

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ
ДОВГОВІЧНОСТІ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ АГРЕГАТІВ
ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-24
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Зайцев Єгор Володимирович

Керівник: _____ Мельянцов Петро Тимофійович

Рецензент: _____

Дніпро - 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н, доц.

(вчене звання)

Дудін В. Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Зайцеву Єгору Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Удосконалення технології підвищення довговічності аксіально-поршневих агрегатів об'ємного гідроприводу»

керівник роботи Мельянцева Петро Тимофійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи 1. Конструкція, принцип роботи та застосовність об'ємного гідроприводу. Аналіз відмов і збоїв у роботі об'ємного гідроприводу. Технології підвищення післяремонтного ресурсу об'ємних гідроагрегатів. Результати дослідження ремонтної технологічності деталей об'ємних гідромашин.

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки: 1. Огляд сучасного рівня розробки питання та визначення цілей роботи. 2. Теоретичні основи підвищення довговічності об'ємного гідроприводу. 3. Методологічні принципи виконання роботи. 4. Підсумки проведених досліджень. 5. Забезпечення охорони праці під час аварійних обставин. 6. Оцінювання

економічної ефективності. Підсумки виконаного дослідження. Джерела інформації.

5. Склад матеріалу для демонстрації

1. Мета роботи і її задачі (1 аркуш, А4). 2. Аналітичні дослідження (3 арк., А4). 3. Методика експерименту (3 аркуші, А4). 4. Експериментальні дослідження (5 аркушів, А4) 5. Економічна ефективність (1 аркуш, А4). 6. Основні висновки (3 арк., А4)

6. Консультанти роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 6.	Мельянцов П.Т., доцент		
нормо контроль	Івлєв, В. В., доцент		

7. Дата видання завдання : _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Етапи	Термін виконання	Примітка.
1	Сучасний стан питання	до 30.09.2025 р.	Викон.
2	Теоретичні дослідження	до 15.10.2025 р.	Викон.
3	Методологічні принципи виконання роботи	до 02.11.2025 р.	Викон.
4	Забезпечення охорони праці	до 15.11.2025 р.	Викон.
5	Підсумки роботи	до 25.11.2025 р.	Викон.
6	Презентація роботи	до 09.12.2025 р.	Викон.

Студент

(підпис)

Зайцев Є. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Мельянцов П. Т.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Зайцев Є. В. «Удосконалення технології підвищення довговічності аксіально-поршневих агрегатів об'ємного гідроприводу».

/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Технічний сервіс»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2025./

У роботі запропоновано метод оцінки ремонтпридатності деталей аксіально-поршневих гідромашин (НП-90, МП-90) на основі максимальної глибини гідроабразивних та ерозійних каналів, неплоскості та товщини деталі. Метод забезпечує достовірну оцінку технічного стану та вибір оптимального способу відновлення. Розроблено прогресивний спосіб відновлення латунного приставного дна та кільцевої опори п'яти з використанням електроконтактного напікання порошку з оптимізованим складом та режимами процесу, що підвищує міцність, зносостійкість і антикорозійні властивості відновлених поверхонь.

Кореляційний аналіз показав взаємозв'язок між параметрами процесу напікання та фізико-механічними властивостями поверхні, що дозволяє прогнозувати результати відновлення та знижувати ризик дефектів. Використання запропонованого методу підвищує точність оцінки стану деталей, зменшує необґрунтовані витрати на ремонт і збільшує ремонтний фонд гідромашин на 30 %. Впровадження технології забезпечує коефіцієнт відновлення до 95 %, зниження собівартості ремонту та додатковий прибуток підприємств із терміном окупності капіталовкладень 1,4 року.

Ключові слова: гідромашини, аксіально-поршневі агрегати, торцеве розподілення, ремонтпридатність, електроконтактне напікання, гідроабразивне зношення, відновлення поверхонь, технологія ремонту, зносостійкість, фізико-механічні властивості.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО РІВНЯ РОЗРОБКИ ПИТАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ РОБОТИ.....	10
1.1 Конструкція, принцип роботи та застосовність об'ємного гідроприводу	10
1.2 Аналіз відмов і збоїв у роботі об'ємного гідроприводу	12
1.3 Технології підвищення післяремонтного ресурсу об'ємного гідроприводу	16
1.4 Мета і задачі роботи.....	18
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ	19
2.1 Аналітичне дослідження ремонтної технологічності деталей качаючого вузла	19
2.2 Оцінка ремонтпридатності деталей торцевого розподільника аксіально-поршневої гідромашини	28
3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
3.1 Методичні підходи до визначення міцності адгезії покриттів	34
3.2 Методичні підходи до випробування покриттів на твердість	35
3.3 Методичні підходи до визначення триботехнічних характеристик деталей.....	36
3.4 Методика проведення електроконтактного напикання при відновленні приставного дна	38
3.5 Методичні підходи до електроконтактного напикання при відновленні кільцевої опори п'яти плунжера	42
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	44
4.1 Результати фізико-механічних властивостей відновленого приставного дна.....	44
4.2 Фізико-механічні характеристики відновленої кільцевої опори п'яти плунжера	48
4.3 Технологічний процес відновлення приставного дна.....	51
5. ПРАЦЯ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ	56

5.1 Умови праці та стан пожежної безпеки в спеціалізованій ремонтній майстерні	56
5.2 Організаційно-технічні заходи для підвищення безпеки та комфорту праці.....	58
5.3 Заходи при надзвичайних ситуаціях під час ремонту об'ємних гідромашин.....	60
6. ПІДСУМКИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	62
ПІДСУМКИ ВИКОНАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	68
ЛІТЕРАТУРА	71
ДОДАТОК	74

ВСТУП

Важливим резервом підвищення ефективності машин з гідравлічними трансмісіями є відновлення зношених деталей. Цей процес передбачає комплекс операцій, спрямованих на повернення деталі справного стану та відновлення її технічного ресурсу.

Економічна доцільність такого підходу підтверджується можливістю багаторазового використання 65–75% деталей. Вартість відновлення зазвичай становить до 75% від ціни нової деталі, а матеріальні витрати знижуються у 15–20 разів.

Однак основним обмеженням є низька експлуатаційна надійність таких деталей. Їх ресурс після відновлення в середньому не перевищує 60–80% ресурсу нових зразків. Причинами цього є порушення геометрії корпусних деталей та застосування технологій, що не забезпечують необхідної зносостійкості та втомної міцності.

Таким чином, підвищення якості та, як наслідок, довговічності відновлених деталей є складною комплексною проблемою, яка вимагає системного підходу. Ефективне управління якістю має охоплювати всі етапи - від дослідження та проектування технологій розбирання, дефектації, відновлення та складання до випробувань. Саме цим питанням і присвячено дане дослідження.

Мета роботи - підвищити післяремонтну надійність агрегатів об'ємних гідравлічних трансмісій шляхом обґрунтування та впровадження ефективних ресурсозберігаючих технологічних рішень у процесі їх ремонту.

