

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти Магістра
Бакалавра (Магістра)

Підвищення довговічності деталей будівельно- дорожніх машин технологічними методами

Назва теми

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 132 Матеріалознавство
Шифр і назва спеціальності

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів
Назва

Шифр КРМ МТВА 25 24334. 000 ПЗ

Виконав студент(ка) 2-го курсу
група МТВАм 24-1
Шифр


Підпис

Владислав ПРЯДКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н, доцент
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер доцент кафедри ТАМ
Посада


Підпис

Олег МАКОВКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 5. 12 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Духа О.В.

10 жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Прядко Владиславу Валерійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Підвищення довговічності деталей будівельно-дорожніх машин технологічними методами».

сервісник роботи Бабак Олег Петрович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25 серпня 2025 р. № 65 (Д28)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 1 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

1. Стан питання. Мета та завдання дослідження; 2. Загальні теоретичні дослідження; 3. Розробка моделі прогнозування довговічності робочих органів будівельно-дорожніх машин; 4. Розробка методу поверхневого зміцнення; 5. Прогнозування надійності робочого обладнання і оцінка ефективності отриманих результатів

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

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на пайдах

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 29 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітки
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2025</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10. 2025</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11. 2025</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11. 2025</i>	
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	<i>1.12. 2025</i>	
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	<i>5.12. 2025</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>5.12. 2025</i>	

Студент


Підпис

Керівник роботи


Підпис

В.В.Прядко
Ініціали, прізвище

О.П. Бабак
Ініціали, прізвище

Випуск
Прядком Влад
технологічним
Підвищ
наукових пол
забезпечення
Об'єкт
розглядаються
враховуючи в
поверхневого
Предм
обладнання бу
виникають зав
Робоча
дослідження п
органів будіве
Науков
- запр
дорожніх маш
поверхневими
забезпечити о
- ство
існуючі теор
прогнозувати
Модель дозво
елементів ро
розробляється
грунту.
- бул
зворотний ро
приробітку та
- роз
шар завтовш
довговічність
- резу
обладнання бу
та програмно-
час обробки р
Метод
комплексі теор
імітаційне мо
збіжності резу
включають ма
експерименти
Кваліфі
використову

Ключові сл
ЗМІЩЕННЯ

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційну роботу (магістерську роботу) виконано студентом гр. МТВАм 24-1 Прядком Владиславом на тему: «Підвищення довговічності деталей будівельно-дорожніх машин технологічними методами».

Підвищення довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин за допомогою наукових положень, нових методів прогнозування граничного стану та технологічних методів забезпечення необхідних параметрів якості поверхневого шару.

Об'єкт дослідження. Робоче обладнання будівельно-дорожніх машин і їх приводи розглядаються з точки зору довговічності як під час виготовлення, так і під час ремонту, враховуючи властивості середовища, параметри режиму, діючі зусилля та параметри якості поверхневого шару.

Предмет дослідження. Закономірності, які характеризують довговічність робочого обладнання будівельно-дорожніх машин у процесі експлуатації та впливу технологічних змін, які виникають завдяки впровадженню нових технологій, методів і засобів.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що використання методу поверхневого зміцнення, дослідження параметрів шорсткості та їх забезпечення дозволить підвищити довговічність робочих органів будівельно-дорожніх машин.

Наукову новизну дослідження представляють:

- запропонована ідея вирішення проблеми довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин шляхом використання нового технологічного підходу, який дозволяє керувати поверхневими шарами деталей, що контактують, з параметрами якості поверхневого шару, щоб забезпечити оптимальні експлуатаційні властивості;

- створена модель динаміки затуплення ріжучих елементів робочих органів, яка доповнює існуючі теорії математичного моделювання процесу розробки ґрунту та дає можливість прогнозувати настання граничного стану робочих органів будівельно-дорожніх машин (БДМ). Модель дозволяє до 1,5 разів точніше визначати гамма-відсоткові значення для зносостійких елементів робочих органів з поверхневим зміцненням в залежності від виду ґрунту, що розробляється, фізико-механічних властивостей матеріалу робочих органів і режимів розробки ґрунту.

- було показано, що шарніри робочого обладнання БДМ зі зміцненим шаром, які мають зворотний розподіл твердості, можуть підвищити довговічність до 40% за рахунок скорочення приробітку та збільшення періоду нормального зносу;

- розроблений новий метод поверхневого зміцнення, який дозволяє отримувати зміцнений шар завтовшки до 3 мм із зворотним розподілом мікротвердості, що дає змогу підвищити довговічність робочих органів будівельно-дорожніх машин;

- результати досліджень щодо текстури профілю шорсткості поверхонь шарнірів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин із зміцненим шаром, а також розробка структурної схеми та програмно-апаратного комплексу, що реалізує пристрій контролю зношування інструменту під час обробки різання


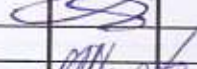

Методологія та методи дослідження. Загальна концепція дослідження базується на комплексі теоретичних та експериментальних методів, які включають математичне, комп'ютерне, імітаційне моделювання та теорії забезпечення довговічності будівельно-дорожніх машин; оцінка збіжності результатів теоретичних і експериментальних досліджень; і методології дослідження, які включають математичну статистику, методи розрахунку на знос і методи визначення напрацювань. експерименти в природному середовищі, оцінка економічної ефективності

Кваліфікаційна робота містить 88 сторінок машинописного тексту, а також список використаних джерел із 28 найменувань, вступ, п'ять розділів та висновок.

Ключові слова: БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІ МАШИНИ, ВИДУ ГРУНТУ, ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІЦНЕННЯ, ШАРНІРИ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Проблема забезпечення довговічності та надійності будівельно-дорожніх машин та їх робочого обладнання.....	11
1.2 Оцінка довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.....	17.
1.3 Забезпечення та підвищення довговічності частин, що швидко зношуються, робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.....	21
1.4 Забезпечення та підвищення довговічності силових приводів та шарнірів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.....	32
2. ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	39
2.1 Концепція підвищення надійності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.....	39
2.2 Методологічні засади підвищення довговічності деталей робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.....	40
3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН.....	44
3.1 Аналіз факторів, що впливають на довговічність робочих органів будівельно-дорожніх машин.....	44
4. РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ.....	52
4.1 Теоретичні дослідження щодо визначення умов термічної обробки деталей з дифузійним шаром.....	52
4.1.1 Робоча гіпотеза щодо умов термічної обробки після термодифузійного легування деталей із сірого чавуну.....	52

KPM МТВА 25.24334.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
		Прядко		
		Бабак		
		Реценз.		
		Н. Контр.	Маковкін	
		Затверд.		
			Підвищення довговічності будівельно-дорожніх машин технологічними методами	
			Літ.	Арк.
			4	88
ХНУ група МТВАм 24-1				

4.1.2 Вибір середовища нагрівання для загартування деталей.....	54
4.1.3 Визначення часу нагріву під загартування.....	55
4.2 Експериментальні дослідження властивостей зміцненого шару деталей будівельно-дорожніх машин.....	56
4.2.1 Методика експериментальних досліджень.....	56
4.2.2 Матеріали, обладнання та методи дослідження.....	57
4.2.3 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз.....	61
4.2.4 Експериментальні дослідження міцності матеріалу деталі, що ремонтується після зміцнення.....	67
4.3 Експериментальне дослідження довговічності робочих органів будівельно- дорожніх машин із зміцненим шаром.....	70
5. ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	73
5.1 Випробовування накладок на робочі органи будівельно-дорожніх машин після зміцнення.....	73
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
ДОДАТКИ.....	88

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У першу чергу ефективність експлуатації будівельно-дорожніх машин залежить від рівня надійності, закладеної при проектуванні, забезпеченої під час виготовлення, виявленої та підтримки під час експлуатації. Надійність визначається як здатність виробу зберігати значення всіх параметрів у часі в певних межах. Ці параметри характеризують здатність виконувати необхідні функції в певних умовах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання та транспортування. Таким чином, багато показників ефективності роботи машин, механізмів і технологічного обладнання значною мірою впливають на параметри якості виконавчих поверхонь деталей, а також на конструкцію машин, якість їх складання та режим експлуатації, серед інших факторів. Більшість машин виходять з ладу через знос деталей у 85–90% випадків. Національні витрати на ремонт транспортних засобів становлять десятки мільярдів гривень щорічно.

Несприятливі умови для компонентів робочих органів, які безпосередньо взаємодіють із робочим середовищем, визначають процес розробки ґрунту будівельно-дорожніми машинами. Розробка техногенних ґрунтів (зокрема відвалів металургійних комбінатів) викликала проблему підвищеного абразивного зносу робочих органів, проблема, яка не виявлялася при розробці природних ґрунтів. Таким чином, традиційні теорії копання не враховують абразивну дію ґрунту повністю. Це особливо стосується прогнозування надійності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.

Зусилля при затупленні кромки можуть досягати 180-200%. У відомих теоріях Ю.А. Ветрова, К.А. Артем'єва та ін. вплив зносу на силу копання оцінюється за допомогою відповідних поправочних коефіцієнтів, таких як коефіцієнт затуплення, відносне притуплення леза та інші. Визначено межі зносу майданчика та радіусу, коли процес розробки ґрунту стає неефективним. Тим не менш, дані теорії не враховують фізико-механічних властивостей матеріалу

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ріжучих органів і динаміку зношування ріжучої кромки. Отже, вони не можуть прогнозувати напрацювання, яке відповідатиме настанню зазначеного вище граничного стану, що робить планування ремонтних заходів менш ефективним.

У цій практиці використовується широкий спектр методів ремонту та відновлення шарнірів робочого обладнання. Реальний рівень відновлення споживчих якостей, який оцінюється, зокрема, показниками надійності, становить лише 40–50%, на відміну від нормативного значення 80% згідно з ДСТУ 22581-77. Порівняно невелика кількість деталей, що відновлюються, може бути пов'язана з тим, що технології та обладнання, використовувані в ремонтному виробництві, не забезпечують необхідних характеристик якості поверхневого шару, таких як мікротвердість, товщина зміцненого шару та шорсткість. Крім того, традиційні методи зміцнення створюють шар із зниженням товщини мікротвердості. Такі обставини мають несприятливий характер зміни інтенсивності відмов, оскільки вони збільшують час опрацювання та зменшують час нормальної роботи вузла.

Таким чином, підвищення післяремонтної надійності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин є реальною народногосподарською проблемою.

Розробки вітчизняних і зарубіжних вчених, таких як К.П. Чудакова, А.С. Денисова, Д.П. Великанова, Ю.К. Беляєва, Р. Барлоу, Просчан, Д. Khan, U. Mikker та ін., зробили значний внесок у розвиток питань забезпечення надійності машин на різних стадіях їх життєвого циклу. Параметри якості робочих поверхонь деталей мають значний вплив на експлуатаційні властивості машин і вузлів, згідно з дослідженням, проведеним науковими групами державного авіаційного технічного університету та зарубіжними вченими W. Rau, E. Scherf, JZ Zhang, JC Chen та ін [10, 16].

Наукові школи автомобільно-дорожнього технічного університету, а також інші займалися питаннями покращення конструкцій і експлуатації будівельно-дорожніх машин. Багато авторів, включаючи С.В. Репіна, Ю.І. Густова та В.А. Зоріна, докладали зусиль для вирішення проблем у цьому напрямі [9,17].

Мета дослідження. Підвищення довговічності робочого обладнання

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

будівельно-дорожніх машин за допомогою наукових положень, нових методів прогнозування граничного стану та технологічних методів забезпечення необхідних параметрів якості поверхневого шару.

Об'єкт дослідження. Робоче обладнання будівельно-дорожніх машин і їх приводи розглядаються з точки зору довговічності як під час виготовлення, так і під час ремонту, враховуючи властивості середовища, параметри режиму, діючі зусилля та параметри якості поверхневого шару.

Предмет дослідження. Закономірності, які характеризують довговічність робочого обладнання будівельно-дорожніх машин у процесі експлуатації та впливу технологічних змін, які виникають завдяки впровадженню нових технологій, методів і засобів.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що використання методу поверхневого зміцнення, дослідження параметрів шорсткості та їх забезпечення дозволить підвищити довговічність робочих органів будівельно-дорожніх машин.

Наукову новизну дослідження представляють:

- запропонована ідея вирішення проблеми довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин шляхом використання нового технологічного підходу, який дозволяє керувати поверхневими шарами деталей, що контактують, з параметрами якості поверхневого шару, щоб забезпечити оптимальні експлуатаційні властивості;

- створена модель динаміки затуплення ріжучих елементів робочих органів, яка доповнює існуючі теорії математичного моделювання процесу розробки ґрунту та дає можливість прогнозувати настання граничного стану робочих органів будівельно-дорожніх машин (БДМ). Модель дозволяє до 1,5 разів точніше визначати гамма-відсоткові значення для зносостійких елементів робочих органів з поверхневим зміцненням в залежності від виду ґрунту, що розробляється, фізико-механічних властивостей матеріалу робочих органів і режимів розробки ґрунту.

- було показано, що шарніри робочого обладнання БДМ зі зміцненим шаром, які мають зворотний розподіл твердості, можуть підвищити довговічність

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

до 40% за рахунок скорочення приробітку та збільшення періоду нормального зносу;

- розроблений новий метод поверхневого зміцнення, який дозволяє отримувати зміцнений шар завтовшки до 3 мм із зворотним розподілом мікротвердості, що дає змогу підвищити довговічність робочих органів будівельно-дорожніх машин;

- результати досліджень щодо текстури профілю шорсткості поверхонь шарнірів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин із зміцненим шаром, а також розробка структурної схеми та програмно-апаратного комплексу, що реалізує пристрій контролю зношування інструменту під час обробки різання

Теоретична та практична значущість дослідження. Розроблений метод зміцнення вносить значний внесок у нові наукові результати, які реалізуються через широкий спектр теоретичних і методологічних положень. Ці результати включають пропозиції щодо підвищення довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин, математичні моделі, алгоритми та програмне забезпечення для визначення показників довговічності та впливу характеру розподілу мікротвердості.

Розроблена технологія виготовлення зносостійких елементів із сірого чавуну може підвищити довговічність швидко зношуються деталей будівельно-дорожніх машин, одночасно знижуючи витрати на 20–30 відсотків.

За рахунок зворотного характеру розподілу мікротвердості в зміцненому шарі процес виготовлення та ремонту шарнірів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин стає ефективнішим. Після обробки деталі, яка потребує ремонту, не потрібно повторно зміцнювати шарнір. Результати дослідження можуть бути використані при виготовленні та ремонті швидко зношуються частин робочих органів і сполучних елементів робочого обладнання.

Методологія та методи дослідження. Загальна концепція дослідження базується на комплексі теоретичних та експериментальних методів, які включають математичне, комп'ютерне, імітаційне моделювання та теорії забезпечення

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

довговічності будівельно-дорожніх машин; оцінка збіжності результатів теоретичних і експериментальних досліджень; і методології дослідження, які включають математичну статистику, методи розрахунку на знос і методи визначення напрацювань. експерименти в природному середовищі, оцінка економічної ефективності

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Проблема забезпечення довговічності та надійності будівельно-дорожніх машин та їх робочого обладнання

Надійність є однією з основних вимог до машин. Багато сфер економіки стикаються з проблемою надійності. Наприклад, ресурс напрацювання на відмову приблизно половини вітчизняних тракторів дуже низький [20,21]. Це означає, що двадцять-тридцять відсотків часу техніка простоє з технічних причин. Підвищення напрацювання на відмову до ремонту для тракторів і обладнання до 8-10 тис. мото-год, а середнє напрацювання на складну відмову до 500-600 мото-год.

Надійність виробу закладається при проектуванні, гарантується під час виготовлення, демонструється та підтримується під час експлуатації. Розробки вітчизняних і зарубіжних вчених, таких як К.П. Чудакова, А.С. Денісова, Д.П. Великанова та Ю.К. Беляєва, зробили значний внесок у вирішення проблем забезпечення надійності машин на різних стадіях їх життєвого циклу [1,2,5,9]. Вчені сходяться на думці, що технічний стан елементів машин змінюється під час роботи, що зрештою призводить до відмов. Деякі дані щодо причин відмови містяться в таблиці 1.1 [21,22].

Таблиця 1.1 - Деякі дані з причин відмов машин

Причини відмов у відсотках	За даними різних досліджень			
	40	50	49.4	46.0
Зношування	40	50	49.4	46.0
Пластична деформація	26	35	17.5	1.1
Втомлива руйнація	18	35	15.5	13.4
Теплова руйнація	12	15	14.1	13.5
Корозія	-	15	0.3	3.8
Інше	4	-	3.2	23.2

Зношення є основною причиною відмов, як показано в таблиці 1.1. Причому

дослідники відзначають, що тоді як пластична деформація або руйнування втоми найчастіше пов'язані з або конструкторськими помилками, або неправильними умовами експлуатації машини, зношування є причиною закономірних відмов.

Враховуючи вище зазначену ситуацію, необхідно вжити заходів, щоб забезпечити працездатність машини. Співвідношення витрат на підтримку працездатності до вартості машини представлено в Таблиці 1.2 [21].

Таблиця 1.2 Відношення витрат на підтримку працездатності та вартості машини за термін служби

Машини	Відношення, %
Автомобілі	600-800
Трактори	500-650
Металорізальні верстати	800-1500
Літаки	500-600
Будівельні та дорожні машини	700-850

Таблиця 1.2 показує, що співвідношення між будівельно-дорожніми машинами дуже значне. Крім того, загальне старіння парку техніки посилює проблему [117]. Деякі статистичні дані наведено на рис. 1.1–1.3.

