composite Materials*. 2023. Vol. 57(15). P. 2467-2481.

17. Bourchak M., Khan A., Juhany A. Effect of preheating and postcuring time on the mechanical properties of epoxy resin. *Advanced Composites Letters*. 2013. Vol. 22(5). P. 95-99.

18. Коржавін Ю.А., Коробочка О.М. Ресурсозберігаючі технології технічного обслуговування та ремонту автомобілів. Навч. посібник. 2009. 182 с.

19. Xia H., Li J., Wang K. Superior wear resistance of epoxy composite with highly dispersed graphene spheres. *Advanced Composites and Hybrid Materials*. 2022. Vol. 5. P. 173-183.

20. Фандєєв О., Полоз О. Оптимізація температурно-часових режимів пост-отвердження зносостійких епоксидних композицій. *Технічні науки та технології*. 2024. № 2(36). С. 204-214.

21. Цівін М.Н. Багатофакторний експеримент: графічна інтерпретація даних. Київ: ІГіМ, 2002. 120 с.

22. Лазарев Ю. Моделювання процесів та систем у Matlab: навчальний курс. Київ: Видавнича група ВНУ, 2005. 512 с.

23. Говорущенко Н.Я. Автомобілі: конструкція, технічне обслуговування і ремонт. Харків: Основа, 2012. 456 с.

24. Закон України «Про екологічну експертизу»: за станом на 9 лютого 1995р. Верховна Рада України. Офіц. вид. Київ: Парлам. вид-во, 1995. 36 с.

25. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ: Мінрегіон України, 2013.

26. Закон України Про охорону праці. Київ: Відомості Верховної Ради України, чинна редакція.

27. Геврик Є.О., Сомар Г.В., Пешко Н.П. Техніка безпеки. Київ: Ельга, 2006. 316 с.

28. Шваб Л.І. Економіка підприємства. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Каравела. 2004, 568 с.