Задачі досліджень:

1. Провести теоретичний аналіз та оцінку ремонтної технологічності деталей качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини.
2. Дослідити ремонтпридатність деталей торцевого розподілення робочої рідини аксіально-поршневої гідромашини в умовах відновлювального ремонту.
3. Обґрунтувати методика відновлення працездатності аксіально-поршневої гідромашини.

4. Розробити технологічні процеси відновлення деталей качаючого вузла з визначенням ефективного способу усунення виявлених дефектів.

5. Виконати техніко-економічну оцінку запропонованих технологічних рішень щодо ремонту об'ємного гідроприводу.

Об'єкт дослідження - агрегати гідравлічних трансмісій та процеси, що визначають втрату їх працездатності.

Предмет дослідження - зміна структурних і технічних параметрів деталей качаючих вузлів та технологічні методи відновлення їх працездатності.

Наукова новизна роботи.

1. Розроблено метод оцінки ремонтпридатності деталей торцевого розподілення на основі параметрів зношення: максимальна глибина ерозійних каналів, неплоскість та товщина деталі.

2. Встановлено кореляційний зв'язок між складом порошкової суміші, режимом електроконтактного напікання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні.

3. Запропоновано оптимальні параметри процесу електроконтактного напікання (струм, тиск, напруга, час) та склад порошкової композиції для латунного приставного дна та кільцевої опори п'яти плунжера.

4. Впроваджено науково обґрунтований підхід до підвищення ремонтної технологічності деталей, що обмежують ресурс гідравлічної трансмісії.

Практична цінність роботи.

1. Метод оцінки ремонтпридатності дозволяє збільшити точність діагностики технічного стану деталей та уникнути необґрунтованих витрат на ремонт.

2. Запропонована технологія електроконтактного напікання забезпечує високий коефіцієнт відновлення деталей (95–98 %) і покращує їх фізико-механічні властивості, знижує інтенсивність зношування та підвищує ресурс агрегатів.

Висвітлення результатів. Виступ на міжнародній конференції:

Зайцев Є. В. Технологія відновлення кільцевої опори п'яти плунжера качаючого вузла об'ємних аксіально-поршневих гідромашин. *Scientific Collection «InterConf+»*, 63(272): *Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects»* (19–20 листопада 2025 р., Рим, Італія) / уклад. LLC SPC «InterConf». Rome: Dana, 2025. – С. 262–273. – 378 с. – ISSN 2709-4685. DOI: 10.51582/interconf.19-20.11.2024.024.

Публікація. Зайцев Є. В. Технологія відновлення кільцевої опори п'яти плунжера качаючого вузла об'ємних аксіально-поршневих гідромашин. / Є. В. Єлізаров, П. Т. Мельянцов // *Scientific Collection «InterConf+»*. 2025. № 63(272). *Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects»* (19–20 листопада 2025 р., Рим, Італія). Rome: Dana, 2025. С. 262–273. DOI: 10.51582/interconf.19-20.11.2024.024.

1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО РІВНЯ РОЗРОБКИ ПИТАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ РОБОТИ

1.1 Конструкція, принцип роботи та застосовність об'ємного гідроприводу

Об'ємний гідропривід являє собою комплекс об'ємних гідромашин та гідроапаратури, за допомогою яких механічна енергія від двигуна передається до робочого органа через потік робочої рідини.

До складу об'ємних гідромашин належать аксіально-поршневі гідронасоси, що виконують функцію вхідної ланки, та аксіально-поршневі гідромотори - вихідної ланки, класифікацію яких наведено на рис. 1.1.

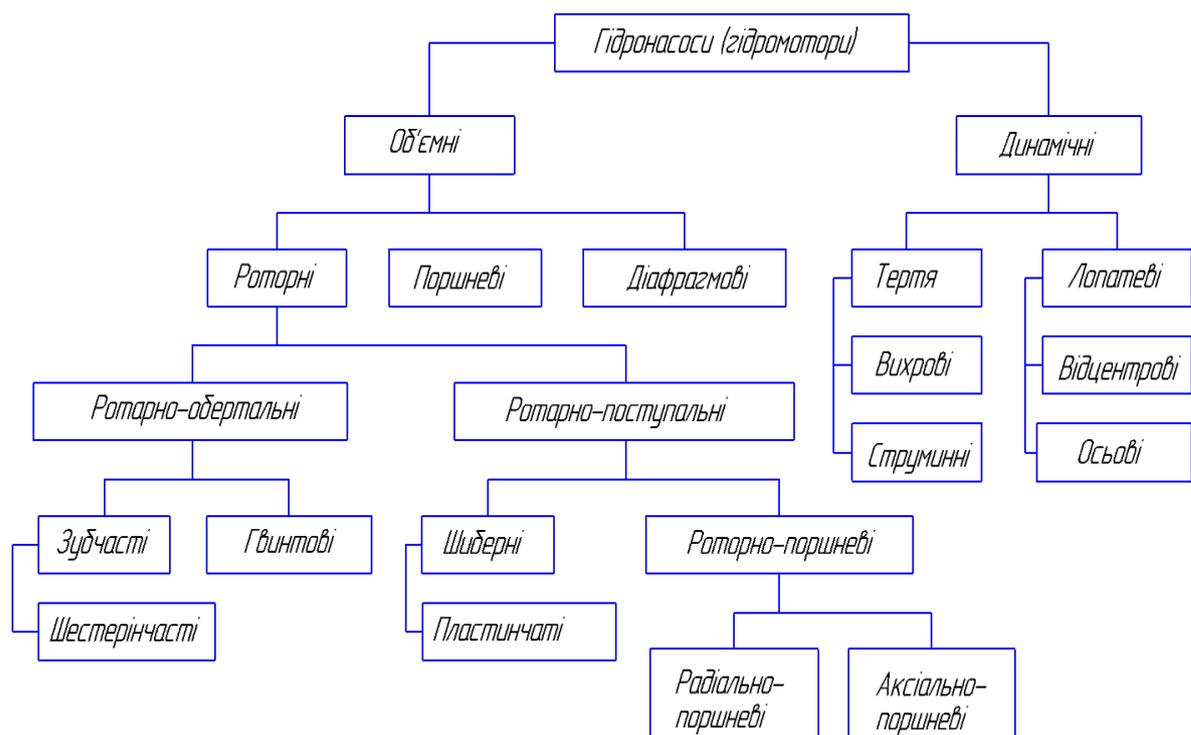


Рис. 1.1 – Узагальнена класифікація елементів об'ємного гідроприводу

Роторно-поршневі об'ємні гідроприводи є найбільш поширеними в мобільних енергетичних машинах і складають близько 30% відповідно від

загально обсягу [1, 2]. Зразком даного типу приводу являються гідростатичні трансмісії ГСТ-90 і ГСТ-112, які оснащені об'ємними гідромашинами з аксіальним розміщенням плунжерів.