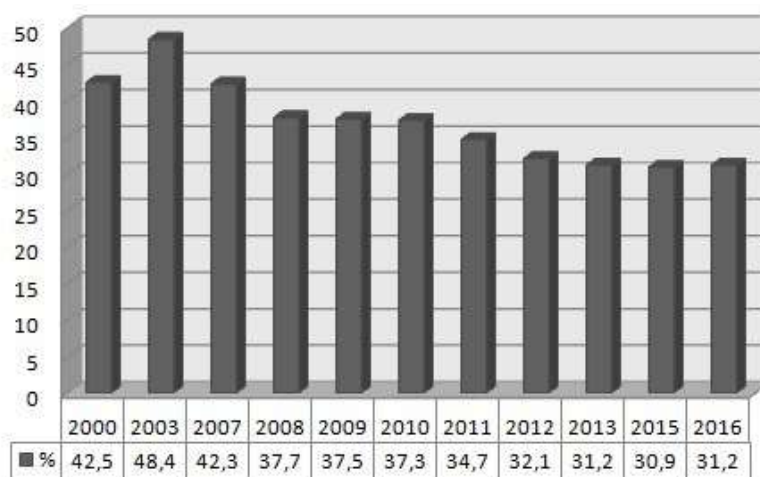


Рисунок 1.1 – Частка екскаваторів одноковшових зі строком експлуатації, що закінчився.

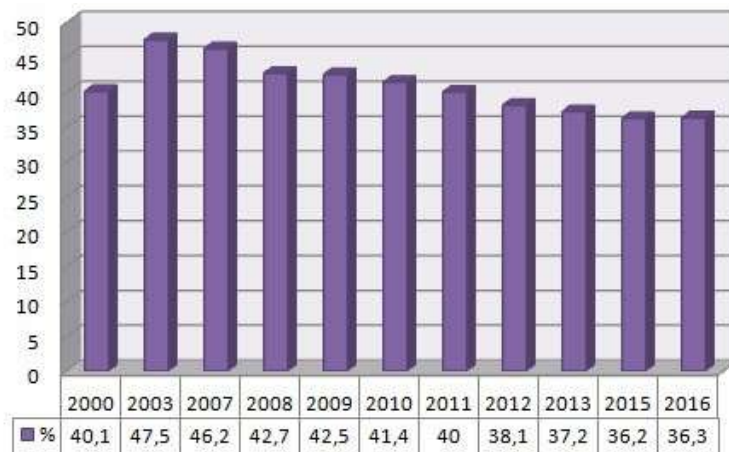


Рисунок 1.2 – Частка бульдозерів на тракторах із терміном експлуатації.

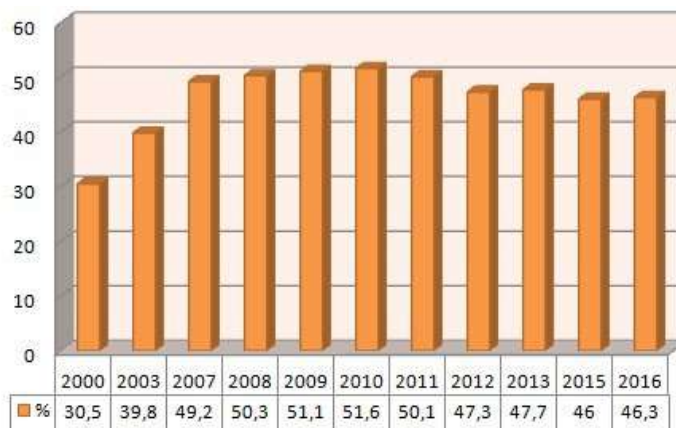


Рисунок 1.3 – Частка автогрейдерів з терміном експлуатації.

Згідно з даними, можна зробити висновок, що частка машин із терміном експлуатації зменшилася незначно. Однак основною причиною цього є не оновлення парку машин, а скорочення кількості одиниць. На рис. 1.4–1.6 показано інформацію про кількість будівельно-дорожніх машин, які зараз працюють [117].

змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

КРММТВА 2524334. 000 ПЗ

Арк.

13

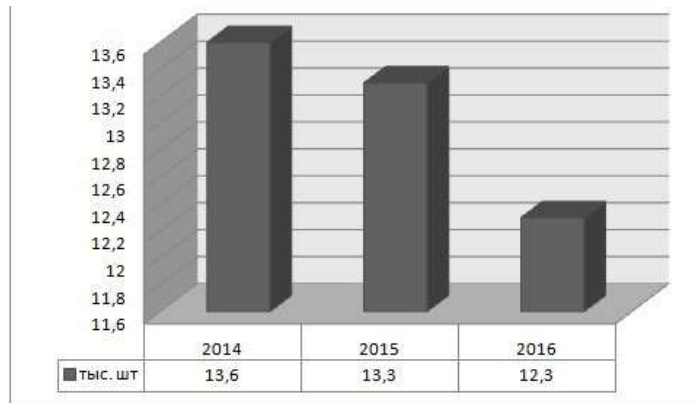


Рисунок 1.4 – Кількість екскаваторів одноковшових, що знаходяться в експлуатації

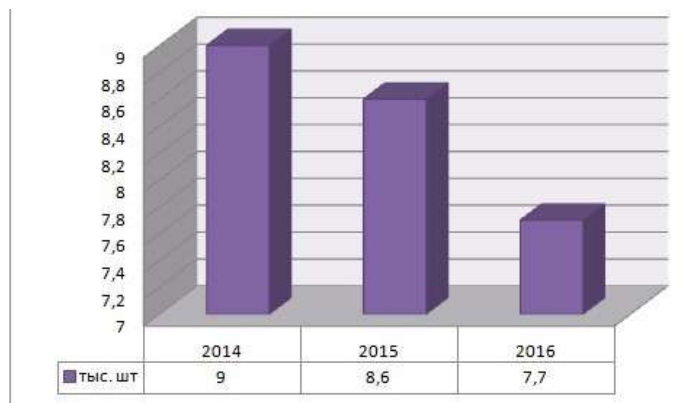


Рисунок 1.5 - Кількість бульдозерів на тракторах, що знаходяться в експлуатації

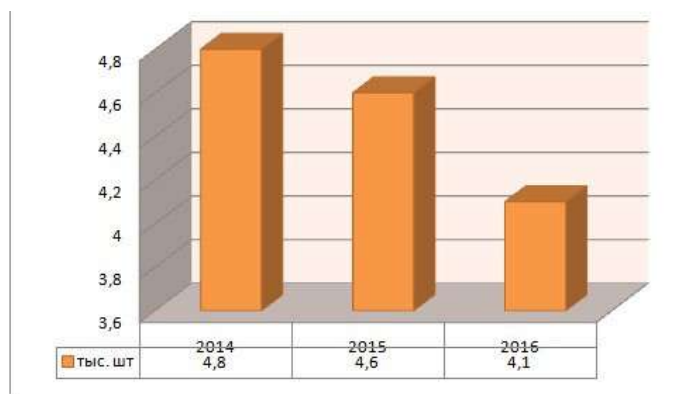


Рисунок 1.6 – Кількість автогрейдерів, що перебувають у експлуатації

змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

КРММТВА 2524334. 000 ПЗ

Арк.

14

Зменшення обсягів виробництва машин, різке зростання їхніх витрат і збільшення частки застарілої техніки є одними з основних причин зниження кількості вживаної техніки.

У даний час ступінь відновлення парку транспортних засобів становить лише 1,5–2%, тоді як стандартний показник становить 8-9%.

Крім того, техніка, виготовлена в інших країнах, постійно збільшується, збільшившись на близько 25% за останні п'ять років [117]. Такий відсоток іноземної техніки значно впливає на економічну ефективність підприємств галузі через девальвацію гривні.

Надійність є складною характеристикою, і для її досягнення потрібно враховувати багато факторів на всіх стадіях життєвого циклу машини. Таким чином, серед різноманітних факторів, що впливають на створення та підтримання надійності, можна відзначити не лише конструктивні, але й технологічні та експлуатаційні елементи. Вплив людського фактору є особливо важливим, оскільки він майже завжди непередбачуваний.

Слід пам'ятати, що як виготовлення нових деталей, так і відновлення старих вимагають значних витрат; деякі експерти прогнозують, що ці витрати можуть досягти 50% загальних витрат на ремонт. Таким чином, вдосконалення методів відновлення та ремонту деталей є важливим завданням.

Машини, які є простими, можуть мати більшу надійність і вузли та агрегати, якщо деталі відновлюються під час ремонту [8].

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

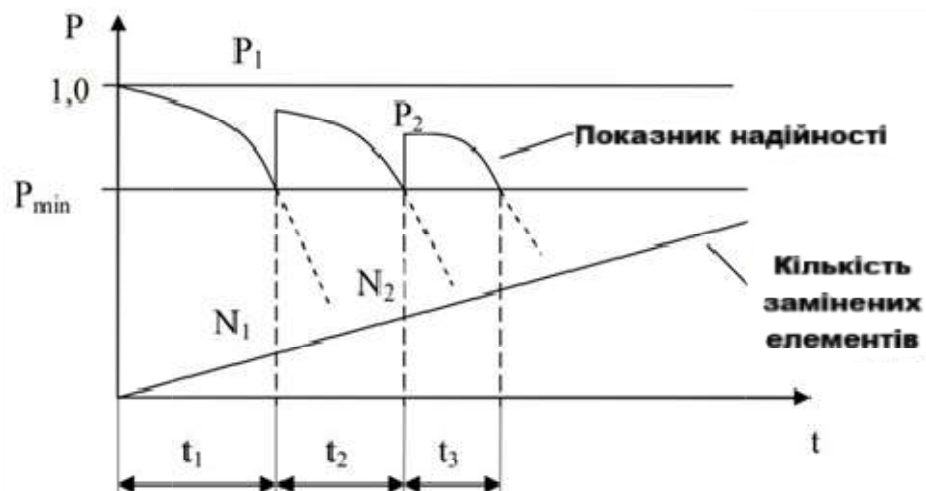


Рисунок 1.8 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи від напрацювання.

P - Ймовірність безвідмовної роботи; P_{min} – мінімально допустимий рівень надійності; N - Число замієваних (відновлюваних об'єктів)

Встановлено, що при величині зношування трохи більше 0,2–0,3 мм близько 85% деталей втрачають працездатність. Таким чином, існує широкий спектр методів ремонту та відновлення. Планова економіка прагнула збільшити частку відновлених деталей. Дані щодо кількості деталей, які були відновлені на ремонтних підприємствах, представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Кількість відновлених деталей на ремонтних підприємствах [117]

Показник	Роки						
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	2018
Економія металу, млн. т	1100	1120	1110	1110	890	890	560
Вміст відновлених деталей, %	17.9	19.0	18.0	17.5	15.6	16.0	8.9

Згідно з таблицею 1.3, на сьогоднішній день частка відновлених деталей і

вузлів значно знизилася — більш ніж у два рази. Крім того, в Сполучених Штатах, Японії та Європі частка відновлених деталей може сягати 30-40% [21,22]. Надійність відновлених там деталей може досягати 80% від рівня деталі, виготовленої на заводі. У нашій країні цей показник часто не перевищує 60%. Висока ефективність ремонту та відновлення в зарубіжних практиках пов'язана з тим, що виробники машин і обладнання створюють дочірні компанії, що спеціалізуються на відновленнях, і самі беруть участь у організації процесу.

Відновлення та ремонт можуть значно заощадити ресурси. За даними, відновлення однієї тонни металевих виробів може заощадити 180 кіловат-години електроенергії, близько 0,8 тонни вапняку та вугілля та 175 кубічних метрів природного газу. Крім того, через меншу кількість технологічних операцій процес відновлення значно менший, ніж виготовлення нових компонентів. Згідно з дослідженнями «Ремдеталь», основними цілями розвитку області є збільшення частки відновлених деталей до 35–40%, досягнення ресурсу 80-85% від нової деталі та досягнення ресурсу відновлених деталей із застосуванням зміцнювальних технологій до 120–150%.

Таким чином, існує значна народногосподарська проблема підвищення надійності будівельно-дорожніх машин за рахунок покращення ремонту та відновлення зношених компонентів і вузлів.

1.2 Оцінка довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин

Оцінка надійності через довговічність є корисною для систем, що відновлюються. Напрацювання виробу протягом терміну служби називається ресурсом. Ресурс оцінює фактичне напрацювання (наприклад, у годинах) без врахування перерв.

Функція Лапласа можна використовувати для оцінки ймовірності безвідмовної роботи, якщо прийнято припущення про лінійну залежність зносу від

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

напрацювання.

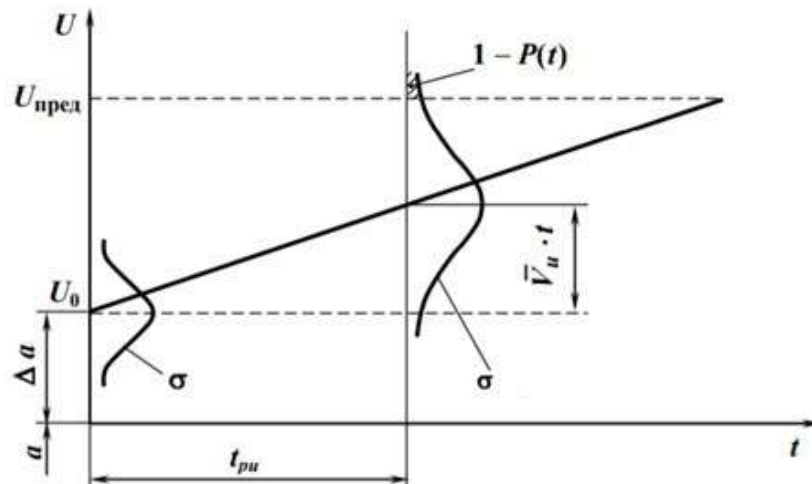


Рисунок 1.9 – Оцінка довговічності при лінійному законі зношування

При цьому зростання величини зношування U призводить до зміни розміру деталі (спряження) a .

На рис. 1.10 наведено дані щодо відмов, що припадають на агрегати машини з гідравлічними силовими приводами [98].

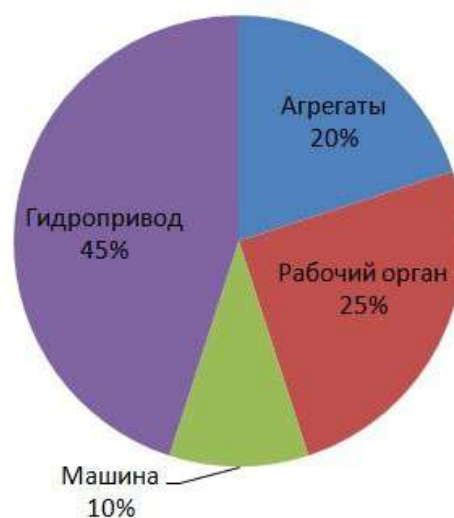


Рисунок 1.10 – Розподіл несправностей

змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

КРММТВА 2524334. 000 ПЗ

Арк.

18

Проблеми робочих органів і гідроприводу мають найбільшу вагу, як показано на рис. 1.10. Дані щодо кількості відмов елементів гідравлічної системи представлені на рис. 1.11 [98].

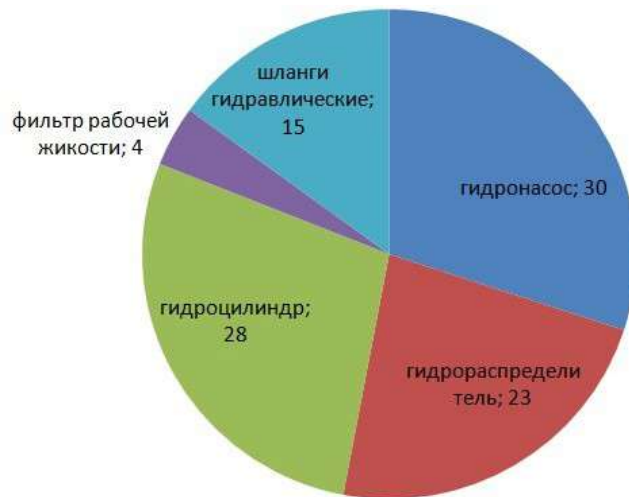


Рисунок 1.11 – Статистика відмов елементів гідравлічної системи

Якщо гідропривід купується, відмови робочих органів машини повинні бути вилучені для подальшого розгляду.

Деталі робочих органів, які контактують з робочим середовищем, слід вибрати як швидкозношувані частини для подальшого розгляду. Знос ріжучої частини призводить до збільшення зусиль опору копання, також відомого як різання, що негативно впливає на роботу силових приводів.

Рис. 1.12 (крива 2) показує характер залежності інтенсивності відмов для деталей робочих органів.

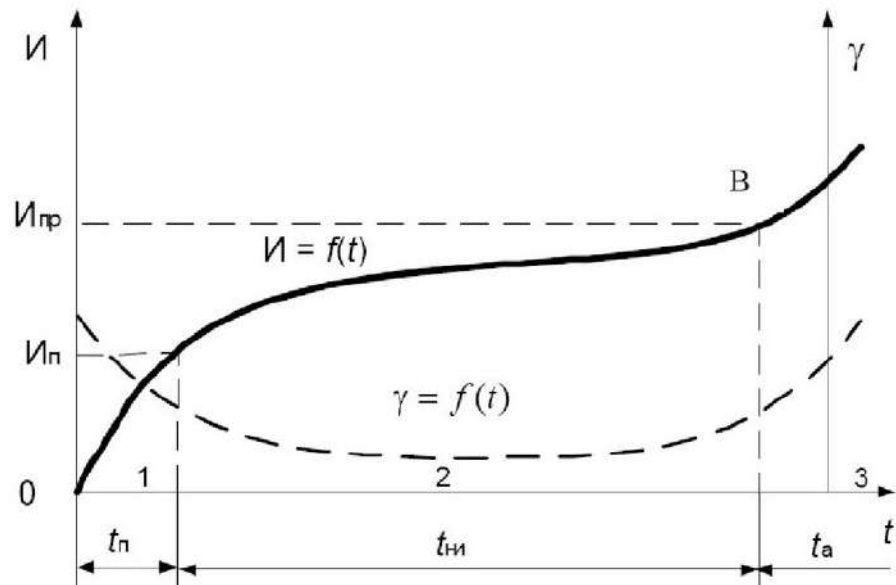


Рисунок 1.12 – Залежність інтенсивності відмов від напрацювання

На рис. 1.12 крива 1 показує зміну розмірів від напрацювання, а крива 2 показує інтенсивність відмови. Знос катастрофічний, нормальний і приробітковий є трьома характерними зонами.