Широке використання об'ємних гідроприводів ГСТ-90 та ГСТ-112 у сільськогосподарській техніці пояснюється низкою переваг, серед яких: безступінчасте регулювання швидкості обертання та реверс гідромотора; компактні розміри; високий ККД до 0,97; можливість роботи при високих частотах обертання та значному тиску; низька інерційність. Завдяки цим технічним характеристикам гідравлічні трансмісії ГСТ-90 та ГСТ-112 є універсальними засобами для механізації та автоматизації різних технологічних процесів.

Загальна схема гідравлічного приводу трансмісії ГСТ-90 представлена на(рис. 1.2) .

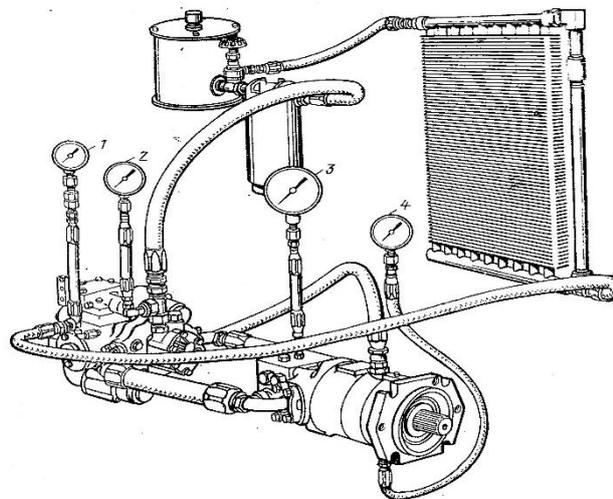


Рис. 1.2 - Загальна конструкція об'ємної гідравлічної трансмісії

Об'ємний гідропривід ГСТ-90 включає регульований аксіально-поршневий насос НПА-90, що містить шестеренний насос підживлення та сервоклапан, нерегульований гідромотор МПА-90 із клапанною коробкою, трубопроводи високого та низького тиску, резервуар для робочої рідини, теплообмінник, а також фільтр тонкого очищення з вакуумметром [ЗКир.].

У конструкції ГСТ-90 умовно виділяють такі основні системи: «гідронасос–гідромотор», систему підживлення, систему сервокерування та клапанно-запобіжну систему.

Система «гідронасос–гідромотор» забезпечує перетворення механічної енергії двигуна в гідравлічну за допомогою гідронасоса, який створює потоки робочих оливо в замкнутому контурі гідропривода, що приводять в дію гідравлічний мотор, який перетворює гідравлічну енергію в появі моменту на його валу. Дана система характеризується замкненою циркуляцією робочої оливи.

Контур живлення призначений для підтримки необхідного тиску в лінії керування, компенсації витоків у гідронасосі та гідромоторі, а також для забезпечення фільтрації та охолодження робочої рідини.

Система сервокерування забезпечує регулювання подачі насоса, частоти обертання вала гідромотора, тиску в гідролінії «насос–гідромотор» та крутного моменту на валу гідромотора.

Отже, аналіз конструкції агрегатів трансмісії дозволяє зробити висновок, що вони включають систему підживлення, механізм керування робочим об'ємом та клапанно-розподільчі пристрої.

Крім того, качаючий вузол агрегатів складається з деталей, виготовлених з високою точністю та класом чистоти поверхні (наприклад, прецизійне спряження «втулка–плунжер»), що висуває підвищені вимоги до чистоти робочої рідини та технології ремонту.

1.2 Аналіз відмов і збоїв у роботі об'ємного гідроприводу

Аналітичне обґрунтування впливу зміни структурних параметрів стану деталей спряжень качаючих вузлів на працездатність аксіально-поршневих агрегатів дозволяє виявити причини їх відмов, оцінити вплив технічного стану деталей на довговічність та оптимізувати якість і собівартість ремонту гідроагрегатів.

Основою таких досліджень є встановлення взаємозв'язку між структурними та вихідними параметрами гідроагрегату, що зазвичай проводиться за допомогою аналітичних та експериментальних методів, з застосуванням причинно-наслідкових моделей.

Аналітичні моделі ефективні для окремих елементів гідроприводів [4, 5], тоді як для складних систем сучасних машин доцільніше застосовувати структурно-функціональні схеми на основі логічних методів алгебри, де гідропривід розбивається на складові і формується структурна схема [6].

У роботі [7] аксіально-поршневі гідроагрегати гідравлічної трансмісії ГСТ-90 розглядаються за окремими компонентами та блоками: КК – блок клапанів; КН – насосний блок; КМ – моторний блок; СП – система підживлення; СКРО – система керування робочим об'ємом. Наведена статистична оцінка надійності показує: КН – 41,93 %, КМ – 24,98 %, СП – 9,13 %, СКРО – 9,37 %, КК – 8,35 %. Рисунок 1.3 показує лінійчатую гістограму вірогіднісних характеристик окремих елементів ГСТ-90.



Рисунок 1.3 - Ймовірності розподілу характеристик елементів ГСТ-90 (лінійчатая гістограма)

Із наведеної статистичної оцінки показників надійності випливає, що найбільша кількість відмов обумовлена зношенням деталей в качаючому вузлі гідронасоса - 41,93% та гідромотора – 24,98%.

Детальний аналіз технічного стану деталей качаючого вузла показує, що інтенсивному зношенню підпадають деталі спряження «розподільник – приставне дно».

Детальний аналіз технічного стану робочих поверхонь розподільника та приставного дна, наведений у роботі [8], показав, що основним видом їх зношення є гідроабразивне, причому максимальне зношення спостерігається вздовж твірних розподільчих вікон біля перемичок, що їх розділяють.

Це підтверджується й зовнішнім виглядом цих деталей, представленим на (рис. 1.4 та 1.5).

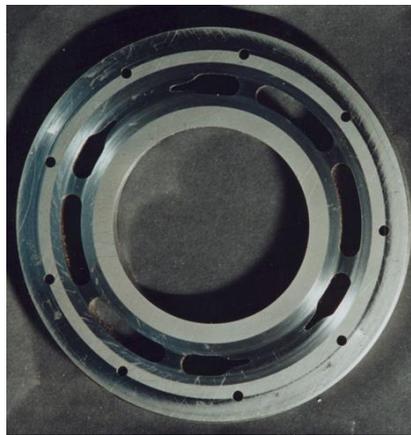


Рис. 1.4 - Зовнішні ознаки зношення розподільника

Крім гідроабразивного зношення, розподільник зазнає кавітаційних руйнувань у об'ємному гідроприводі (ГСТ) (рис.1.5).



Рис.1.5 - Зовнішні ознаки кавітаційного зношення робочої поверхні розподільника

Наявність таких видів зношення потребує для відновлення працездатного стану деталі застосування способів ремонту до номінального розміру.

Аналогічна картина спостерігається і у приставного дна (рис.1.6)

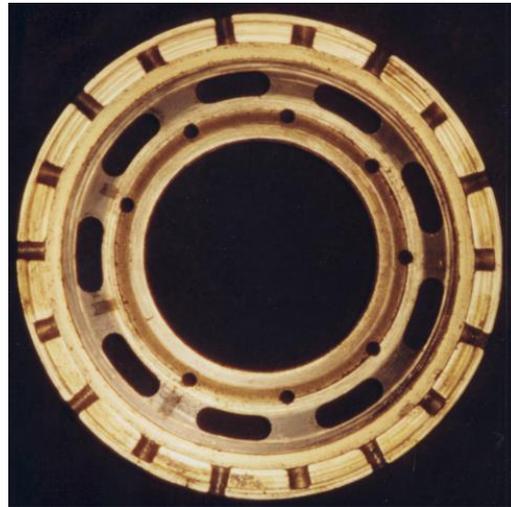


Рис.1.6 - Зовнішні ознаки зношення робочої поверхні приставного дна

Робочі поверхні деталі зношуються по краях серповидних вікон на внутрішньому та зовнішньому діаметрах ущільнювальних поясів, руйнуючи гострі кромки, що відповідають за ефективне відсікання потоків робочої рідини, що ускладнює технологічне відновлення.

Експериментальне вивчення особливостей та розвитку змін структурних параметрів складових з'єднання розподільник – приставне дно показало, що домінуючим видом зношення є гідроабразивне, а максимальне зношення спостерігається по зовнішньому поясу деталей, що пояснюється більшою швидкістю потоку на цьому діаметрі порівняно з внутрішнім.

Експериментальне вивчення структурного стану кільцевих опор п'ят плунжерів і опорної шайби насоса також виявили гідроабразивне зношення на їх робочих поверхнях (рис. 1.7).

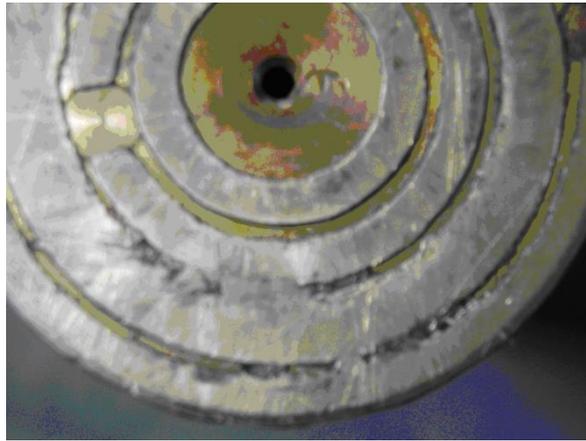


Рис. 1.7 – Зовнішні ознаки зношення п'яти плунжера

Згідно конструкції, п'яти плунжерів виготовлені з латуні (матеріал ЛМцСК 58-2-2-1-1 – ТУ 48–21–775–85), а їх робоча поверхня в вигляді кільцевої опори має чіткі виражені борозни, глибина та профіль яких мають вірогіднісний характер, що ускладнює їх дефектацію інструментальними методами.

Гідроабразивне зношення переважає на кільцевій опорі п'яти плунжера, утворюючи риски та канали, що викликають втрати робочої рідини, порушення плоскості третьових поверхонь і прискорене зношення опори. Є явним, що відновлення таких поверхонь потребує застосування відповідних способів для нарощування зношеної поверхні з послідуною її механічною обробкою під номінальний розмір.

1.3 Технології підвищення післяремонтного ресурсу об'ємного гідроприводу

Працездатний стан об'ємних гідромашин відновлюється на спеціалізованих сервісних підприємствах, що пояснюється складністю конструкції аксіально-поршневих гідромашин, наявністю прецизійних спряжень у качаючих вузлах та обмеженою інформацією про нормативні значення параметрів технічного стану деталей для ремонтних умов.

На сервісних підприємствах під час відновлення деталей і відповідних посадок у спряженнях качаючих вузлів широко застосовується метод

вільних ремонтних розмірів. Цей метод передбачає притирання робочих поверхонь деталей до повного усунення слідів зносу [9].

Зазначений метод є ефективним лише для деталей із незначним зношенням робочих поверхонь. У випадку суттєвого зносу для відновлення посадки в з'єднанні часто необхідна заміна однієї з деталей на нову, що призводить до підвищення коефіцієнта вибраковки та зростання собівартості ремонту гідроагрегату через використання нових компонентів.

Застосування цього методу характеризується мінімальними трудовими витратами, проте відновлені агрегати, як правило, не забезпечують повного міжремонтного ресурсу. Крім того, до 30–35 % деталей ремонтного фонду, що надходять на сервісні підприємства, підлягають утилізації.

У роботі [10] автори рекомендують для ремонту деталей об'ємних гідромашин з латуні застосовувати електроіскрове наплавлення, яке забезпечує необхідні фізико-механічні властивості відновленої поверхні.

Однак, використання цього методу по відношенню до кільцевої опори п'яти плунжера за технічним критерієм являється не можливим із-за геометричних розмірів кільцевих опор, і наявності на їх поверхні гострих кромки, які розділяють робочу поверхню опори з поверхнею, що формує камери гідростатичного підшипника.

Більш ефективним методом відновлення латунних деталей є використання технології порошкової металургії. Вона передбачає об'ємне просочення зношеної поверхні деталі розплавом міді в спеціальній прес-формі з наступною механічною обробкою [11].

Застосування цього способу супроводжується об'ємним нагріванням деталі, характерним для методів порошкової металургії, що впливає на фізико-механічні властивості матеріалу в цілому.

Уникнути вище наведених недоліків можливо шляхом розробки ефективних методів відновлення деталей качаючих вузлів гідроагрегатів до їх номінальних розмірів із забезпеченням необхідних фізико-механічних властивостей робочих поверхонь.

1.4 Мета і задачі роботи

Аналіз працездатності та довговічності об'ємних гідроприводів (ГСТ) показав, що їх експлуатаційна надійність залишається низькою. У реальних умовах експлуатації відмови ГСТ відбуваються раніше заявленого заводом-виробником гарантійного наробітку, а середній доремонтний ресурс не перевищує 60% від нормативного значення.

Сервісний ремонт об'ємних гідроприводів ГСТ не підвищує наробіток та міжремонтний ресурс, оскільки відсутні технології, що дозволяють відновити їх до рівня нового агрегату.

Мета роботи - підвищити післяремонтну надійність агрегатів об'ємних гідравлічних трансмісій шляхом обґрунтування та впровадження ефективних ресурсозберігаючих технологічних рішень у процесі їх ремонту.

Задачі досліджень.

1. Провести теоретичний аналіз та оцінку ремонтної технологічності деталей качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини.

2. Дослідити ремонтпридатність деталей торцевого розподілення робочої рідини аксіально-поршневої гідромашини в умовах відновлювального ремонту.

3. Обґрунтувати методику відновлення працездатності аксіально-поршневої гідромашини.

4. Розробити технологічні процеси відновлення деталей качаючого вузла з визначенням ефективного способу усунення виявлених дефектів.