Коли дві деталі з'єднуються, оцінюється як сама величина розміру, так і зазор між ними (див. Рисунок 1.13)..

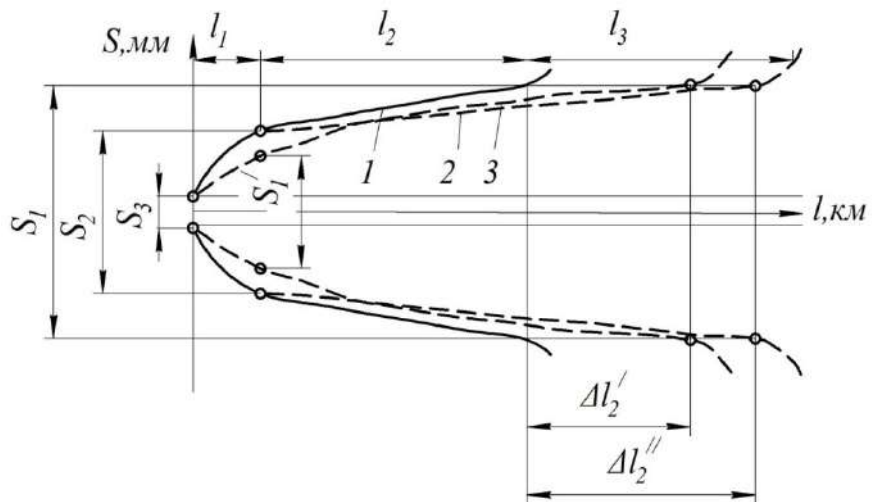


Рисунок 1.13 – Зміна зазору між деталями

У даних випадку також виділяється три зони: перша стосується встановленої швидкості зношування; друга стосується зниження швидкості зношування; і третя стосується зменшення величини зазору після завершення опрацювання.

Зниження твердості по товщині шару є основою традиційних методів підвищення надійності. Це збільшує час опрацювання. Створення зміцненого шару із зворотним розподілом твердості може вирішити цю проблему. Однак у цьому напрямі проводиться недостатньо досліджень.

Зміцнення зі зворотним розподілом твердості зменшує період опрацювання та збільшує період нормального зносу.

1.3 Забезпечення та підвищення довговічності частин, що швидко зношуються, робочого обладнання будівельно-дорожніх машин

Частини робочих органів, гальма, канати, вали та фрикціони, підшипники ковзання та інші частини будівельно-дорожніх машин є швидкозношувальними частинами. Деталі, які працюють в умовах сухого тертя та абразивного зношування, слід виділити з перерахованого вище.

Процес тертя частинок високої твердості, які мають різну форму, розміри, структуру та механічні властивості, а також можуть мати незначну адгезію, є характерним для абразивного зносу. Дослідження процесів зношування, у тому числі абразивного, показали зв'язки між зносостійкістю та різними механічними властивостями матеріалів.

Дані щодо впливу твердості на зносостійкість матеріалів представлені в Таблиці 1.4 [52,126].

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 1.4 - Показує відносну зносостійкість і твердість абразивного полотна різних матеріалів

Матеріал	Твердість, МПа	Відносна зносостійкість , %
Твердий сплав ВК8	19500	80.2
Твердий сплав ВК15	11100	61.8
Сталь 10Х18П9ТЛ	2200	29.2
Чавун СЧ21	1940	20.1
Бронза	1400	13.8

Встановлено, що під час абразивного зношування необхідно забезпечити ідеальне співвідношення між твердістю абразивного середовища та твердістю матеріалу, що зношується. Структура матеріалу та тип термічної обробки також є важливими факторами. Дані щодо впливу термічної обробки на опір зносу наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5: Твердість і відносна зносостійкість металів по абразивному полотну в залежності від термообробки

Матеріал	Стан матеріалу (твердість HRC)	Відносна зносостійкість
Сталь 65Г	Нормалізація	1.1
Сталь 65Г	Загартування + відпустка (35...44)	1.2...1.5
Сталь 65Г	Загартування + відпустка (48...55)	1.7...2.1
Сталь 110Г13Л	220 ... 260НВ	1.5...2.0
Чавун білий	Виливка	2.5...3.5
Сормайт	Наплавний матеріал	5.5...6.5

Як показано в таблиці 1.5, крім безпосередньої твердості інші фактори впливають на опір зношування. Ці фактори включають наявність елементів, які можуть утворювати тверді карбіди, особливо на поверхневих шарах; здатність м'яких фаз утримувати тверді кристалічні структури; і здатність матеріалу зміцнюватися під час процесу тертя.

Традиційні методи зміцнення, такі як загартування, комбінована обробка, променева обробка тощо [19, 86], не можуть досягти зазначених вище цілей. Можна отримати поєднання високої твердості та здатності зміцнюватися під впливом зовнішніх зусиль за допомогою зворотного характеру розподілу твердості.

Характер навантаження та умови роботи вузла також впливають на зносостійкість вузла. У таблиці 1.6 наведено дані щодо ресурсу роботи ріжучих елементів землерийних машин залежно від умов роботи.

Таблиця 1.6 – Деякі дані щодо ресурсу роботи ріжучих елементів землерийних машин

Найменування деталі та марка машини	Матеріали ріжучих елементів	Умови роботи	Термін служби (у мотогодинах)
Зуби ковшів екскаваторів EO-4111	-	-	200...300
Ножі бульдозерів на тракторах Т-100М та Т-100МГП	-	-	200...300
Ножі автогрейдера ДЗ-99-1	Сталь 70Г2 замовлення до 35...40 HRC	Утримання доріг у зимових умовах	70...80
Ножі автогрейдера ДЗ-99-1	Сталь 70Г2	Змішування щебневих матеріалів з в'язучими	100 ... 450
Ножі бульдозера	Ст. 5, наплавлена чавунним електродом	Робота з розпушеним піском	600...2400

Ножі бульдозера	-	Середні ґрунтові умови	200...600
Ножі бульдозера ДЗ-54, ДЗ18	-	Експлуатація в будівельних організацій	500 ... 1900
Ножі бульдозера ДЗ-18Б	Ст. 5, наплавлена чавунним електродом	Розробка скального ґрунту	88
Зуби кирківника	Наплавлення сталевим електродом	-	7...20
Коронки зубів розпушувачів	-	Розробка мерзлого ґрунту	4...60
Коронки зубів розпушувачів	Сталь 27ХДСНД	Розробка скельних та мерзлих ґрунтів	1.6...3.3

Ресурс ріжучих елементів у рази менший, ніж елементів базової машини, як показано в даних таблиці 1.6. Знос різальних елементів також збільшує навантаження на силові приводи будівельно-дорожніх машин, збільшує витрати палива, знижує продуктивність і збільшує витрати на розробку ґрунту.

Чавун широко використовується в конструкціях базових машин і робочих органів будівельно-дорожньої техніки. Цей матеріал досить добре протистоїть абразивному зношуванню. Численні приклади використання чавуну в будівельно-дорожніх машинах наведено нижче.

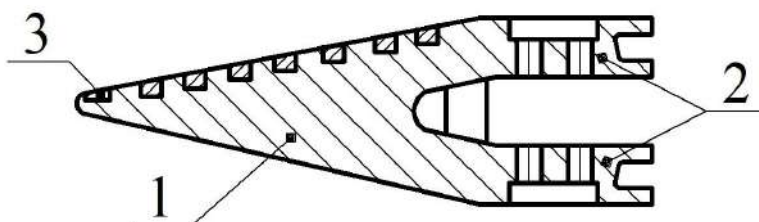


Рисунок 1.14 – Зуб ковша екскаватора.

1 – Корпус; 2 – Хвостовик; 3 – Зносостійкі вставки

Зуб ковша екскаватора [90] має корпус 1 і хвостовик 2, як показано на рис. 1.14. Таким чином, на передній поверхні зуба є три чавунні накладки, які є зносостійкими. Використання даних рішень має самогоструючий ефект і підвищити зносостійкість в умовах абразивного зносу.

Для захисту ковшів екскаваторів під час роботи в складних умовах широко застосовуються футеровані елементи з чавуну (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – Захист ковша екскаватора

Захисні елементи складаються з плиток і кнопок із сталеві основи та чавунної робочої частини. Сталева основа приварюється до робочого органу перед нанесенням чавуну на сталь наплавкою.

Чавун також використовується для виготовлення робочих тіл стрижневих і кульових млинів, накладок на відвали та інших виробів. Дослідження показали, що мікроструктури сірого чавуну визначають його фізико-механічні властивості. Навіть тому, що абразивний знос становить значну частину виходу з ладу деталей аналізованого виду, використання цього матеріалу виправдано. Наприклад, відсоток виходу з ладу деталей навісного обладнання через абразивне зношування може досягати 80-100% у екскаваторів.

Для виготовлення деталей, що розглядаються, традиційно використовується

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

дорогий чавун, який є зносостійким і надзвичайно міцним. Але поверхнєве зміцнення може бути корисним, оскільки вихід з ладу найчастіше відбувається при порівняно невеликій величині об'ємного зношування.

Рис. 1.16 показує основні методи зміцнення деталей будівельно-дорожніх машин із сірого чавуну.



Рисунок 1.16 – Методи зміцнення деталей із сірого чавуну

Щоб підвищити твердість сірого чавуну, його загартовують. Після охолодження у воді сірий чавун загартовується при температурі 850–900 °С. Твердість, отримана в результаті, становить приблизно НВ 450-500. Переваги загартування полягають у тому, що воно просте та має велику товщину зміцненого шару. Але після гартування сірий чавун має порівняно низьку твердість, тому його майже не використовують.

Відпуск проводиться, щоб зменшити стрес, який викликає гартування. Чавун відпускається при температурі 200-250°С для низької та 500-600°С для високої. Слід зазначити, що відпуск чавунів нижче сталей призводить до зниження твердості сталей.

Через те, що це значно збільшує час нагріву, сірий чавун практично не використовується для індукційного гартування. Таким чином, виливки з сірого чавуну СЧ00–СЧ20 зазвичай не піддають гартуванню.

Кріогенна обробка чавуну є однією з різновидів термічної обробки [18]. Даний тип термічної обробки застосовується в основному для покращення механічних і експлуатаційних характеристик продуктів.

Структурно-фазовий склад матеріалу змінюється кріогенним впливом (див. рис. 1.17) [18]. Дослідження, проведені у роботі [18], показали, що використання кріогенної технології може підвищити твердість матеріалу в середньому на десять відсотків.

Дослідження показали, що зносостійкість матеріалу після зміцнення зростає в середньому на 40%. Через необхідність використання спеціалізованого обладнання та особливих вимог до забезпечення безпечних умов праці цей метод зміцнення не може бути використаний в умовах ремонтного виробництва.

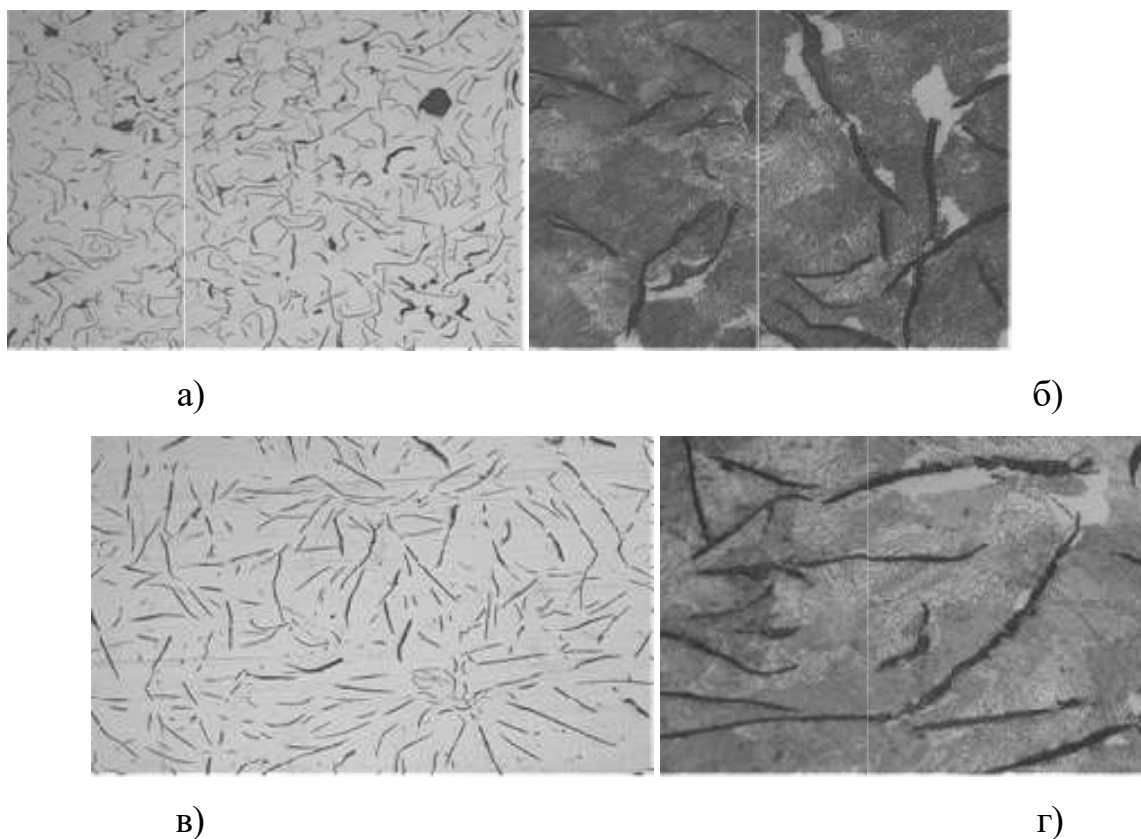


Рисунок 1.17 – Мікроструктура сірого чавуну: до (а, б) та після (в, г) кріогенної обробки при збільшенні $\times 100$ (а, в) та $\times 500$ (б, г)

Поверхня деталей із сірого чавуну має загартований шар, схожий на структуру білого чавуну після лазерної обробки [19, 86].

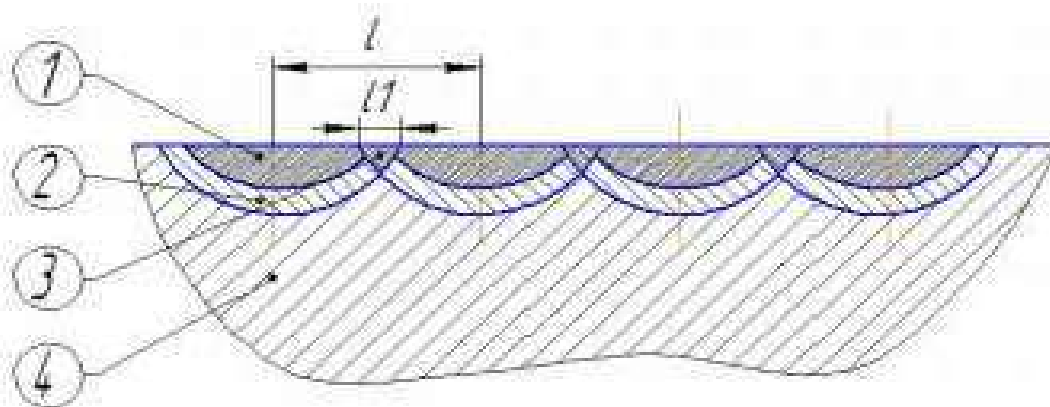


Рисунок 1.18 – Схема лазерного зміцнення із перекриттям.

1 – Зона оплавлення; 2 – Зона термічного впливу; 3 – Зона перекриття; 4 – Основний матеріал

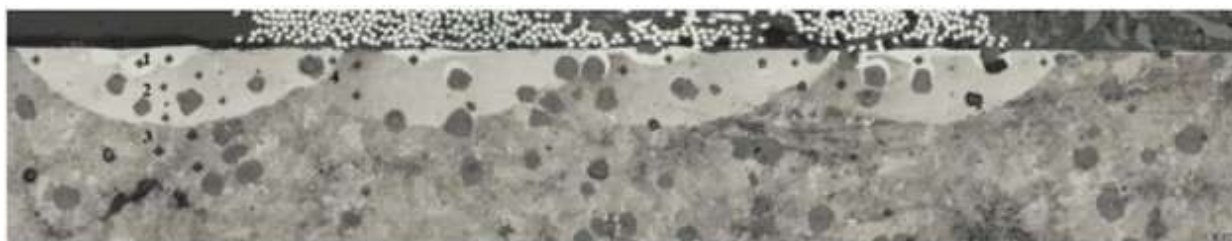


Рисунок 1.19 – Поперечний переріз зони лазерної обробки чавуну СЧ-21.

1 – Зона оплавлення; 2 – Зона термічного впливу; 3 – Основна структура; 4 – Перехідна зона

Зони мікротвердості оплавлення становлять 460–540 НV, а зони термічного впливу 930 НV, згідно з дослідженням [19].

Згідно з аналізом робіт, проведених у галузі використання лазерного гартування, можна отримати товщину зміцненого шару до 0,6 мм. Крім того,

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

лазерна обробка дозволяє проводити поверхнєве легування. Цей метод передбачає введення в розплавлений промінь лазера легуючих елементів у вигляді порошків. Змішування створює новий метал. Процес лазерного легування дозволяє значно підвищити зносостійкість компонентів із чавуну.

Комбіновані методи лазерного зміцнення також набули поширення. Такі технології включають синтез лазерної та ультразвукової обробки [19]. Це передбачає попередню обробку поверхні ультразвуковими методами поверхневого пластичного деформування. Під час попередньої обробки на поверхні утворюється сприятливий мікрорельєф. Це сприяє створенню більш рівномірної структури зміцненого шару [19], а також дозволяє відмовитися від використання технології, заснованої на оплавленні поверхні (процес виконується за температурою 1140°C).