5. Виконати техніко-економічну оцінку запропонованих технологічних рішень щодо ремонту об'ємного гідроприводу.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ

2.1 Аналітичне дослідження ремонтної технологічності деталей качаючого вузла

Оцінювання ремонтної технологічності деталей ґрунтується на їх пристосованості з відтворення працездатності. Рівень ремонтної технологічності залежить від конструктивних й технологічних параметрів деталі, а також характеру і ступеню зміни її структурних параметрів.

Для встановлення критерію показника з пристосованості деталей до відновлення розглядаються основні типи ремонтних операцій.

До робіт, пов'язаних із нарощуванням зношеної поверхні, належать операції технологічних процесів, які підготовлюють деталь для нанесення відновлювального металу, а також механічна обробка, що забезпечує необхідні розміри, фізико-механічні властивості та якість поверхонь тертя. Ці операції є основними, і їх трудомісткість становить ($t^{oc.}$).

Паралельно при ремонті виникає низка допоміжних операцій, зумовлених необхідністю формування нових установчих баз, виконання додаткового контролю та інших дій, пов'язаних з конструктивними особливостями деталі і не передбачених вихідною технологією її виготовлення. Трудомісткість цих операцій становить ($t^{don.}$).

Щоб оцінити вплив конструктивних та технологічних факторів на ремонтну технологічність деталі сформуємо сумарну трудомісткість відновлення її працездатності у наступному вигляді:

$$t^{g.p} = t^{oc.} + t^{don.}, \quad (2.1)$$

де $t^{g.p}$ - трудомісткість процесу відновлення функціонального стану деталі, люд.-год.; $t^{oc.}$ - трудомісткість виконання відновлювальних робіт, що визначається конструктивними особливостями деталі, люд.-год.;

$t^{don.}$ - трудомісткість додаткових робіт з відновлення працездатності деталі, що не передбачені конструктивно та технологічно, *люд. – год.*

При встановленні впливів різних технічних станів деталі, яка надходить у ремонт, на її ремонтні технологічності треба знати ймовірності виникнення таких взаємовиключних подій: деталь придатна до подальшої експлуатації без ремонту P_n ; деталь потребує ремонтного відновлення P_p ; деталь є непридатною $P_{н.п.}$. Відповідно до ймовірності сум: $P_n + P_p + P_{н.п.} = 1$. Показники даних вірогідностей визначаються за таким виразом [12]:

$$\begin{cases} P_n = \frac{n_n}{n_3}, \\ P_p = \frac{n_p}{n_3}, \\ P_{н.п.} = \frac{n_{н.п.}}{n_3}. \end{cases} \quad (2.2)$$

де n_3 - повний обсяг деталі даної назви, що потрапили у ремонт, *од*; n_n - обсяг деталей, які можуть бути використані без відновлювальних робіт, *од*; n_p - обсяг деталей, що вимагають ремонтного втручання, *од*; $n_{н.п.}$ - кількість деталей, що визнані непридатними та підлягають заміні, *од*.

При проведенні ремонтів об'ємних гідромашин вагомий обсяг робіт зосереджується на відновленні деталей спряжень основних блоків об'ємних агрегатів: «розподільник–приставне дно», «п'ята плунжера–опора люльки», «п'ята плунжера–похила шайба», а також робочих поверхонь стабілізаційної та ротаційної втулок торцевого ущільнення.

Для цього було виконано оцінку працездатності агрегатів гідростатичної трансмісії ГСТ-90, які виробляються Кропивницьким заводом «Гідросила» за ліцензією фірми «Sauer», і потрапили до сервісного підрозділу для ремонту.

Ймовірний технічний стан деталей визначався шляхом проведення дефектувальних робіт відповідно до відомих методик. Результати оцінки

ймовірностей структурних характеристик деталей з'єднань основних блоків об'ємних агрегатів наведені у (табл. 2.1) та (рис. 2.1).

Таблиця 2.1– Ймовірнісний розподіл структурних характеристик деталей основних блоків гідроагрегатів

№з/п	Деталь	Деталі придатні P_n .	Деталі потребують ремонту P_p .	Деталі непридатні $P_{н.п}$.
1	Приставне дно	-	0,631	0,371
2	Розподільник	-	0,741	0,261
3	П'ята плунжера	-	0,711	0,291
4	Опора люльки	-	0,781	0,221
5	Похила шайба	-	0,801	0,201
6	Стабілізаційна втулка ущільнення	-	0,761	0,241
7	Ротаційна втулка ущільнення	-	0,771	0,231

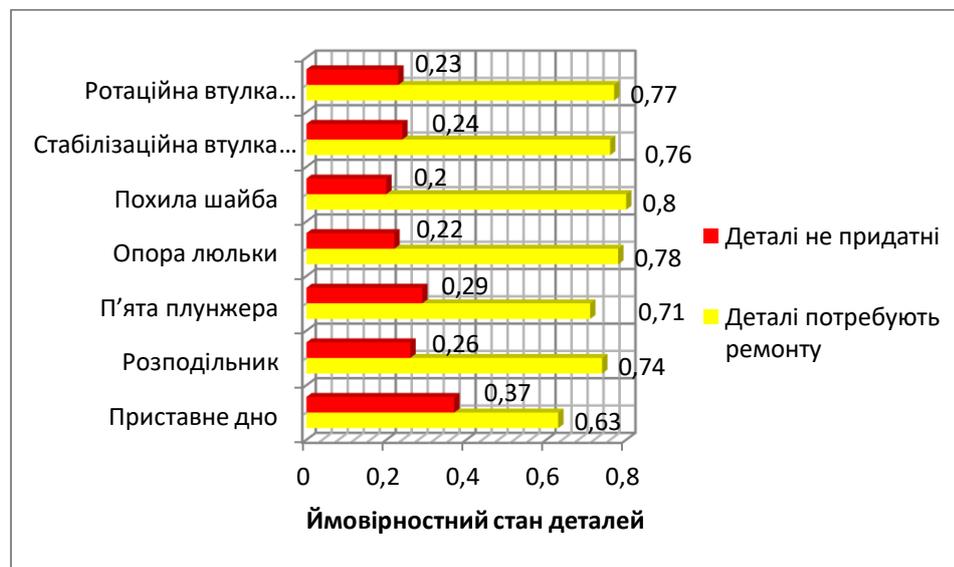


Рис. 2.1 - Ймовірність технічного стану деталей

Аналіз даних, наведених у табл. 2.1, показує, що серед ресурсолімітуючих деталей аксіально-поршневих гідромашин 63–77% потребують ремонту, а 23–37% підлягають вибраковці. Основною причиною цього є наявність гідроабразивного зносу на робочих поверхнях, який усувається за допомогою притирання – відновлювальної операції.

Детальний аналіз ймовірності технічного стану ресурсолімітуючих деталей, що потребують ремонту (рис. 2.1), показав, що найменший відсоток придатності мають приставне дно та п'ята плунжера – відповідно 63% і 71%. Такий стан обумовлюється конструктивними особливостями цих деталей (жорсткі вимоги до плоскості, високі до шорсткості поверхонь, наявність гострих кромek) та умовами експлуатації, які спричиняють утворення гідроабразивного зносу, а також слідів захоплення поверхонь деталей спряження.

Кількість деталей, що підлягають відновленню, визначається технологією ремонтних робіт. На розглянутому підприємстві взято на озброєння методологію вільного ремонтного розміру: робочі поверхні деталей відновлюють притиркою до видалення зношеної поверхні, а технологічні зазори основного блоку регулюються осьовим люфтом валу за допомогою регулювальних кілець. Однак наявність на деталях слідів захоплення чи глибоких рисок, наприклад на поверхнях «приставне дно – розподільник» або кільцевій опорі п'яти плунжера, робить неможливим відновлення їх працездатного стану методом притирання, що пояснює частину вибраковуваних деталей.

Кількісна оцінка ремонтної технологічності деталі визначається її технічним станом при надходженні до ремонту, пристосованістю конструкції та технології виготовлення до відновлення, складністю ремонтного обладнання та економічною доцільністю ремонту. Враховуючи ці фактори, показник ремонтної технологічності можна розрахувати за виразом [12]:

$$P_{p.m.}^{\partial} = P_n + P_p \frac{\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}^{oc}}{\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}^{oc} + \sum_{j=1}^z t_j^{\partial on} \cdot K_{ki}^{\partial on}} K_o \cdot K_e, \quad (2.2)$$

m - об'єм базових операцій, що використовуються для відтворення працездатності деталей, od ; z - об'єм другорядних операцій, що

використовуються для відтворення працездатності деталей, $од$; t_i^{oc} - тривалість i -ї базових операцій при ремонті деталей, $люд.-год.$; t_j^{don} - тривалість j -ї другорядних операцій при ремонті деталей, $люд.-год.$; K_{ki}^{oc} - показник кваліфікації робочого i -ї операції при відновленні деталей; K_o - показник технологічності обладнання; K_e - показник економічної ефективності ремонту.

Трудомісткість основних операцій з відновлення приставного дна, яке має найвищий відсоток деталей, непридатних до ремонту, становить $t_i^{oc} = 3,27 люд.-год$ (включає очисні, дефектувальні та відновлювальні роботи). Трудомісткість допоміжних операцій, що передбачають відновлення деформованої неробочої поверхні приставного дна для забезпечення його правильного встановлення в пристрій на столі плоскошліфувального верстата, становить $t_i^{oc} = 3,27 люд.-год$

Показник кваліфікації (K_{ki}) визначається з виразу:

$$K_k = \frac{S_c^H}{S_c^\phi}, \quad (2.3)$$

де S_c^H - тарифний кошторис праці по найнижчому розряду відповідної спеціалізації $грн$; S_c^ϕ - тарифний кошторис праці за дійсним розрядом згідно технології проведення ремонтних робіт, $грн$.

Ремонт об'ємних гідроагрегатів марки НП-90 та МП-90 у технологічному процесі потребує залучення висококваліфікованих слюсарів п'ятого розряду згідно тарифної сітки». Це зумовлено конструктивними складностями гідромашин та високими вимогами до чистоти обробки деталей.

При ремонті об'ємних гідрмашин мінімальний розряд – третій: робочий цього розряду здійснює зовнішнє очищення вузлів, миття деталей,

не складні підрозбиральні та складальні роботи; тарифна вартість робіт для даного розряду становить $S_c^H = 4,65 \text{ грн}$.

Максимальний практичний розряд - п'ятий: робочий цього рівня виконує дефектувальні роботи, відновлює робочі поверхні, здійснює складає агрегати та проводить їх обкатку; оплата праці для даного розряду становить $S_c^{\phi} = 7,95 \text{ грн}$ ».

Отже згідно виразу (2.3) показник кваліфікації складе:

$$K_k = \frac{4,65}{7,96} = 0,58$$

Показник технологічності обладнання визначається згідно виразу:

$$K_o = \frac{S_o^H}{S_o^P}, \quad (2.4)$$

де S_o^H - кошторис верстатів з оброблення деталей, що ремонтуються, та застосовуються в машинобудуванні при обробці деталей, грн ; S_o^P - кошторис сервісних верстатів, що використовуються в технологічному процесі відновлення деталей, грн .

Звернемо увагу на показник, що розглядає складність установок та оснастки для ремонту дна приставного, якому відповідає найвища вірогідність непридатності ($P_{н.п} = 0,37$).

Робоча поверхня дна приставного забезпечує герметичність потоків робочих олів при її подачі до над плунжерного простору з високим і низьким тиском. Зниження працездатності дна обумовлюється появою гідроабразивного зносу, утворенням ерозійних каналів у перемичках зовнішнього та внутрішнього кола серповидних отворів, а також порушенням площинності через перегрів і захоплення робочої поверхні.

Для відновлення робочої поверхні необхідно усунути неплоскість, що не повинна перевищувати 0,002 мм., і забезпечити клас чистоти поверхні не нижче 10-го. На заводі-виробникові основну обробку здійснюють на

плоскошліфувальних верстатах, а фінішну – притиранням із застосуванням пасти з абразивом розміром $\geq 3\text{мкм}$. Кошторис такої установки становить $S_o^H = 145000\text{грн}$.

У сервісному підрозділі, у деталей, які мають значну неплосцинність та сліди ерозійного каналу розміром понад 150 мкм, для основної обробки також використовують плоскошліфувальні верстати, а завершальні притирочні операції виконують переважно вручну на притирочних плитах. Застосовують чорнове притирання (розмір абразивних часток пасти до 35 мкм) та чистове (розмір часток до 5 мкм). Вартість обладнання для цієї технології становить $S_p^H = 105000\text{грн}$.

Тоді в відповідності до (2.4) показник технологічності обладнання складе:

$$K_o = \frac{145000}{105000} = 1,38$$

Показник економічної ефективності ремонту визначиться за формулою:

$$K_e = \frac{S_\delta^H}{S_\delta^H + S_\delta^P}, \quad (2.5)$$

де S_δ^H - кошторис нових деталей, грн (наприклад приставне дно $S_\delta^H = 270\text{грн}$); S_δ^P - затрати на відновлення деталей, грн (залежать від технологій, що реалізуються для відновлення деталей, $S_\delta^P < 0,7S_\delta^H$), згідно розробленої технології $S_\delta^P = 81,0\text{грн}$.

Показник економічної ефективності ремонту деталі буде дорівнювати:

$$K_e = \frac{270}{270 + 81} = 0,77$$

Результати отриманих розрахунків підставимо в вираз (2.2) і отримаємо для приставного дна значення його технологічності ($P_{p.m.}^\delta$):

$$P_{p.m.}^{\partial} = 0 + 0,63 \cdot \frac{3,27 \cdot 0,58}{3,27 \cdot 0,58 + 0,7 \cdot 0,58} \cdot 1,38 \cdot 0,77 = 0,55$$

Аналогічно розраховуються показники для номенклатури деталей наведених в (табл. 2.1) і їх результати зводяться до (табл. 2.2). і наводяться в вигляді гістограм (рис. 2.2).