Крім зазначених вище переваг лазерного зміцнення, можна виділити такі недоліки [19,87]: обробці піддаються поверхні деталей тільки з ковких і високоміцних чавунів;

Зміцнений шар на поверхні деталі утворюється нерівномірно, у формі доріжок; нерівномірність покриття може призвести до пористості, кратерів та інших порушень суцільності; і використання дорогого обладнання та досить складне обслуговування.

Електроконтактна технологія поверхневого зміцнення чавуну використовує додавання контактного тиску та електричного нагріву до електродів. Таким чином на поверхні утворюється шар білого чавуну. Зміцнений шар має товщину від 1 до 4 мм. Загалом недоліки лазерного гартування схожі на недоліки звичайного гартування.

Електроіскрове легування передбачає використання іскрового електричного розряду для перенесення матеріалу на поверхню, що легується. Процес полягає в тому, що між двома електродами (один із яких є деталлю) виникає імпульсна електрична іскра. У цьому випадку кожен імпульс призводить до викиду частини матеріалу анода, яка осідає на катоді.

Формування покриття відбувається, коли анод переміщується вздовж

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

поверхні деталі серед захисних газів. Одним із незаперечних переваг методу електроіскрового легування є те, що покриття добре з'єднується з основним матеріалом.

Використання електроіскрового легування для зміцнення компонентів із ферито-перлітного сірого чавуну було розглянуто в роботах [11, 27]. Тим не менш, слід звернути увагу на те, що гетерогенна структура чавуну, отриманого в результаті цього процесу, порушує стабільність процесу утворення іскри та знижує його керованість. Згідно з дослідженням [27], зміцнений шар складається з двох частин. Верхній шар із білого чавуну має твердість 930HV, а зона термічного впливу має твердість 460–490HV.

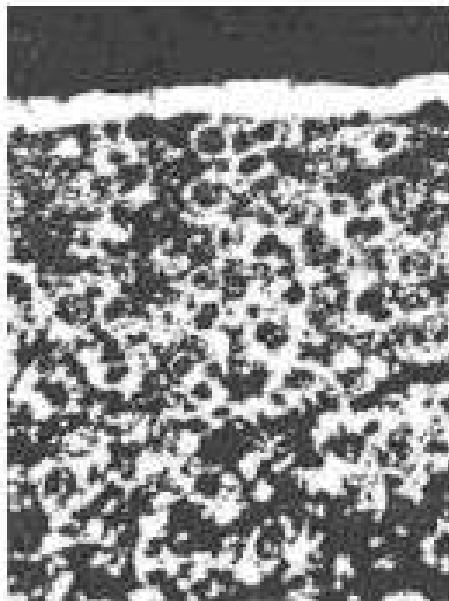


Рисунок 1.20 – Мікроструктура зміцненого шару після електроіскрового легування; x100

Таким чином, значення твердості та товщини зміцненого шару можна порівняти з лазерним зміцненням. Однак технологія досить складна, і для цього методу складно обробляти складні форми.

Хіміко-термічна обробка чавуну базується на термодифузійному насиченні поверхні. Це азотування, борування, силікування тощо. Крім того, комплексне насичення поверхні різними легуючими елементами також може бути корисним

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

[14].

Азотування сплавів відбувається при температурах від 500 до 1200 °С. Зміцнений шар має межу витривалості, високу твердість, яка зберігається при нагріванні до 400–450 °С, і високу корозійну стійкість.

Азотування покращує деталі будівельно-дорожніх машин, які піддаються циклічним навантаженням, тертю та абразивного зношуванню. Але через гетерогенну структуру сплаву дифузійні шари часто виходять крихкими при зміцненні чавунних виробів. Незважаючи на те, що товщина зміцненого шару може досягати 1 мм, процес займає тривалий час (до 72 годин).

Алітування поверхні чавуну використовується для підвищення його стійкості до корозії при високих температурах.

Під час алітування алюміній витісняє вуглець із зони під дифузійним шаром, згідно з дослідженням [14]. Аналогічно, коли відбувається витіснення та інші легуючі компоненти. Дифузійні покриття цього класу мають низьку стійкість до абразивного зносу. У статті [14] пропонується комбінований метод насичення чавуну ванадієм та алюмінієм для подолання даних недоліків.

Дифузійне насичення бором допомагає підвищити зносостійкість. Тим не менш, ці покриття погано стійкі до динамічних і втомних навантажень. У процесі обробки чітко видно межу розділу з основним металом.

Сірий чавун силікують у газовому середовищі за температурою 960°С. Витримка становить дві години. У результаті опір абразивному зносу збільшується в два рази. Тим не менш, дифузійні шари мають підвищену крихкість і пористість. Враховується товщина шару на 0,5 мм.

Слід зазначити, що процеси насичення титаном, хромом, молібденом тощо широко застосовуються до сірих чавунів. Проблема тут полягає в тому, що традиційна технологія легування з використанням газових середовищ [14, 28] передбачає утворення карбідів після проникнення легуючих елементів у чавун, що перешкоджає подальшому легуванню. Таким чином, товщина дифузійного шару вбирається у діапазоні 0,1 мм. Крім того, використовуються дорогі матеріали.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таким чином, існуючі методи поверхневого зміцнення не можуть зміцнювати деталі із сірого чавуну, і вони також не створюють зворотний характер розподілу твердості.

1.4 Забезпечення та підвищення довговічності силових приводів та шарнірів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин

Несправності силових приводів і шарнірів робочого обладнання є основною причиною несправності будівельно-дорожніх машин.

На рис. 1.21 показано класифікацію методів відповідно до виду технологічного впливу.



Рисунок 1.21 – Методи ремонту та відновлення

Під наплавкою на поверхню виробу наносять шар розплавленого матеріалу.

Термічне, термомеханічне та механічне наплавлення класифікуються за джерелом нагрівання. Товщина наплавленого шару може коливатися від десятків міліметрів до частки.

Особливості фізико-хімічних властивостей і структури чавуну створюють певні перешкоди для відновлення наплавлених деталей. Через високу швидкість охолодження та вигорання кремнію чавун відбілюється, що ускладнює подальшу обробку різанням. Через низьку пластичність чавуну тріщини можуть утворюватися в шві та навколо нього під час нерівномірного нагрівання. Сірий чавун має низьку температуру плавлення та швидкий перехід з твердого стану в рідкий, що погіршує видалення газів зі шва та збільшує пористість.

Зварювання Можна використовувати чавун для ремонту деталей будівельно-дорожніх машин для усунення тріщин, раковин від корозії та інших ушкоджень. Загалом вплив процесу зварювання на структуру та властивості поверхневого шару схожий на вплив наплавки.

Паяння — це процес з'єднання двох деталей у твердому стані металевим розплавом, створеним безпосередньо в місці паяння присадним матеріалом. Цей спосіб використовується для усунення тріщин і сколів у деталях. Чавун можна паяти як під низькою, так і під високою температурою.

Напилення та металізація передбачає нанесення розплавленого металу на поверхню, що призводить до розтріскування матеріалу на дрібні частинки. Дротяна, порошкова, газополум'яна, детонаційна та інші технології напилення використовуються. Утворюється пористий шар, але дані процесів дозволяють уникнути перегріву основного матеріалу.

Явище електролізу є основою для гальванічного відновлення деталей будівельно-дорожніх машин. Цей метод може використовуватися для нанесення різних матеріалів, таких як хром, цинк та інші, у шарах товщини до декількох міліметрів. Шліфування часто використовується як механічна обробка.

Такі полімерні матеріали, як капроновий полікапроамід, поліетилен, полістирол, поліамід, волокнит, епоксидні смоли, синтетичні клеї, герметики,

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

анаеробні полімерні матеріали та інші, використовуються при ремонті та відновленні. Переваги використання методу нанесення полімерів включають Зміни властивостей залежно від терміну служби (старіння), порівняно низька твердість, міцність втоми та теплостійкість є недоліками методу.

Встановлення додаткової ремонтної деталі використовується для заміни пошкодженої частини деталі або компенсації зношування поверхонь тертя. Цей метод зазвичай використовується для відновлення внутрішніх поверхонь, які мають різну форму та використовують різні види ремонтних деталей будівельно-дорожніх машин, таких як різьбові втулки, кільця, шайби, пластини та гільзи. Переваги методу включають простоту обладнання та технології, тоді як недоліки включають зниження міцності деталі, що відновлюється.

Метод ремонтних розмірів передбачає, що одна з зношених деталей сполучення, яка зазвичай більш дорога та відповідальна, піддається механічній обробці до встановленого ремонтного розміру, а іншу деталь замінюють новою або заздалегідь відремонтованою до цього ремонтного розміру. Переваги цього методу включають порівняльну простоту, дешевизну та можливість максимально відновити точність і якість поверхні деталей будівельно-дорожніх машин. Серед основних недоліків є порушення взаємозамінності та неможливість виготовлення сполученої деталі, поки не відремонтовано основну.

Дані щодо технологій ремонту та відновлення для основних частин приводів і шарнірів робочого обладнання наведено в таблиці 1.7.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Таблиця 1.7 – Технології ремонту та відновлення для основних частин приводів та шарнірів робочого обладнання

Найменування деталі	Матеріал деталі	Зношуючі конструктивні елементи	Вимоги за точністю та якістю поверхонь	Ремонтні дії, що застосовуються	Зміцнення поверхні
Шток гідроциліндра	Сталь	Зношування зовнішньої поверхні; зрив різьблення; знос отворів вилки під палець	IT 8-10, Ra 0.32-0.63	Шліфування, правка, при сильному зносі наплавлення	Хромування
Гільза (корпус) гідроциліндра	Сталь чи чавун	Зношування центрального отвору	IT 8-10, Ra 0.32-0.63	Розточування та хонінгування, виготовлення гільзи	Хромування
Поршень гідроциліндра	алюмінієвий сплав або чавун	Знос зовнішніх поверхонь	IT 8-10, Ra 0.32-0.63	Виготовлення нового поршня під розмір гільзи	-
Кришка	Чавун	Зношування отвору під шток	IT 8-10, Ra 1.6-3.2	Розточування та встановлення ремонтних втулок з чавуна	-

Закінчення таблиці 1.7

Втулки шарнірів робочого обладнання	Сталь, Чавун	Зношування отвору	IT 8-10, Ra 1.6-3.2	Розточування та повторне зміцнення	Поверхнева закалка
Поршень гідромотора	Сталь ШХ15 або Чавун	Знос зовнішньої поверхні	IT6-8, Ra 0.08-0.16	Шліфування, притирання або виготовлення нової деталі	HRC 57-62
Блок циліндрів (аксіальнопоршневі насоси)	Сталь, бронза, чавун	Зношування торця, сферичної частини та поверхонь гільз.	IT6-8, Ra 0.02-0.08	Розточування, шліфування або виготовлення нової деталі	HRC 60-64
Втулка	Бронза, Чавун	Знос контактних поверхонь	IT6-8, Ra 0.08-0.16	Шліфування, притирання або виготовлення нової деталі	Твердість відповідає вихідному матеріалу

Згідно з даними таблиці 1.7, необхідно демонтувати втулку шарнірів робочого устаткування для підвищення післяремонтної надійності, оскільки після обробки в ремонтному розмірі потрібно повторне зміцнення.

Висновки, ціль, завдання та загальна схема дослідження

З проведеного аналізу стану питання можна зробити такі висновки:

- Найбільш частою причиною відмов будівельно-дорожніх машин та їх робочого обладнання є зношування, що призводить до того, що досить тривалий час машини простоюють з технічних причин. Вихід із цієї ситуації бачиться у

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

підвищенні надійності будівельно-дорожніх машин та їх агрегатів на всіх етапах життєвого циклу;

- Частини робочого устаткування будівельно-дорожніх машин швидко зношуються, що значно скорочує термін служби машини. Зміна їх стану збільшує навантаження на силові приводи будівельно-дорожніх машин і призводить до зниження їх продуктивності. Можна підвищити довговічність частин, що швидко зношуються, особливо в умовах абразивного зносу, за допомогою композиційних матеріалів і поверхневого зміцнення; Стан парку будівельно-дорожніх машин характеризується високою часткою техніки з терміном експлуатації більше 15-20 років (за деякими типами вона досягає 70%), при цьому оновлення йде досить повільно. З цього випливає, що все більшої актуальності набувають питання ремонту та відновлення;

- Згідно з дослідженнями як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників, в середньому лише 15-20% зношених деталей будівельно-дорожніх машин можна відновити. Таким чином, ефективним методом підвищення надійності машин є покращення ремонту та відновлення елементів будівельно-дорожніх машин;

- Твердість по товщині шару зменшується під час використання традиційних методів поверхневого зміцнення. З цієї ситуації випливає не дуже сприятливий характер зміни інтенсивності відмов. Це викликає збільшення часу опрацювання та скорочення часу нормальної роботи вузла. Це можна вирішити шляхом формування зворотного розподілу твердості.

1. На основі результатів аналізу стану питання було встановлено, що наступні завдання повинні бути виконані: створити понятійний апарат для розробки теоретичних і практичних засад забезпечення довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин на основі систематизації наукових знань; Розробити математичну модель для прогнозування динаміки зношування та довговічності елементів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин, що мають зміцнений шар;

2. обґрунтувати теоретично та експериментально новий підхід до

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

підвищення довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин за допомогою використання поверхневого зміцнення; Сформувані технологічні рекомендації щодо забезпечення необхідних параметрів якості поверхневого шару деталей при поверхневому зміцненні на основі розробленого методу;

3. Розробити структурну схему та програмно-апаратний комплекс для реалізації пристрою контролю зношування інструментів, вивчити особливості формування шорсткості поверхонь під час механічної обробки шарнірів робочого обладнання зі зміцненим шаром;

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

2 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Концепція підвищення надійності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин

Концепція вирішення проблеми підвищення надійності робочого устаткування будівельно-дорожніх машин базувалася на результатах аналізу стану проблеми, а також на результатах попередніх досліджень автора.

Концепція полягає в запропонованій можливості підвищення надійності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин за допомогою вдосконалення організаційних аспектів у галузі ремонту та застосування нового технологічного методу відновлення, що дозволяє в керованому режимі отримувати зміцнені шари контактуючих деталей з параметрами якості поверхневого шару, що забезпечують оптимальні експлуатаційні властивості на основі:

- розроблення рішень у галузі прогнозування надійності робочих органів та шарнірів робочого обладнання;
- розробки та реалізації нового методу поверхневого зміцнення, що дозволяє підвищити довговічність робочих органів, у тому числі для випадків взаємодії з абразивним середовищем;
- удосконалення підходів до відновлення шарнірів робочого обладнання на основі застосування матеріалів із зворотним розподілом твердості за товщиною шару.

Як видно з формулювання концепції, її особливість полягає у:

- у тому, що застосування розробленого методу зміцнення деталей дозволяє в умовах ремонтного виробництва одержувати зміцнений шар завтовшки до 3 мм без використання спеціалізованого технологічного обладнання;
- у тому, що мікротвердість по товщині зміцненого шару зростає, тому з урахуванням досить високої товщини шару, є можливість кілька разів видаляти припуск під ремонтний розмір без необхідності повторного зміцнення;

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

– у принциповій позиції, що полягає у можливості формувати на деталях зміцнений шар із необхідними механічними властивостями в умовах ремонтного виробництва.

Рис. 2.1: Класифікація груп відмов робочого устаткування. Можна виділити чотири основні типи відмов, як показано на малюнку 2.1. За розглянутими вище типами відмов приймається менше значення при прогнозуванні післяремонтної надійності робочого устаткування. Враховуючи дані, наведені на малюнках 1.10 та 1.11, було б розумно залишити робочі органи та сполучні елементи, також відомі як шарніри робочого обладнання, для подальшого вивчення.



Рисунок 2.1 – Класифікація відмов робочого устаткування

2.2 Загальні теоретичні дослідження текстури профілю шорсткості поверхонь деталей із зміцненим шаром

Текстура профілю шорсткості поверхні, яка формується під час механічної обробки, може бути отримана як сума результатів багатьох процесів, таких як деформації пружності та пластичності поверхні, кінематики процесу обробки та вібрації.

Більшість завдань, пов'язаних із забезпеченням точності та якості оброблених поверхонь, зокрема токарної обробки, вимагають постійної глибини та зусилля різання. Насправді величини є такими, а залежність їх значень від часу є випадковим. Процес утворення стружки є ключовим елементом, що впливає на

зміну сил різання. У роботах [72,73] показано, що швидкість різання значною мірою впливає на коливання сил різання.

Коли сила різання змінюється з часом, залежність пружних деформацій також змінюється з часом. Виникнення відповідної складової в текстурі профілю шорсткості обробленої поверхні може бути пояснено випадковим зміщенням.

Таким чином, профіль обробленої поверхні складається з двох частин: систематичної (яка є результатом геометрії інструменту та механізму процесу обробки) і випадкової (яка є результатом вібрацій елементів технологічної системи, а також процесів утворення наросту, сколів ріжучої частини інструменту та ін.).

Причому, тоді як внесок першої складової можна легко врахувати за допомогою відомих залежностей [66,191-194], внесок випадкової складової вимагає ретельної оцінки її частки загальної текстури профілю та впливу умов обробки.

Блок-схема утворення мікронерівностей під час токарної обробки показана на малюнку 2.9 [127].



Рисунок 2.9 Блок-схема утворення мікронерівностей при токарній обробці

Ідеальний профіль шорсткості поверхні, який складається на 100% із систематичної складової, можна побачити як вхід системи.

Але насправді на цей профіль накладаються обурення. Реальний профіль шорсткості обробленої деталі є результатом цього (рисунок 2.9).