Таблиця 2.2 – Показники ремонтної технологічності складових качаючого вузла

Деталь	Показники для визначення ремонтної технологічності							
	P_n	P_p	$\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}$	$\sum_{j=1}^z t_j^{don} \cdot K_{kj}$	K_k	K_o	K_e	$P_{p.m.}^{\partial}$
Приставне дно	-	0,631	1,91	0,407	0,57	1,39	0,76	0,551
Розподільник	-	0,741	2,01	0,465	0,57	1,46	0,77	0,651
П'ята плунжера	-	0,711	0,811	0,293	0,57	1,54	0,70	0,571
Опора люльки	-	0,781	1,92	0,262	0,57	1,46	0,79	0,801
Похила шайба	-	0,801	1,96	0,349	0,57	1,26	0,77	0,641
Стабілізаційна втулка ущільнення	-	0,761	1,05	0,204	0,57	1,16	0,66	0,491
Ротаційна втулка ущільнення	-	0,771	0,927	0,221	0,57	1,21	0,68	0,511

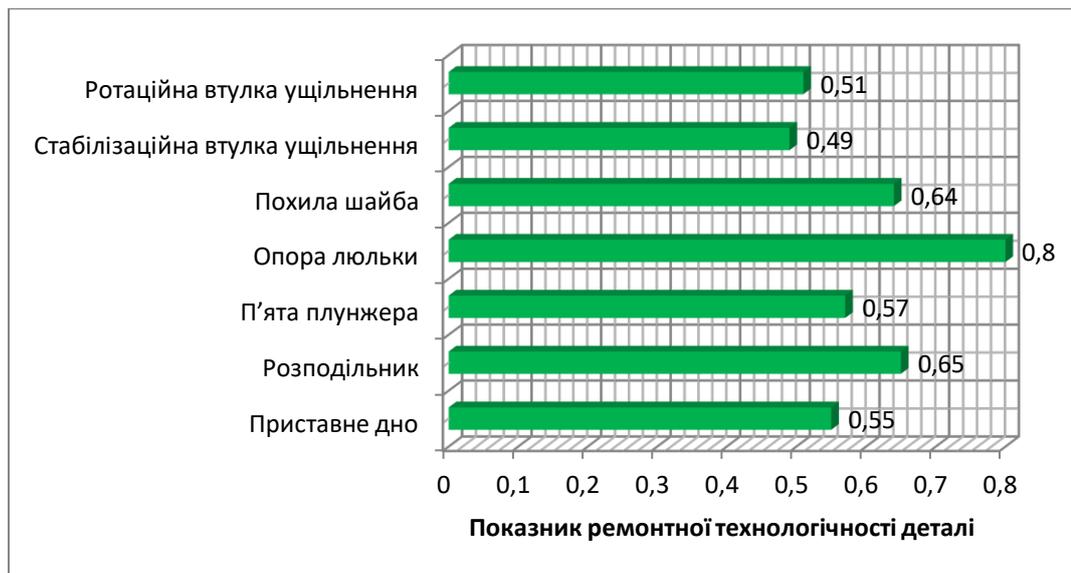


Рис. 2.2. – Характеристики придатності деталей насосного вузла до ремонтного відновлення

Аналіз отриманих даних показує, що найнижчий рівень ремонтної технологічності спостерігається у втулок торцевих ущільнень валів гідромашин, до яких належать - стабілізаційна і ротаційна втулки.

Це обумовлено конструктивними особливостями втулок: малі розміри ширини робочого виступу у стабілізаційної втулки збільшують питомі контактні навантаження на ротаційну втулку, що призводить до прискореного зношення. Крім того, на технологічність впливають умови експлуатації деталей, зокрема високі швидкісні режими валів та вібраційні навантаження, що передаються через підшипники. Важливу роль відіграють також показники ймовірності непридатності деталей, які залежать від конструктивних особливостей та прийнятої технології ремонту.

Відносно низька ремонтна технологічність приставного дна та п'яти плунжера пояснюється високою ймовірністю непридатності (0,37 та 0,29 відповідно) та значною допоміжною трудомісткістю при ремонті. Підвищити кількість деталей, придатних до ремонту, та зменшити кількість непридатних можна за рахунок оптимізації технології відновлення робочих поверхонь.

Найвищі показники ремонтної технологічності мають розподільник, опора люльки та похила шайба, що зумовлено конструктивними особливостями цих деталей: великою площею робочих поверхонь, високим класом чистоти обробки та покращеними фізико-механічними властивостями поверхні завдяки обробці струмом високої частоти. Трохи нижчий показник у похилої шайби пояснюється значною трудомісткістю допоміжних операцій через габаритні розміри деталі та складність її встановлення під час відновлювальних робіт.

Визначення технологічної пристосованості деталей об'ємних агрегатів до ремонту, базується на статистичному аналізі надійності агрегатів, які потрапляли до ремонту, а також на технологічних процесах з їх ремонту. При цьому результати можуть мати незначні відхилення залежно від конкретної технології ремонту та оснащеності підприємства обладнанням.

Висновок по підрозділу.

1. Показник ймовірності придатності деталей свідчить, що основні компоненти качаючого вузла потребують ремонту через наявність слідів гідроабразивного зношення на робочих поверхнях. Усунення цих дефектів потребує проведення притиральних дій, що належать до ремонтних процесів $P_{\Pi}=0$.

2. Найвищий показник ймовірності непридатності $P_{н.н}=0,37$ має приставне дно, що обумовлено його конструктивними особливостями: високими вимогами до плоскості та класу шорсткості поверхонь, наявністю периферійних загострених країв для герметичності потоків робочих оливо, та гідроабразивного та ерозійного видів зношення робочої поверхні деталі.

3. Оцінка ремонтної технологічності деталей значною мірою залежить від ймовірності їх придатності та можливості відновлення працездатності. Вплив останнього визначається трудомісткістю допоміжних операцій, що застосовуються при ремонті, але не передбачені технологічним процесом виготовлення деталей.

4. На ремонтну технологічність також впливають експлуатаційні фактори, зокрема своєчасність та якість технічного обслуговування, стан робочої рідини гідравлічної трансмісії, що визначають ймовірність технічного стану деталей та їх подальший життєвий цикл.

5. Покращення показників ремонтної технологічності деталей, що лімітують ресурс гідравлічної трансмісії, можливе через впровадження прогресивних технологічних процесів відновлення робочих поверхонь, незалежно від характеру та виду зношення, а також забезпечення виробничих підрозділів необхідним обладнанням та оснасткою.