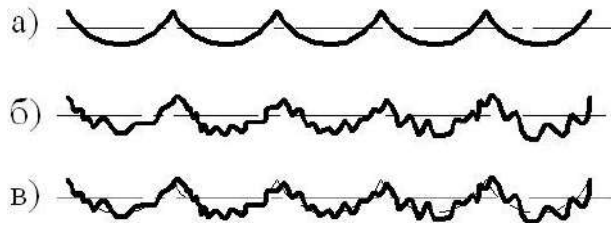


Рисунок 2.10 Складові реального профілю:

а) - систематична складова (ідеальний профіль), б) - випадкова складова (дії, що обурюються), в) – реальний профіль

Стаціонарність профілів шорсткості поверхні означає, що реалізація профілю має вигляд коливань у стабільних режимах та інших умовах обробки. У цьому випадку їхні статистичні характеристики не відрізняються значною мірою від змін аргументу. Це властивість досягається шляхом забезпечення стабільності умов під час виконання технологічних операцій.

Тим не менш, є фрактальні об'єкти, які мають подібності. Річ у тому, що хоча самоподібність передбачає повну масштабну інваріантність, тобто рівне масштабне перетворення в усіх напрямках, у багатьох об'єктах для досягнення подібності необхідно застосувати неоднакове масштабне збільшення в різних напрямках. Такі речі називають самоафінами. Профіль шорсткості поверхні, обробленої точенням, є прикладом самоафінного фрактального об'єкта [132]:



Рисунок 2.11 – Самоафінність профілю шорсткості поверхні

Для досягнення подібності фрагмент профілю, виділений колами, потребує неоднакового масштабного збільшення, як показано на малюнку 2.11. Крім того, якщо це виконується менш ніж для половини точок об'єкта, що досліджується,

вираз (2.13) може бути використаний для кількісної оцінки рівня самоафінності об'єкта [132].

Враховуючи, що профіль шорсткості поверхні відображається у вигляді плоскої лінії, значення D зростає, чим ближче воно до 1,5, тим більше випадкової частини в текстурі профілю.

Таким чином, текстура профілю шорсткості поверхонь деталей будівельно-дорожніх машин може бути кількісно оцінена за допомогою методології, яка складається з теорії випадкових процесів і фрактальної геометрії. Знаючи співвідношення рівня випадкової та систематичної частини в текстурі профілю, можна оцінити технологічні фактори, які мають домінуючий вплив на його формування, і вибрати найкращу дію, що керує.

Висновки за розділом 2

1. Розроблено ідею формування на деталях поверхневого шару з оптимальними параметрами якості, щоб вирішити проблему довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.

2. Результати комплексного техніко-економічного аналізу вказують на те, що для відновлення деталей хіміко-термічна обробка (ХТО) є найбільш ефективним методом зміцнення.

3. Товщина зміцненого шару в традиційних методах ХТО, які використовують газові середовища, не може перевищувати 0,2 мм. Крім того, необхідно проводити наступне загартування, щоб досягти максимальної твердості.

4. Для підвищення довговічності деталей робочого обладнання будівельно-дорожніх машин було розроблено теоретичне обґрунтування.

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНИХ МАШИН

3.1. Аналіз факторів, що впливають на довговічність робочих органів будівельно-дорожніх машин

Коли ви розробляєте модель, ви повинні враховувати всі об'єкти, включаючи машину, середовище та робочий процес. Розглянемо ці моменти в контексті екскаватора. Одноковшовий екскаватор є циклом дій, що включає розробку та переміщення ґрунту, а також пересування машини. Коли машина переміщується, робочий процес не відбувається. Робочий орган складається з унікальної групи ланок, які з'єднані між собою і їх положення визначено у відповідних системах координат. Ланки екскаватора зі зворотною лопатою показані на рис.3.1.

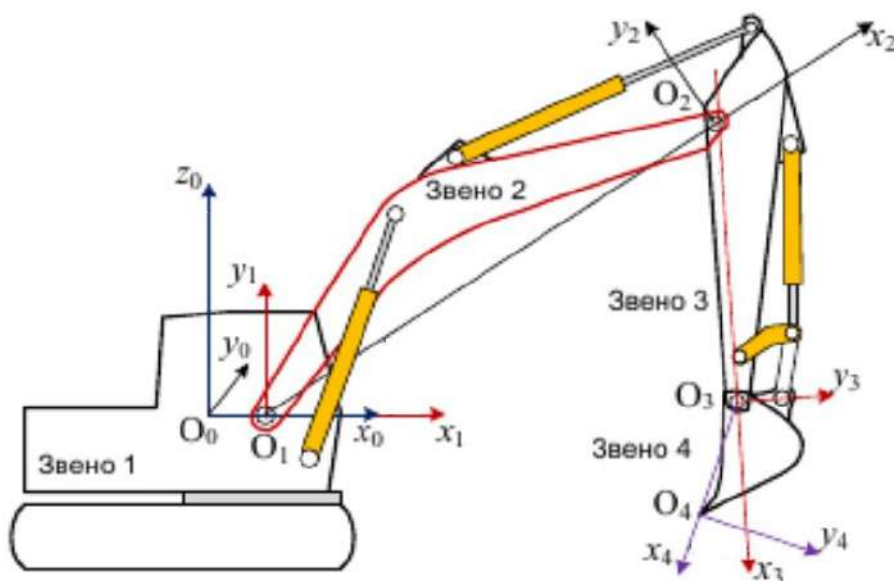


Рисунок 3.1 – Ланки екскаватора зі зворотною лопатою

У процесі копання на ланки впливають активні зовнішні сили, включаючи зусилля на зубах ковша, сили тяжіння ланок і зусилля на штоках гідроциліндрів.

У роботах В.С. Шестакова [42] розглядається метод розрахунку сили екскаватора зі зворотною лопатою. В.С. Шестаков зазначає, що через складність

процесу копання розрахунки повинні проводитися ітераційно. У нашому випадку було б розумно розглянути, як зростання зусиль копання, пов'язаних зі зношуванням зубів екскаватора, впливає на навантаження на гідравлічні приводи машини. Рис.3.2 показує розрахункову схему визначення параметрів.

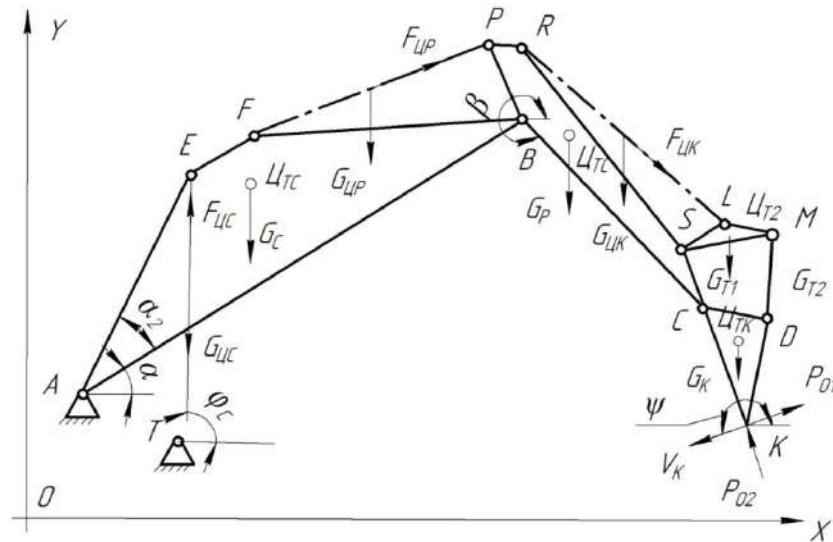


Рисунок 3.2 – Схема визначення параметрів:

К – вершина зуба ковша; KCD-схема профілю ковша; CSLMD-схема профілю рукояті; AEFB-схема профілю стріли; TE, FP, RL-гідроциліндри повороту стріли, рукояті та ковша; G_С, G_П, G_К, G_{ЦС}, G_{ЦП}, G_{ЦК}, G_{Т1}, G_{Т2} – сили тяжіння стріли, рукояті, ковша, гідроциліндрів стріли, рукояті, ковша та тяги ковша; α , α_2 , ψ , β – кути, що характеризують положення ланок; ЦТС, ЦТР, ЦТК, ЦТ2 – центри ваги стріли, рукояті, ковша та тяги; F_{ЦС}, F_{ЦП}, F_{ЦК} - зусилля на циліндрах стріли, рукояті та ковша; P₀₁, P₀₂ – нормальна та дотична складові сили копання; v_К – швидкість переміщення зубів ковша

Найчастіше копання виконується шляхом повороту ковша до точки С. У цьому випадку вектор швидкості копання знаходиться паралельно лінії КС.

З наведених вище залежностей видно, що сила копання впливає на всі ланки екскаватора, включаючи гідропривід. Сила різання складає в середньому 74% сили

копання екскаватором. Процес різання ґрунту відбувається у вигляді циклу з кількома етапами. На початку ріжуча кромка зуба занурюється в ґрунт, створюючи центр ущільнення. Велика частина ґрунту розривається, коли зусилля різання збільшуються. При відокремленні частини ґрунту ріжуча кромка різко звільняється від зусилля. Отже, характер навантаження під час процесу копання досить складний.

Впровадження ковша в ґрунт вимагає значної кількості енергії для подолання сил опору. Сила тертя бічних стінок і днища ковша дуже важлива. Властивості ґрунту також впливають на опір.

При розробці ґрунту машини використовують ріжучі кромки, які затуплені до певного рівня. Зношування абразивом є основною причиною зміни форми та розмірів ріжучих елементів. Це призводить до утворення майданчика зносу на зубі, розмір якого може перевищувати 15 мм.

Збільшення майданчика зносу збільшує силу опору копання, що збільшує навантаження на силові приводи машини. Поверхня ріжучих елементів зношується, що викликає розриви та подряпини. У середньому ріжучі елементи екскаватора служать від 200 до 715 годин. Зусилля різання також збільшується разом із майданчиком зносу.

Крім того, слід підкреслити, що під час динамічного навантаження сила тяжіння від гідроциліндрів і наповненого ковша значно впливає на подолання сил опору руху. Цей компонент враховується за допомогою величини AG [97].

У результаті М.М. Хрущов створив діаграму, яка показує співвідношення твердості матеріалу робочого органу землерийної машини (НМ) і абразивного середовища (На).

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

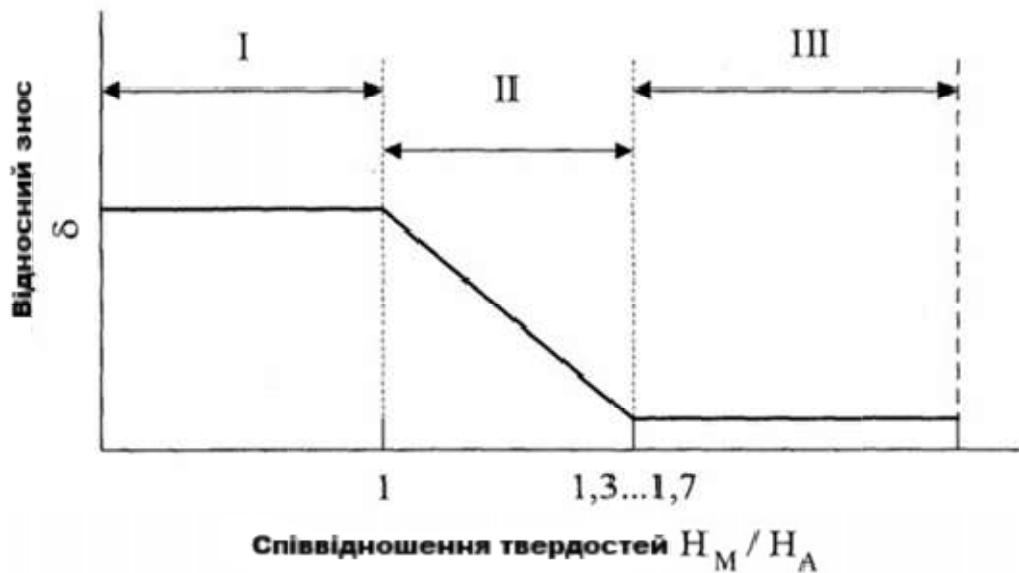


Рисунок 3.3 – Залежність відносного зносу від співвідношення твердостей

Як видно з залежності, коли співвідношення перевищує 1,7, відносний знос не змінюється. Таким чином, твердість матеріалу можна оцінити залежно від властивостей ґрунту.

І.В. Крагельський виявив, що відносне застосування частинок впливає на питоме зношування матеріалів.

змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

КРММТВА 2524334. 000 ПЗ

Арк.

47

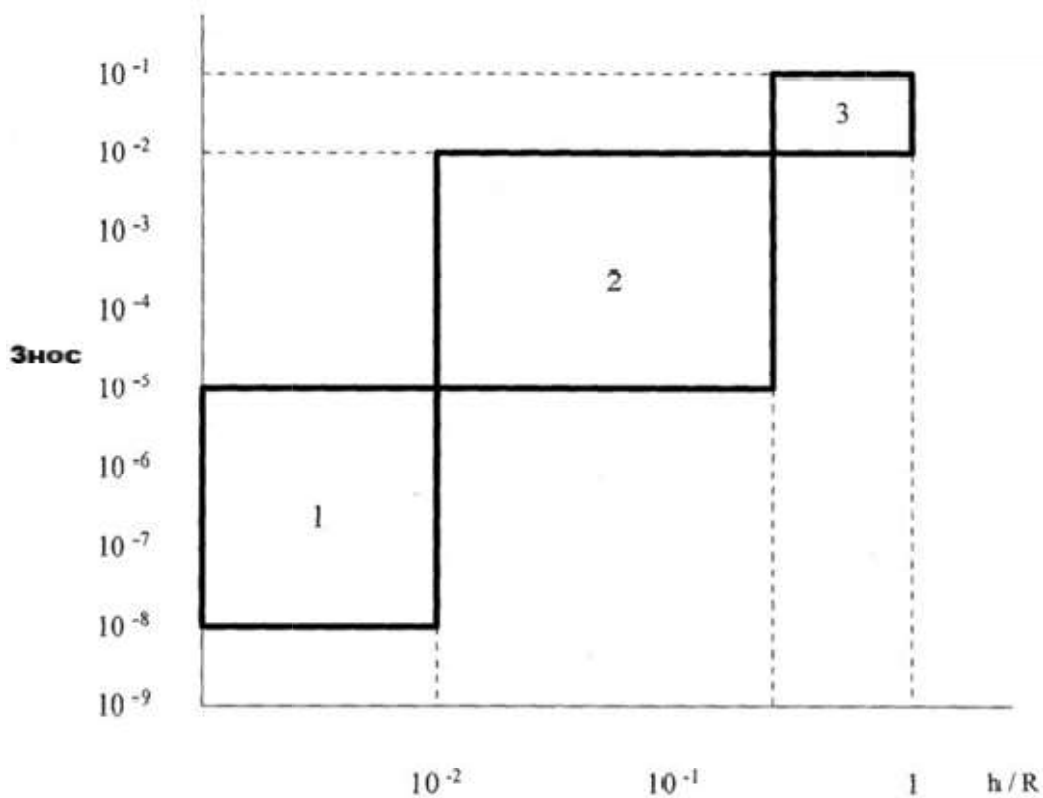


Рисунок 3.4 – Залежність питомого зносу від відносного застосування

Визначено три області, які були зазначені вище. Відмінності в інтенсивності зношування в кожній області становлять кілька порядків, як показано на рис. 3.4.

В.П. Горячкин вважав, що сила опору плугу складається з трьох елементів: сили протидії тертю плуга на дно борозни, сили опору пласта, що зрізається, деформації та сили опору пласта, що переміщується. При цьому глибина різання визначає силу тертя. Сила опору деформуванню пропорційна перерізу зрізаного шматка землі. Швидкість різання визначає силу опору переміщенню.

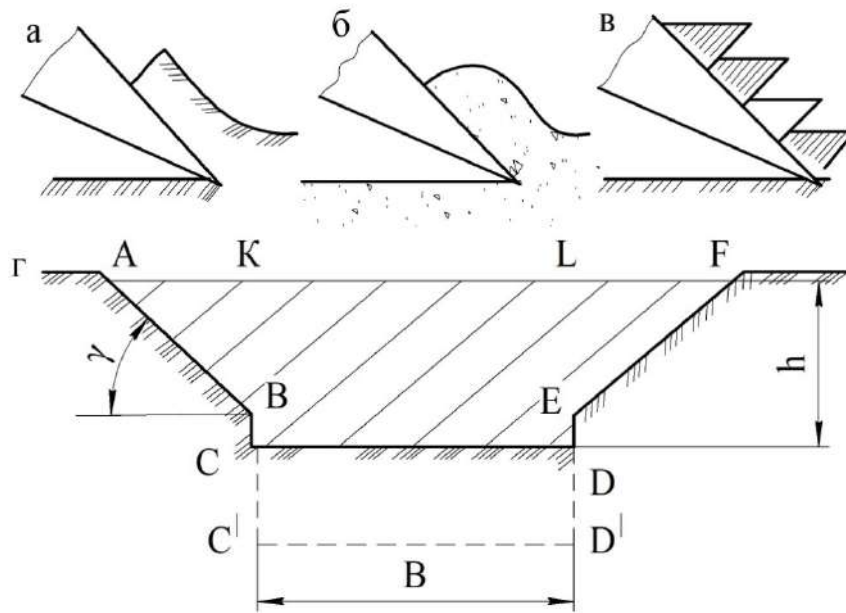


Рисунок 3.5 - Форми зрізання стружок для пластичних (а), сипучих (б) і ґрунтів, що сколюються (в); геометричні параметри процесу (г)

Однак залежності, отримані В.П. Горячкіним для визначення сили опору плугу, не могли бути використані для розрахунку тягових зусиль будівельно-дорожніх машин. Це пояснюється тим фактом, що умови роботи плуга не застосовуються до землерийних машин. Але результати дослідження заклали основу для подальшого розробки та розробки теорій землерийних машин.

Це також стосується зубів екскаватора [97]. Схема сил, які впливають на зношений зуб, показана на рис 3.7.

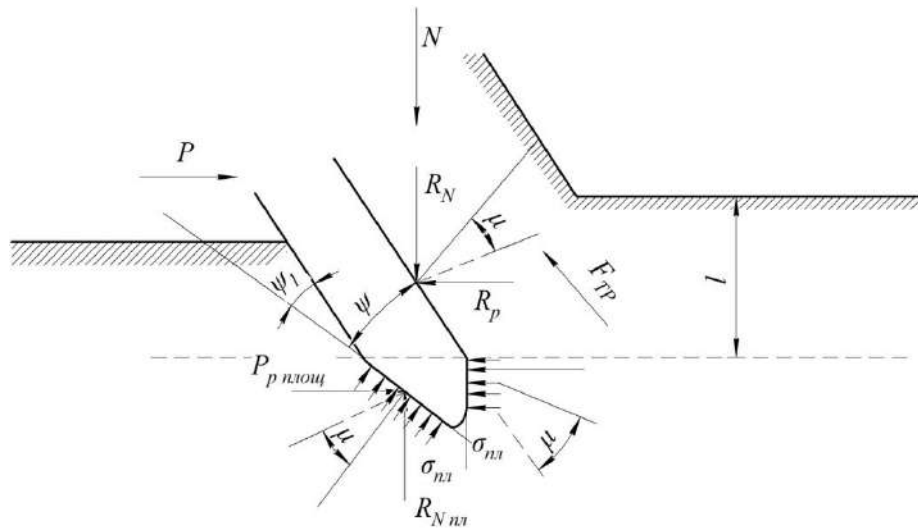


Рисунок 3.7 – Сили, що діють на зуб екскаватора з майданчиком зношування

Аналіз наведених вище залежностей показує, що використання емпіричних залежностей дає досить добрі результати. Зусилля R_k на зубах ковша екскаватора зворотної лопати при копанні поворотом рукояті визначається наступним чином [23]:

$$R_k = P + P_z + P_{np}, \quad ()$$

де P – сила різання;

P_z - опір заповненню ковша ґрунтом;

P_{np} - опір призми волочіння (переміщенню ґрунту по поверхні ковша).

При використанні зазначених вище залежностей і моделей не враховується форма та розмір частинок ґрунту, а також площа контакту абразиву з ріжучим елементом робочого органу. Автор також стверджує, що деякі з наведених елементів потребують додаткових досліджень і уточнень. Крім того, всі залежності, які можна знайти в природному ґрунті, були отримані шляхом розробки: чорнозем, глина, пісок, суглинок, пісковики та гранітновапняковий щебінь. Крім того, модель має лінійні функції зносу, що є ще одним недоліком.

Висновки за розділом 3

1. У більшості теорій різання та копання ґрунту знос ріжучої кромки та його вплив на робочі зусилля враховуються. Тим не менш, у них відсутня можливість урахувати швидкість зношування.

2. Теоретичний підхід з використанням розрахункових залежностей детермінованого типу не враховує зміни фізичних властивостей матеріалу різальних елементів по перерізу, функція зношування лінійна, і більшість моделей не використовувалися безпосередньо для розробки ґрунту.

3. Розроблена модель дозволяє прогнозувати надійність за показниками гамма-відсоткового ресурсу та враховувати динаміку зносу ріжучої кромки робочих органів будівельно-дорожніх машин у будь-яких ґрунтах. Це, зокрема, дозволяє швидко оцінювати міжремонтний інтервал і замінити зношені частини робочих органів будівельно-дорожніх машин.

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

4 РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЩЕННЯ

4.1 Теоретичні дослідження щодо визначення умов термічної обробки деталей з дифузійним шаром

Визначення умов проведення загартування шару після термодифузійного легування є основною метою теоретичних досліджень, які проводяться на даному етапі.

Для досягнення цієї мети було виконано наступне:

- обґрунтовано робочу гіпотезу дослідження, яка полягає в тому, щоб розробити технологію гарту після термодифузійного легування, щоб створити структуру мартенситу в умовах ремонтного виробництва;
- за допомогою методу аналізу ієрархій було проведено комплексний технікоекономічний аналіз різних методів нагрівання деталей під загартування та було вибрано найкраще поєднання характеристик у відношенні до умов ремонтного виробництва;
- на основі розв'язання критеріального рівняння теплопровідності визначено режими нагрівання деталі під загартування.

4.1.1 Робоча гіпотеза щодо умов термічної обробки після термодифузійного легування деталей із сірого чавуну

Одним із найважливіших і складних питань у процесі розробки технологічних процесів термічної обробки є визначення умов нагрівання. Нагрівання не може бути рівномірним по всьому діаметру деталі. Завжди поверхневі шари частини нагріваються швидше, ніж серцевина. Внутрішні напруги можуть виникнути через нерівномірність нагріву або охолодження. Для підвищення продуктивності процесів термічної обробки необхідно максимально скоротити час нагрівання. Це означає використовувати максимальну швидкість,

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

але таким чином, щоб деталі нагрівалися рівномірно, уникаючи тріщин.

Форма, розміри, способи укладання, теплотехнічні властивості матеріалу деталі та інші фактори впливають на значення часу нагріву. Часто неможливо повністю врахувати вплив усіх елементів. Маса, форма та температура нагрівання є найважливішими факторами.

Нагрівання відбувається швидше, коли маса виробу менша, а температура вища. Швидкість нагрівання може відрізнитися між деталями однакової форми та масою (наприклад, циліндр діаметром d нагрівається вдвічі швидше, ніж пластина товщиною d).

Крім того, швидкість і середовище нагріву впливають на якість термічної обробки. Наприклад, висока швидкість нагрівання зменшує обезуглерожування шару, але збільшує ймовірність утворення тріщин.

У середовищі нагріву є дві функції. По-перше, вона визначає швидкість передачі теплоти, яка, у свою чергу, визначає швидкість і тривалість нагрівання. По-друге, нагрівання середовища може призвести до окислення та знеуглерожування поверхні. Крім того, слід враховувати, що використання струмів високої частоти для нагрівання вимагає складних джерел енергії, а рідинне середовище створює складні умови праці. Таким чином, для вирішення проблеми вибору середовища нагріву потрібно розглянути низку факторів, які стосуються як технічних, так і економічних, а також урахувати особливості виробництва (у цьому випадку - умови ремонту та відновлення).

Суть робочої гіпотези полягає в тому, що коли деталі загартовують після термодифузійного легування сірого феритоперлітного чавуну в умовах ремонтного виробництва, доцільно використовувати нагрівання в електропечі. Тривалість процесу можна визначити за допомогою критеріального рівняння теплопровідності.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

4.1.2 Вибір середовища нагрівання для загартування деталей

Як було зазначено вище, найчастіше при загартуванні використовуються такі рішення:

- індукційне нагрівання;
- нагрівання у соляній ванні;
- нагрівання в електропечі;
- нагрівання з використанням полум'я.

Нагрів полум'ям в умовах практично неефективний, оскільки він погіршує якість поверхневого шару через присутність кисню та ацетилену в середовищі.

При індукційному нагріванні змінне магнітне поле індуктора створює вихрові струми, щоб досягти бажаної температури. Ці переваги цього рішення:

- широкий діапазон одержуваних швидкостей нагріву за рахунок зміни потужності, що вводиться;
- можливість отримання практично будь-якої температури аж до випаровування металу та отримання плазми;
- добрі санітарно-гігієнічні умови праці;
- можливість регулювати розміри зони нагріву та простота автоматизації процесу.

Основні недоліки способу:

- складність джерел живлення;
- підвищена питома витрата енергії;
- залежність конфігурації індуктора від форми виробу. Використання соляних ванн також дозволяє отримувати високі значення швидкості нагрівання, причому з кращою рівномірністю, ніж використання струмів високої частоти. Також до переваг даного виду нагріву можна віднести:

- можливість проведення різних видів термічної та термохімічної обробки;

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Для наших цілей можна вважати, що граничне значення критерію Біо дорівнює 0,1.

Прийmemo ці значення коефіцієнтів як вихідні дані для розрахунку [65]:

- коефіцієнт теплопровідності $\lambda=14$ ккал/м·ч·°С;
- коефіцієнт тепловіддачі $a=150$ ккал/м²·ч·°С (відповідає нагріванню електричної печі);

- коефіцієнт температуропровідності = 0.025 м²/год;

- ТСР=930 °С (вибирається за рекомендаціями [65]);

$T_0=25$ °С.

Як приклад розглянемо випадок, коли зразок є циліндром з діаметром 20 мм і довжиною 50 мм (див. Рисунок 4.3).

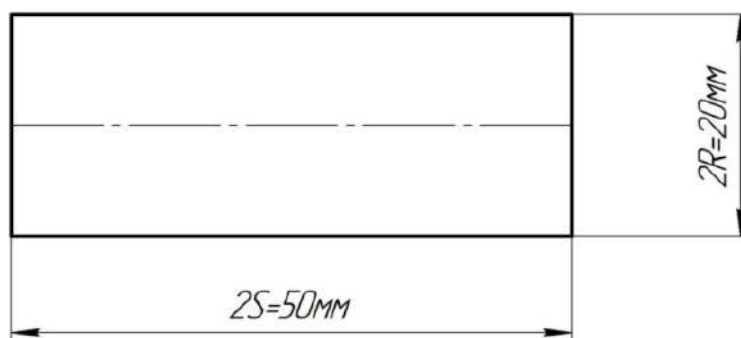


Рисунок 4.3 – Конфігурація зразка

4.2 Експериментальні дослідження властивостей зміцненого шару деталей будівельно-дорожніх машин

4.2.1 Методика експериментальних досліджень

Дослідження проводилося у два етапи. Метою першого етапу було підтвердження основної гіпотези про те, що зміцнений шар може бути створений у умовах ремонтного виробництва з необхідною товщиною та фізикомеханічними

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

властивостями. Цей етап включав:

- експериментальні дослідження щодо виявлення закономірностей формування шару за товщиною;
- виявлення закономірностей забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей зміцненого шару.

Зразки включали зносостійкі накладки на робочі органи. Зразки, що зміцнюються, піддавалися нагріванню в поєднанні з оксидами легуючих елементів під час цього етапу експерименту. Потім вони витримувалися в печі протягом двох до восьми годин без доступу повітря, що досягалося за допомогою створення відновлювальної атмосфери.

Друге завдання полягало в тому, щоб знайти закономірності між параметрами якості зміцненого шару та технологічними процедурами, необхідним для забезпечення необхідних величин післяремонтної надійності:

- встановлення закономірностей між режимами зміцнення та товщиною шару;
- виявлення залежностей визначення режимів загартування зразків, які забезпечують необхідні фізико-механічні властивості.

4.2.2 Матеріали, обладнання та методи дослідження

Таблиця 4.10 містить хімічний склад сірого чавуну марки СЧ-20 (ДСТУ 1482-85), який було обрано для дослідження. Таблиця 4.11 містить механічні властивості чавуну.

Таблиця 4.10 – Хімічний склад

C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
3.6	2,2	0,7	0,12	0,15

Таблиця 4.11 - Механічні властивості

Щільність ρ , кг/м ³	Лінійне усадка ε , %	Тимчасовий опір розриву МПа, при товщині стінки не менше 15 мм	Твердість НВ при товщині стінки не менше 15 мм
7,1 \cdot 10 ³	1,1	200	230

Процес проводили у печі з графітовим нагрівачем.



Рисунок 4.5 – Пічка з графітовим нагрівачем

Пічка має такі технічні характеристики:

- Максимальна робоча температура 2000 °С;
- Маса досліджуваних матеріалів до 400 г;
- Можливість створення контрольованої атмосфери.

Для гартування використовувалася піч марки SNOL 10/14.



Рисунок 4.6 – Пічка СНОЛ 10/14

Основні технічні характеристики:

- Зовнішні розміри, мм Д-Ш-В: 850-850-900;
- Внутрішні розміри, мм Д-Ш-В: 340-170-200;
- Максимальна температура, °С: 1400;
- Потужність, кВт: 6;
- Вага кг: 130.

Зразки поміщалися в контейнер або алундовий тигель. Накладки на робочі органи використовувалися як зразки, як показано на Рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – Конфігурація зразка

Для подальшого дослідження частини зразка були вилучені, як показано на рис. 4.3. Дослідження металографічної та товщини шару проводилися за допомогою мікроскопів Neophot-21 зі збільшенням 200, 400, 500 і 1000 крат.

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59



Рисунок 4.8 – Мікроскоп Neophot-21

Вимірювання твердості зрізків проводилося за допомогою портативного твердоміра ТН-130, який дозволяє оцінювати цю властивість за шкалами Роквелла та Вікерса.



Рисунок 4.9 – Портативний твердомір ТН-130

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Мікротвердість структурних компонентів була визначена приладом ПМТ-3 з навантаженням 02-05 Н (ДСТУ 9450-76).



Рисунок 4.10 – Мікротвердомір ПМТ-3

Хімічний аналіз проводився за допомогою рентгеноспектрального аналізатора Inspector-2000GT. Крім того, для визначення масових змістів елементів у сплавах використовували рентгенофлуоресцентний спектрометр Spectroscan MACS-G. Маса зразків оцінювалася як до експерименту, так і після нього за допомогою електронних терезів з точністю 0,0001 г, а також технічних терезів з точністю 0,01 г.

Досліджувані зразки електрополірували на глибину 0,01–0,04 мм в електроліті, який складається з 860 мл фосфорної кислоти, 100 г хромового ангідриду та 5 мл сірчаної кислоти.

4.2.3 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз

Порошок чавуну (частинки розміром менше 63 мкм) змішувався з порошком оксиду легуючого елемента (частинки розміром менше 63 мкм). Суміш помістилася в алундовий тигель, який нагрівався до 1100 °С і витримувався там

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

протягом восьми годин. Хімічний склад представлено в наступній таблиці:

Таблиця 4.12 – Хімічний склад частинок чавуну після витримки 8 годин

	C, %
Cr ₂ O ₃	0,15
TiO ₂	0,08
V ₂ O ₃	0,05

Таким чином, експериментально було доведено можливість окислення оксидами хрому, титану та ванадію вуглецю основи чавуну.

У ході досліджень взаємодії оксидів з чавуном у твердому зразку на всіх досліджуваних об'єктах було отримано шар, відмінності якого від основного матеріалу видно неозброєним оком.



Рисунок 4.11 – Макроструктура шару, x8

На рисунках 4.12 та 4.13 наведено структуру шару після взаємодії з оксидами хрому та титану.



Рисунок 4.12 – Мікроструктура шару, зміцнення взаємодії з оксидом хрому, x 400



Рисунок 4.13 – Мікроструктура шару після взаємодії з оксидом титану, x100

У ході досліджень було встановлено, що при взаємодії з оксидами титану та ванадію кулясті включення графіту у зміцненому шарі відсутні. Це підтверджує висновки, отримані у розділі 2.

Верхній край дифузійного шару має феритну структуру (далі феритна облямівка). Примітно, що у феритній облямівці було виявлено пори, що виходять назовні.

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

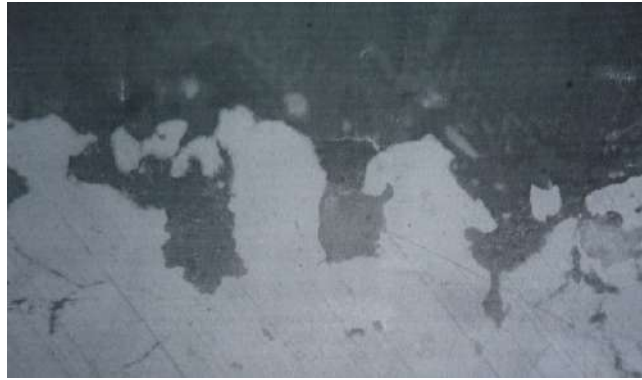


Рисунок 4.14 – Пори у феритній облямівці, x300

Даний факт є підтвердженням того, що саме у феритній облямівці відбувалося окислення вуглецю з утворенням газу, що виходив назовні. Отже, процес протікає по адсорбційно дифузійному механізму, тобто. відбувається дисоціація оксидів на поверхні чавуну, окислення вуглецю основи та дифузія легуючих елементів углиб сплаву.

Дослідження хімічного складу проводилося з використанням порошків чавуну та оксидів FeO, Cr₂O₃ та MoO₂ за методикою, описаною вище. Після витримки протягом 2, 4 та 8 годин при температурі 1100 °C були отримані наступні результати.

Таблиця 4.13 – Хімічний склад після взаємодії з FeO

τ, год	C, %	Mn, %	Si, %
2	0.96	-	-
4	0.74	0.48	1.67
8	0.18	0.34	1.29

Таблиця 4.14 Хімічний склад після взаємодії з Cr₂O₃

τ, год	C, %	Mn, %	Si, %
2	1.05	-	-
4	0.87	0.58	1.8
8	0.15	0.49	1.4

Таблиця 4.15 Хімічний склад після взаємодії з MoO₂

τ, год	C, %	Mn, %	Si, %
2	1.14	-	-
4	0.96	0.66	1.92
8	0.24	0.53	1.54

Визначення часу нагріву під загартування проводили на основі рішення рівняння теплопровідності у критеріальній формі (див. пункт 4.1). Як середовище для гартування використовувалася вода.

На рисунках 4.15-4.17 наведено розподіл мікротвердості за товщиною зміцненого шару для оксидів FeO, Cr₂O₃ та MoO₂ після загартування. Виміри проводилися пошарово (координата Z) у 3-5 точках кожного рівня, на рис. наведені середні значення.

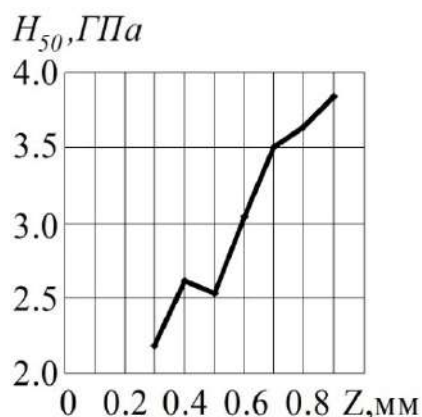


Рисунок 4.15 – Розподіл мікротвердості за товщиною шару Оксид FeO, температура витримки 1100 °C, час витримки 8 год

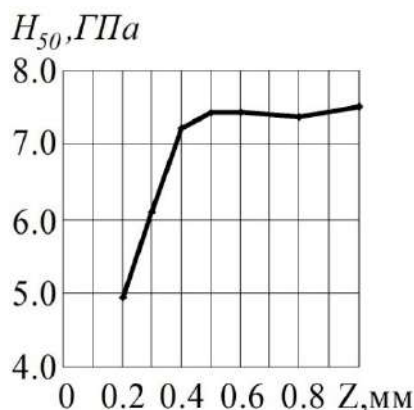


Рисунок 4.16 – Розподіл мікротвердості за товщиною шару Оксид Cr₂O₃, температура витримки 1100 °С, час витримки 8 год

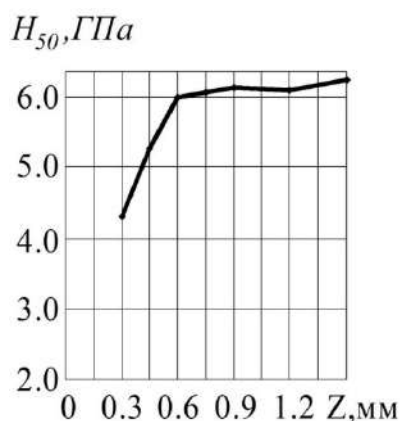


Рисунок 4.17 – Розподіл мікротвердості за товщиною шару Оксид MoO₂, температура витримки 1100 °С, час витримки 4 год

Мікротвердість вихідного чавуну змінювалася в межах 1.63-1.75 ГПа, таким чином, використання рішень дозволяє збільшити мікротвердість більш ніж у 2 рази.

Використання оксидів хрому і молібдену з наступним гартуванням дозволяє отримувати мікротвердість, порівнянну з високоміцним чавуном, підданим індукційному гартуванню або лазерному зміцненню [86].

Крім того, важливою особливістю є те, що мікротвердість за товщиною шару збільшується, що узгоджується з даними досліджень [86]. Такий характер зміни механічних властивостей прошарку розширює можливості застосування методу

ремонтних розмірів, т.к. після видалення шару матеріалу немає необхідності повторного зміцнення деталі.

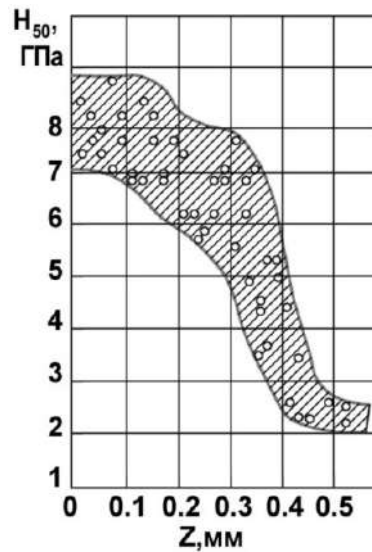


Рисунок 4.18 – Розподіл мікротвердості при лазерному гартуванні високоміцного чавуну

Твердість шару деталі після взаємодії з FeO і наступного гартування 40-42 HRC. Така твердість можна порівняти з твердістю ковкого чавуну після гартування ТВЧ.

Після взаємодії з оксидом хрому до загартування твердість становила 30-40 HRC, а після гартування 58-65 HRC. Після взаємодії з оксидом молібдену та наступним гартуванням – 48-53 HRC. При цьому твердість високоміцного чавуну після гартування ТВЧ становить 56-63 HRC [86].

4.2.4 Експериментальні дослідження міцності матеріалу деталі, що ремонтується після зміцнення

Міцність є життєво важливою характеристикою для деталей силових приводів і робочих органів будівельно-дорожньої техніки. На цьому етапі експериментальних досліджень використовувався програмний пакет Ansys для

дослідження впливу товщини шару на міцність. В експерименті граничні умови визначалися на пресі П-150М з максимальним зусиллям стиснення 15000 Н. Приклад пошкодженого зразка показано на рис. 4.23.



Рисунок 4.23 – Зруйнований зразок

У результаті випробувань зразок оксиду хрому діаметром 10 мм з товщиною шару 0,5 мм мав межу міцності 62 кг/мм². Межа міцності зразків не зміцненого сірого чавуну тієї ж марки склала 37,1 кг/мм². Результати дослідження показують, що використання зміцнення дифузійного сірого чавуну може значно збільшити міцність чавуну. Рис. 4.24 показує приклад дослідження міцності пакету Ansys.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

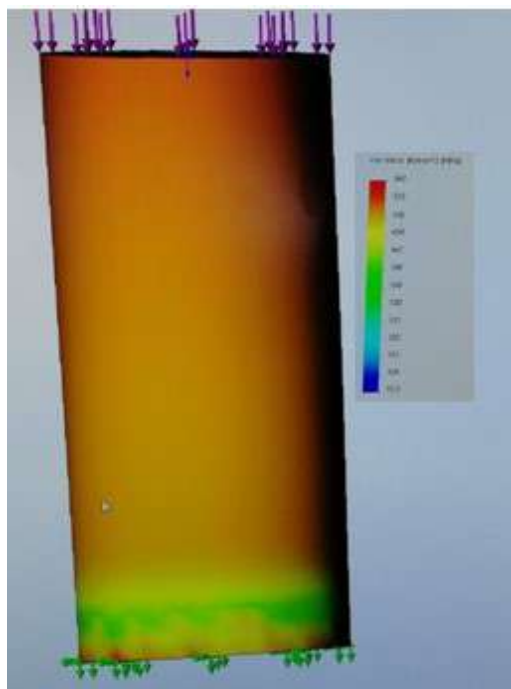


Рисунок 4.24 – Приклад розрахунку у пакеті Ansys

Рекомендується використовувати печі, які можуть створювати відновлювальну атмосферу, щоб захистити поверхневий шар. Таке обладнання не завжди є в ремонтному виробництві. Було розроблено пристрій для дифузійного легування, яке може забезпечити необхідні властивості зміцненого шару будь-якої печі при температурі нагрівання до 1100°C. Схема пристрою представлена на рис. 4.31.

					<i>КРММТВА 2524334. 000 ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

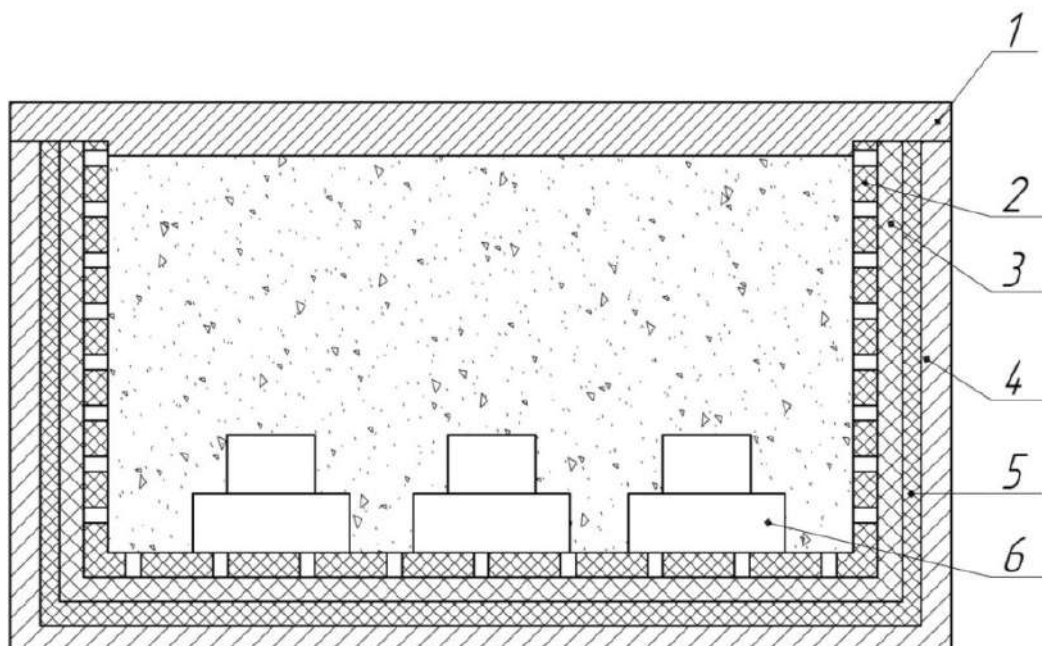


Рисунок 4.31 – Пристрій для дифузійного легування

У пристрої є металевий ящик 4, закритий кришкою 1. Пластини графіту 3 вкриті ящиком, і коли вони окислюються, утворюється відновлювальна атмосфера з оксиду вуглецю. Прокладки 5 і 2 відокремлюють пластини з графіту від деталей 6 і ящика 4. Причому прокладка 2 — пориста прокладка — дозволяє газу СО надходити в активну зону. Прокладки використовуються, щоб уникнути контакту деталей і ящика з графітовими платинами під час плавлення. Оксид легуючого елемента заповнює кришку.

Таким чином, новий метод зміцнення дозволяє отримати на поверхні чавуну шар завтовшки до 3 мм. Це в десять-п'ятнадцять разів більше, ніж при використанні інших технологій поверхневого зміцнення чавуну, які використовуються в промисловій практиці. У цьому випадку використовуються оксиди елементів, а не дорогі витратні матеріали, такі як ферохром.

4.3 Експериментальне дослідження довговічності робочих органів будівельно-дорожніх машин із зміцненим шаром

Знос зразків вимірювався на установці для випробування матеріалів на знос

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

за допомогою методу визначення питомої роботи абразивного зносу [70].

Рис. 4.33 показує принципову схему установки для випробувань, а також її зовнішній вигляд.

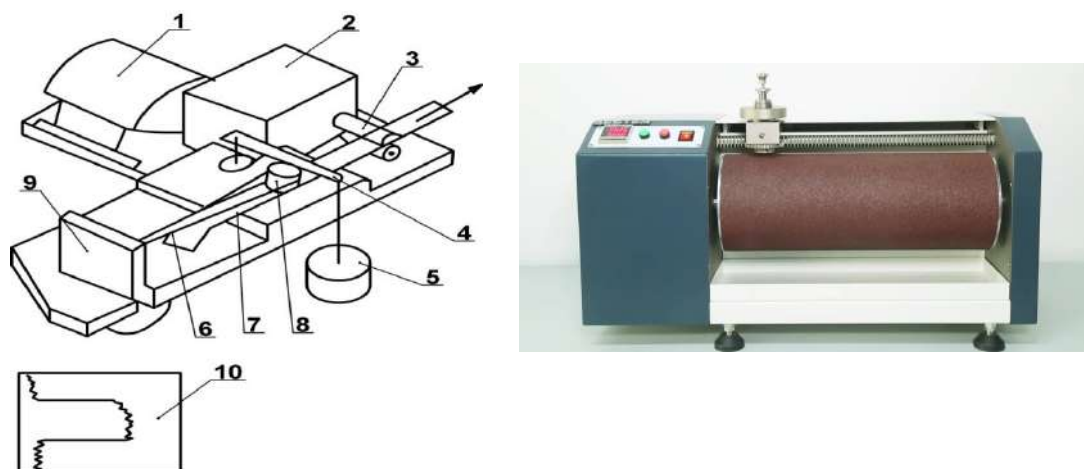


Рисунок 4.33 – Зовнішній вигляд та принципова схема установки для випробування матеріалів на абразивне зношування: 1 електродвигун; 2 редуктор; 3 валки; 4 коромисло; 5 вантаж; 6 нитка; 7 стрічка абразивна; 8 зразок; 9 – тензорезисторний силовимірювальний елемент; 10 потенціометр

Цей показник можна обчислити за допомогою співвідношення між загальною роботою тертя та зміною маси зразка [129]. Питома робота абразивного зносу, (Н•мм/г), ФП-сила, Н, і Lтр, мм зміщення пера самописного приладу від сили F, що додається.

Результати експериментальної оцінки гамма-відсоткового ресурсу зразків за результатами випробувань у контакті з абразивною стрічкою представлені в таблиці 4.22.

Зразок	L, мм	Δm_{cp} , г	t_{γ} , год, при $u_p=95\%$
СЧ20	100	0,0086	114
СЧ20 зміцнення FeO	100	0,0039	253
СЧ20 зміцнення Cr2O3	100	0.00023	429

Закінчення таблиці 4.22

СЧ20 зміцнення МоО2	100	0.00027	365
Хромистий чавун (15% Cr)	100	0.00019	511

Результати дослідження показують, що за допомогою зміцнення гамма-відсотковий ресурс можна підвищити більш ніж у два рази порівняно з вихідним матеріалом. Крім того, можна порівняти гамма-відсотковий ресурс зміцненого шару з зносостійким чавуном.

Висновки за розділом 4

1. Результати комплексного техніко-економічного аналізу показали, що в умовах ремонтного виробництва використання нагрівання під загартування в електричній печі є оптимальним. Режими нагрівання компонентів із зміцненим шаром під загартування були визначені на основі рішення рівняння теплопровідності в критеріальній формі. Встановлено, що є можливість при ремонті збільшити твердість шару деталі, що ремонтується, в 2-5 разів у порівнянні з новою деталлю.

2. Розроблений метод зміцнення може збільшити міцність матеріалу в 1.3-2.5 рази порівняно з характеристиками неукріпленого сірого чавуну.

3. Шар має мінімальну товщину від 1 до 3 мм, що значно перевершує інші методи зміцнення сірого чавуну, які широко використовуються. У міру збільшення мікротвердості шару по його глибині є можливість кілька разів видаляти припуски під ремонтний розмір без необхідності повторного зміцнення.

4. Зміцнення дозволяє підвищити гамма-відсотковий ресурс більш ніж у два рази порівняно з вихідним матеріалом. Крім того, можна порівняти гамма-відсотковий ресурс зміцненого шару з зносостійким чавуном.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

5 ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

5.1 Випробовування накладок на робочі органи будівельно- дорожніх машин після зміцнення

Зубці ковша екскаватора та ножі відвалу бульдозера були виготовлені зі зносостійкими накладками зі зміцненим шаром. Зносостійка накладка та зуб зварювалися.

Під час ремонту на «Спецтехсервіс» на ківш екскаватора встановили зубці зі зносостійкими накладками.



Рисунок 5.1 – Ківш екскаватора ПЗ «Спецтехсервіс»

Випробування проводили на екскаваторі 2 розмірної групи.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73



Рисунок 5.2 – Екскатор

Були виготовлені зубці ковша екскаватора, що містять зносостійкі накладки з термодифузійного сірого чавуну марки СЧ-20.вінне поверхнєве легування за допомогою взаємодії з оксидом молібдену та подальшого загартування, як показано на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 – Зносостійкі накладки (футерувальні пластини)

Зуб і осостійка накладка з'єдналися за допомогою зварювання. Встановлення УДГУ-251 потребувало ручного дугового зварювання в середовищі захисних газів. електрострум 116 А. Електрод із вольфраму має діаметр три міліметри. Не застосовувалися попереднє нагрівання та присадки. Аргон є захистом. Металографію зварного шва показано на рис. 5.4.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

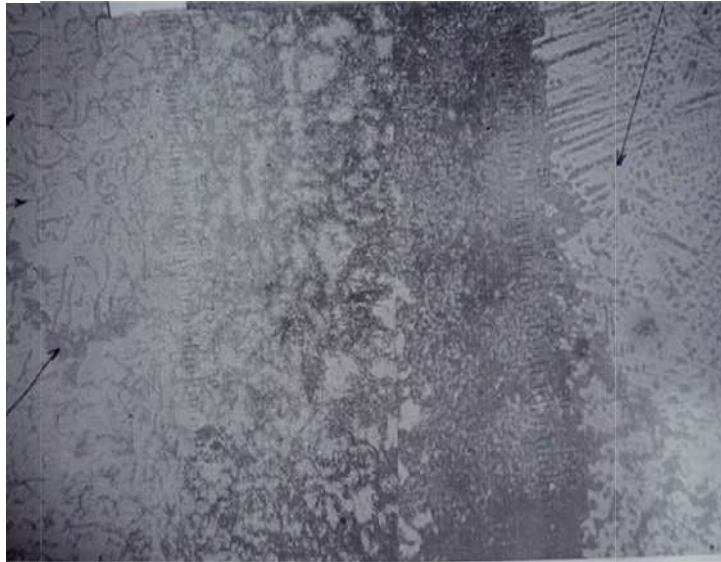


Рисунок 5.4 – Мікроструктура зварного шва, x300

Як показали дослідження, зварний шов не має дефектів.

З сірого чавуну марки СЧ-20, зміцненого взаємодією з оксидом молібдену та загартованого, були виготовлені зносостійкі накладки на відвал комунальної машини.

На натурних випробуваннях екскаватором досліджували зв'язний ґрунт категорії III і IV, який мав щільність 1600–2000 кг/м³, коефіцієнт розпушування 1,2–1,35 і питомий опір різання 150–300 КПа. Таблиця 5.1 містить дані про середню довговічність зносостійких накладок зубів ковша екскаватора та розрахункову величину гамма-відсоткового ресурсу.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Таблиця 5.1 – Результати випробувань зубів ковша екскаватора та ножа відвалу бульдозера із зносостійкими накладками

Назва деталі	Матеріал	Спосіб зміцнення	Твердість	Середня довговічність за результатами випробувань, ч	Розрахункова величина гамма відсоткового ресурсу t_p , год, $u_p=95\%$
Зуб ковша екскаватора 2 розмірної групи	110Г13Л	Без зміцнення	НВ 229	262	225
	СЧ-20	Легування МоО2 + закалка	НВ 580-600	285	256
Ніж відвалу бульдозера (бульдозер відноситься до групи «середня» по тяговому зусиллю)	110Г13Л	Без зміцнення	НВ 229	584	548
	СЧ-20	Легування МоО2 + закалка	НВ 580-600	689	643

Крім того, було проведено випробування на зубах ковшів мінівантажувачів (див. рис. 5.5). Випробування проводилися на мінівантажувачах Termit 1000 заводу дорожніх машин (див. рис. 5.6). Умови випробувань включають перевантаження насипного ґрунту (щебеню) під час будівництва дороги. Щебінь має гранулометричний склад 10-20 та 20-40, лежкість III-IV, твердість НВ740-820 і насипну щільність 1250 кг/м³.

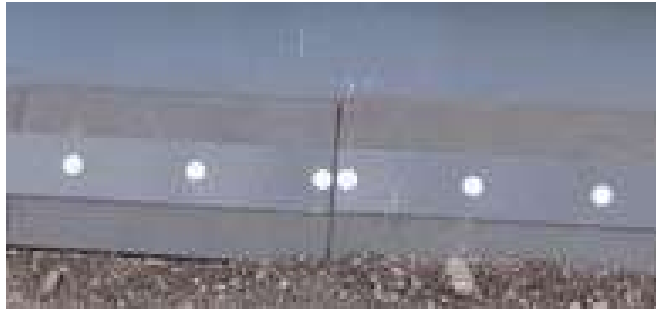


Рисунок 5.5 – Встановлення пластин на ківш мінівантажувача



Рисунок 5.6 – Мініпогрузчик Termit 1000



Рисунок 5.7 – Ківш мінівантажувача Termit 1000 без зносостійких елементів через 2 місяці роботи

Результати випробувань та теоретичного визначення гаммавідсоткового ресурсу наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Оцінка ресурсу за результатами випробувань

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Назва деталі	Матеріал	Спосіб зміцнення	Твердість	Середня довговічність за результатами випробувань, годин	Розрахункова величина гаммавідсоткового ресурсу t_r , год, $cr=95\%$
Ківш міні-навантажувача	110Г13Л	Без зміцнення	НВ 229	612	587
	СЧ-20	Легування оксидом молібдену + загартування	НВ 580-600	745	708

Таблиці показують, що запропоновані рішення можуть знизити швидкість зношування та підвищити довговічність на 15–20 відсотків.

У той же час таблиці 5.1 і 5.2 показують, що величини, отримані під час випробувань, менші, ніж розрахункові значення гаммапроцентного ресурсу. Отже, коли гамма-відсоткові значення ресурсу теоретично використовуються для планування ремонту та відновлення елементів робочого обладнання, може виникнути ситуація, коли ресурс не вироблений повністю. Отже, оцінка ризиків виходу з експлуатації робочих органів є важливим аспектом планування ремонтних заходів.

Таблиця 5.3 містить типові технологічні процеси для виготовлення та ремонту деталей будівельно-дорожніх машин без використання розробленої технології поверхневого зміцнення.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Таблиця 5.3 Типовий технологічний процес ремонту деталей будівельно-дорожніх машин без використання розробленої технології поверхневого зміцнення

№ операції	Найменування операції	Зміст операції
Стадія виготовлення нової деталі		
1	Заготівельна	
2	Токарна	Чорнова та чистова обробка
3	Термічна (хімікотермічна або фізикотехнічна операція зміцнення)	Підвищення твердості поверхневого шару (викликано видаленням припуску)
4	Мийна	Миття, очищення
5	Шліфувальна (або полірувальна)	Фінішна обробка (отримання необхідних параметрів якості поверхневого шару)
Стадія ремонту		
1	Дефектувальна	
2	Токарна	Обробка поверхонь до видалення слідів зносу
3	Термічна (хімікотермічна або фізикотехнічна операція зміцнення)	Підвищення твердості поверхневого шару (викликано видаленням припуску)
4	Шліфувальна (або полірувальна)	Фінішна обробка (отримання необхідних параметрів якості поверхневого шару)

Як показано в таблиці 5.3, традиційні методи поверхневого зміцнення вимагають використання повторного зміцнення на стадії ремонту. Це пов'язано з тим, що під час ремонту зміцнений шар видаляється (наприклад, шляхом розточування в необхідний розмір).

Під час ремонту можна використовувати шар, який не видаляється повністю,

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

щоб запобігти повторному зміцненню. В деяких випадках шліфування також можна уникнути за допомогою системи автоматичного забезпечення шорсткості.

Таблиця 5.4 містить типовий технологічний процес ремонту деталі за допомогою розробленої технології поверхневого зміцнення.

Графік 5.4 Типовий технологічний процес ремонту деталей будівельно-дорожніх машин за допомогою розробленої поверхневої обробки

№ операції	Найменування операції	Зміст операції
Стадія виготовлення нової деталі		
1	Заготівельна	
2	Хіміко-термічна	Забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей
3	Мийна	Миття, очищення
4	Токарна (з використанням системи забезпечення шорсткості)	Фінішна обробка (отримання трьох параметрів якості поверхневого шару)
Стадія ремонту		
1	Мийна	Миття, очищення
2	Дефектувальна	
3	Токарна (з використанням системи забезпечення шорсткості)	Обробка поверхонь до видалення слідів зносу та фінішна обробка (отримання необхідних параметрів якості поверхневого шару)

Розглядалися деталі приводу відвалу комунального АТ, що виготовляється, «завод дорожніх машин» (див. Рисунок 5.8).

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80



Рисунок 5.8 – Відвал комунальний

Як деталі розглядалися втулка, що входить у доопрацювання гідроциліндра та шарнір. Вимоги до точності та шорсткості виконавчих поверхонь деталей: IT8, Ra 0.8...1.25.

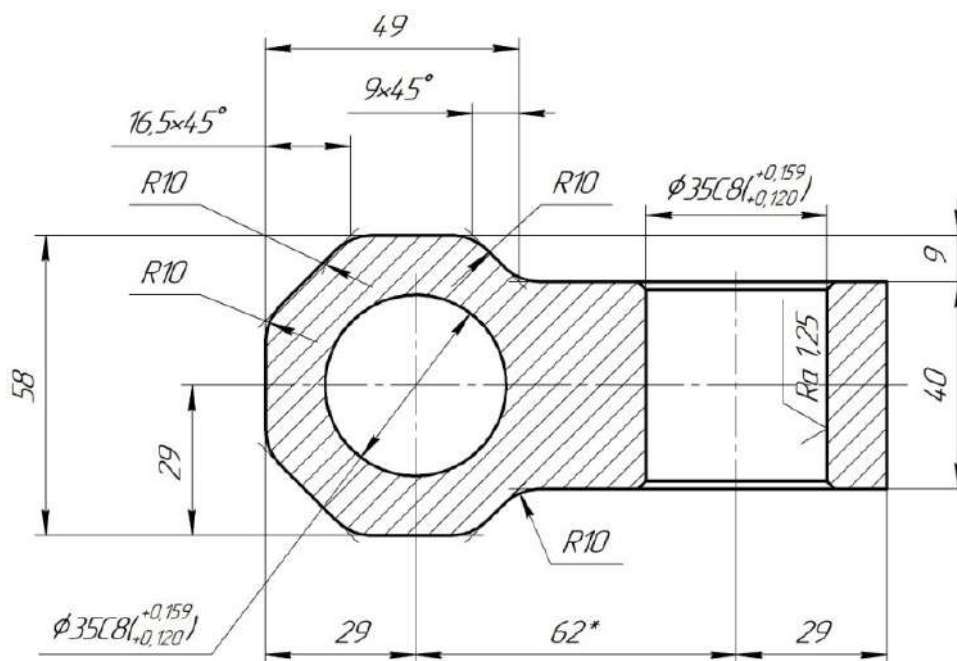


Рисунок 5.9 – Деталь шарнір

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

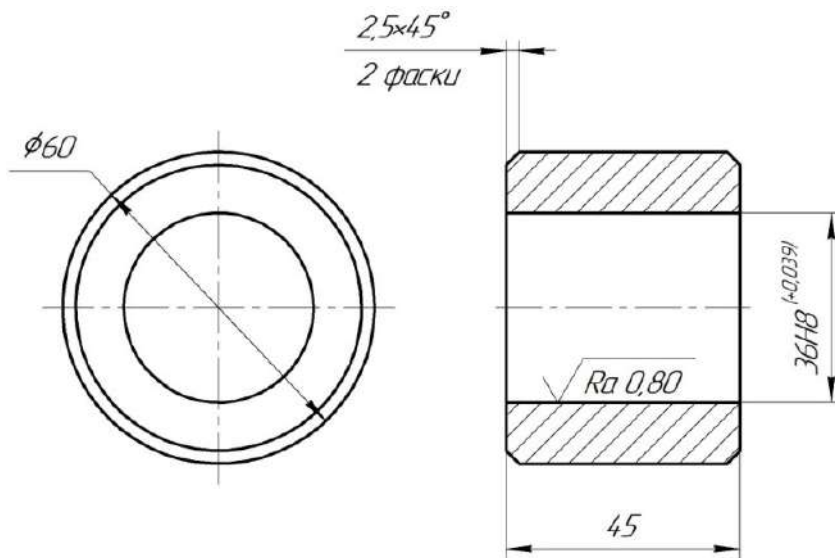


Рисунок 5.10 – Деталь втулка

У разі поверхневого легування хімікотермічна обробка проводиться першою. Після видалення припуску при обробці в ремонтний розмір не потрібно повторного зміцнення.

змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРММТВА 2524334. 000 ПЗ

Арк.

82

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Для опису процесу взаємодії робочих органів будівельно-дорожніх машин з абразивним ґрунтом, особливо техногенним, були введені нові терміни: «коефіцієнт числа частинок ґрунту, що взаємодіють з поверхнею ріжучого елемента», «коефіцієнт глибини впровадження абразивних частинок ґрунту в поверхню ріжучого елемента» матеріалу. Це дозволяє більш точно враховувати вплив абразивних властивостей ґрунту на довговічність робочих органів будівельно-дорожніх машин порівняно з традиційними характеристиками ґрунту за ДСТУ 12536-2014.

2. Розроблено ряд математичних моделей, які дозволяють прогнозувати динаміку зношування ріжучої кромки та значення напрацювання, які відповідають досягненню граничного стану. Це дозволяє більш точно визначати величину міжремонтного інтервалу в залежності від виду ґрунту, що розробляється, фізико-механічних властивостей матеріалу робочих органів і процесів розробки ґрунту. За допомогою даних моделі можна до 1,5 разів точніше визначати значення гамма-відсоткового ресурсу для зносостійких елементів робочих органів із поверхневим зміцненням. Це також збільшує ймовірність того, що вузли, що містять зміцнений шар після обробки, будуть працювати нормально під час ремонту.

3. На основі теоретичних і експериментальних досліджень було розроблено нову стратегію підвищення довговічності робочих органів і шарнірів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин. Цей метод дозволяє створювати зміцнений шар завтовшки до 3 мм.

4. Для наступної механічної обробки деталей будівельно-дорожніх машин, що ремонтуються, розроблено технологічні рекомендації у вигляді залежностей для визначення параметрів легування, загартування та складових припусків.

5. Дослідження профілю шорсткості поверхні деталей базується на теорії випадкових процесів і методах фрактальної геометрії. Результати показують,

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

що частка випадкової компоненти зростає зі зменшенням середньоарифметичного відхилення профілю, а вплив вібрацій під час обробки на формування профілю поверхні збільшується. Структура та програмно-апаратний комплекс розроблені для автоматичного контролю стану різального інструменту, швидкої заміни зношених інструментів і забезпечення необхідних параметрів шорсткості поверхні шарнірів робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.

6. Дослідження та тестування результатів у реальних умовах експлуатації підтвердили справедливість теоретичних досліджень. Запропоновані рішення підвищують довговічність робочого обладнання будівельно-дорожніх машин на 18-25% за показником гамма-відсоткового ресурсу. Згідно з економічними розрахунками, зносостійкий елемент із сірого чавуну коштував 292 грн., а двокомпонентний захист із зносостійкого чавуну зі сталеву основою коштував 400 грн., без урахування вартості припою. Таким чином, зниження витрат становить 27%.

На основі теоретичних та експериментальних положень, розроблених у цій роботі, запропоновано науково-технічне рішення науково-технічної проблеми підвищення довговічності робочого обладнання будівельно-дорожніх машин. Це питання має важливе народногосподарське та соціальне значення. Дослідження мають на меті створити систему планування та технічного обслуговування робочого обладнання будівельно-дорожніх машин. Мета цього дослідження полягає в удосконаленні теоретичних та ризикорієнтованих моделей, які були розроблені на основі даних реального експлуатаційного досвіду, отриманих з бортових комп'ютерів СДМ, а також у створенні цифрових двійників робочого обладнання будівельно-дорожніх машин.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдонькін, Ф.М. Поточний ремонт автомобілів/Ф.М. Авдонькін. - Київ.: Транспорт, 1978. - 269 с.
2. Баловнєв, В.І. Дорожньо-будівельні машини та комплекси: підручник для ВНЗ / В.І. Баловнєв, А.Б. Єрмілов, О.М. Новіков. - Київ.: Машинобудування, 1988. - 384 с.
3. Бурумкулов, Ф.Х. Вплив фізико-механічних властивостей та залишкової напруги електроіскрових покриттів на зносостійкість сполук / Ф.Х. Бурумкулов, М.А. Окін, В.І. Іванов// Ремонт, відновлення, модернізація. - 2009. - №2. - С. 17-23.
4. Вєтров, Ю.А. Опір ґрунтів різання/Ю.А. Вітрів. - Київ: Вид. Київського університету, 1965. - 167 с.
5. Віттенберг, Ю.Р. Шорсткість поверхні та методи її оцінки / Ю.Р. Віттенберг. - Л.: Суднобудування, 1971. - 98 с.
6. Дехтеринський, Л.В. Капітальний ремонт автомобілів/Л.В. Дехтеринський, Р.Є. Єсенберлін. - Київ.: Транспорт, 1989. - 335 с.
7. Домбровський, Н. Г. Землерійні машини/Н.Г. Домбровський, С.А. Пакратов. - Рівне.: Держбудвидав, 1961. - 476 с.
8. Дюмін, І.Є. Ремонт автомобілів/І.Є. Дюмін, Г.Г. Трігуб. - Київ.: Транспорт, 1988. - 280 с.
9. Єлизаветін, М.А. Підвищення надійності машин/М.А. Єлизаветін. - Київ.: Машинобудування, 1973. - 430 с.
10. Крамаренко, Г.В. Технічна експлуатація автомобілів: Підручник для ВНЗ / Г.В. Крамаренко. - Київ.: Транспорт, 2009. - 488 с.
11. Кроновер, Р.М.: Фрактали та Хаос у динамічних системах: Основи теорії / Р.М. Кроновер. - Х.: Постмаркет, 2000. - 352 с.
12. Лагєрев, І.А. Моделювання робочих процесів маніпуляційних систем мобільних багатоцільових транспортно-технологічних машин та комплексів: монографія / І.А. Таборів. - Львів: РІО БДУ, 2016. - 371 с.: іл.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

13. Левковець, П.Р. Якість ремонту та технічного обслуговування автомобілів в АТП/П.Р. Левковець, В.М. Городницький, П.Я. Каліта - Київ: Техніка, 1999. - 96 с.: Іл.

14. Kirk DE Optimal Control Theory. An introduction. - Dover Publication Inc., Mineola, New York, 2004.

15. Kohonen T. Self-organizing maps/ TeuvoKohonen. - 3 ed. - Berlin; Heidelberg; New York; Барселона; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokio; Springer, 2001.

16. Metallization of working surface of sleeve of cylinders // A.Sh.Nurutdinov, ALHokhlov, IR Salakhutdinov, A. A.Hokhlov //and practical conference. -Czech Republic: Prague, 2013. - P . 3-6.

17. Mortensen A. and Clyn, TW Metal-matrix composites: Challendges and opportunities in European White Book on Fundamental Research in Material Science, Max-Planck-Institut fur Metallforschung, Stuttgart, pp. 210-213, 2001.

18. Ovsyannikov VE Surface hardening of parts from ferrite-pearlite gray iron / Ovsyannikov VE, Gurevich YG, Marfitsyn VV, Frolov VA // Vetal science and head treatment. - 2011. - pp. 318-321.

19. Ovsyannikov VE Розробка технології для посилення глибоких білих компонентів, що тягнуться з нижньою шкалою / Ovsyannikov VE, Gurevich YG, Frolov VA // Metallurgist. - 2012. - pp. 526-529.

20. Ovsyannikov VE Diffusion chromizing of grey iron reaction with cromiumoxide /Ovsyannikov VE, Gurevich YG, Frolov VA // Metallurgist. - 2012. - pp. 854-858.

21. Ovsyannikov VE За допомогою surface diffusion hardening in manufacturing and repair technology of industrial vehicle components / Ovsyannikov VE, Vasiliev VI, Ziganshin RA // International journal of mechanical engineering and technology. - 2017. №9. -pp. 399-406.

22. Ovsyannikov VE Визначення негайних режимів після thermodiffusion hardening of parts from gray cast iron / Ovsyannikov VE, Vasiliev VI,

Nekrasov R.Yu // Відповідь міжнародної конференції є механічним Engineering (AIME). - 2017. - pp. 537-542.

23. Ovsyannikov VE Peculiar features of formation of surface roughness profile upon mechanical processing of iron parts of handling machines after diffusion alloying / Ovsyannikov VE, Vasiliev VI, Ziganshin RA, Terekhov AS // International journal of mechanical – 2018. – №3. - pp. 1061–1067.

24. Ovsyannikov VE Influence diffusional surface alloying на hardened-layer thickness for gray-iron machine parts / Ovsyannikov VE, Vasiliev VI, Nekrasov RY, Tempel YA // Russian engineering research. – 2018. – №48 – pp. 901-903.

25. Roethel F., Dobovsek M., Grabes I. Acoustic Emission of Grinding. Strojniskivestnik – Vechanical journal, Ljubljana. Vol 23. №11-22 pp 1-5, 1977.

26. Ross SM Stochastic Processes. Second Edition. - New York - Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore, 1997.

27. Ruelle D. Chance та Chaos. - Princeton University Press, 1991.

28. Tabor M. Chaos and Integrability в нелінійних динамічних процесах. - Columbia University New York, New York. - 1988.

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

ДОДАТКИ

					КРММТВА 2524334. 000 ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88