2.2 Оцінка ремонтної придатності деталей торцевого розподільника аксіально-поршневої гідромашини

Під час експлуатації гідравлічних трансмісій зміни структурних параметрів деталей качаючого вузла призводять до зниження об'ємного та

загального ККД агрегатів. У гідроприводах трансмісій ГСТ–90, ГСТ–112 та інших АПМ для розподілу потоку робочої рідини в надплунжерний простір блоку циліндрів застосовується плоска розподільча пара «розподільник–приставне дно».

Плоскі розподільники мають перевагу перед циліндричними, оскільки менш схильні до заклинювання. Оцінка стану розподільника (сталь ШХ–15 ДСТУ 807–92, твердість 56–62 HRC) свідчить, що знос з'являється у зонах, які контактують з приставним дном, найбільше вздовж твірної розподільних вікон біля перемичок.

Приставне дно виготовлене з (ЛМЦ КНС 58–3–15–15–1, твердість 200НВ) зношується у тих самих зонах контакту, що зумовлює схожий характер зношення обох деталей. На ремонтних підприємствах для відновлення робочого стану торцевого розподілення робочої рідини застосовується притирання на спеціальних плитах. Ця операція відновлює форму поверхні, але зменшує загальну товщину деталей, що змінює розмірний ланцюг КВ при складанні гідроагрегату і не завжди дозволяє дотримати технічні допуски через глибину гідроабразивних та ерозійних каналів. Щоб уникнути таких випадків, перед відновленням рекомендується оцінювати ремонтпридатність деталей торцевого розподілення.

Для цього з робочої поверхні знімають профілограму поперечного перерізу, визначають максимальну глибину каналів і за результатами вимірів обчислюють відносний діагностичний показник ремонтпридатності за відповідною формулою.

$$P_p = 1 - \frac{(\delta_{\max} + |\Delta|)}{B_n} \cdot 100 \%, \quad (2.6)$$

де P_p - відносний діагностичний показник ремонтпридатності, % ;

B_n - номінальна товщина деталі згідно робочого креслення, мм. ;

δ_{\max} - максимальна глибина каналу профілограми поперечного перерізу зношеної поверхні деталі, мм ;

$|\Delta|$ - відносний показник, який враховує неплоскість робочої поверхні деталі.

За значенням показника ремонтпридатності визначають доцільність ремонту деталі та метод відновлення її робочого стану. Деталі з показником, більшим за 88,3%, за техніко-економічними критеріями відновлюють притиранням до усунення слідів зношування. Деталі з показником у межах 71,2...88,3% відновлюють шляхом нарощування зношеної поверхні з наступною механічною обробкою до номінального або підвищеного ремонтного розміру. Деталі з показником меншим за 71,2% ремонту не підлягають.

Запропонований метод визначення ремонтпридатності деталей торцевого розподілення аксіально-поршневої гідромашини можна проілюструвати на прикладі розрахунку діагностичного параметру ремонтпридатності приставного дна, що входить до спряження деталей «розподільник – приставне дно» у торцевому розподілі робочої рідини аксіально-поршневого гідронасоса НП-90.

В відповідності з робочим кресленням приставного дна його товщина (B_n) дорівнює $B_n = 7,9 \text{ мм}$ [3].

Вимірювання приставного дна проводиться за допомогою магнітної стійки та індикаторної головки часового типу з похибкою 1 мкм відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.3, з подальшим визначенням відносного показника максимальної неплоскості робочої поверхні деталі (Δ), який приймемо рівним $\Delta = 0,25 \text{ мм}$.

З профілограми поперечного перерізу зношеної робочої поверхні приставного дна (рис. 2.4) визначають максимальну глибину каналу (δ_{\max}), яка становить $\delta_{\max} = 82 \text{ мкм}$.

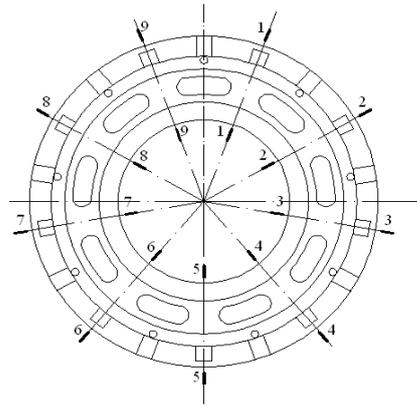


Рис.2.3 – Схема вимірювання неплоскості деталі (Δ).

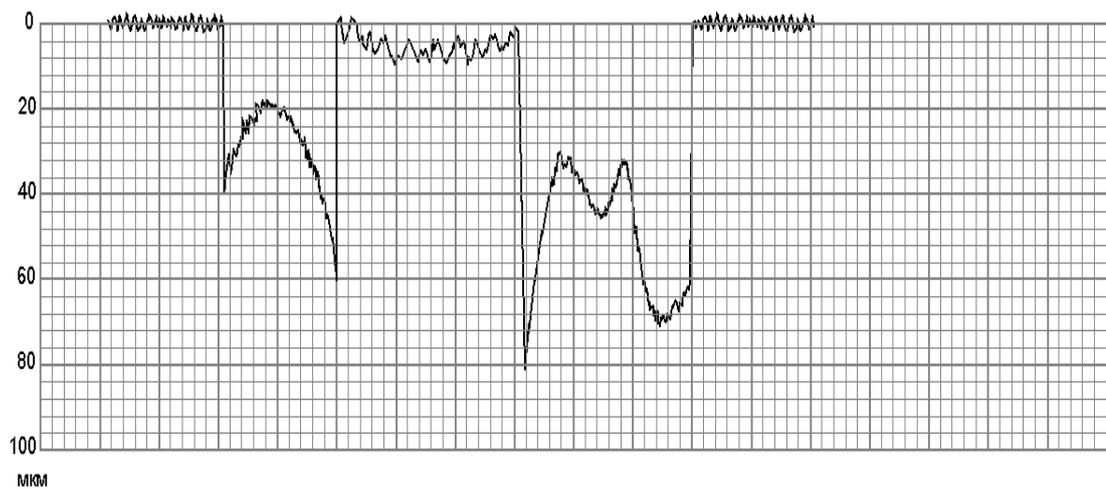


Рис. 2.4 – Профілограма поперечного перерізу зношеного приставного дна для визначення глибини каналу (δ_{\max})

Підставивши отримані значення у формулу (2.7), визначаємо відносний діагностичний показник ремонтпридатності приставного дна:

$$P_p = 1 - \frac{(0,082 + 0,25)}{7,9} \cdot 100 \% = 95,7\%$$

На основі отриманого результату робимо висновок, що деталь – приставне дно системи торцевого розподілення потоку робочої рідини аксіально-поршневого гідронасоса НП-90 – підлягає відновленню методом притирання до видалення слідів зношення.

Запропонований метод базується на функціональній залежності між максимальною глибиною гідроабразивних або ерозійних каналів на робочій поверхні деталі, її параметрами неплоскості та товщиною, яка визначається за робочим кресленням.

При повторному надходженні агрегатів на ремонт відносний діагностичний показник ремонтпридатності деталі обчислюють за формулою:

$$P_p = 1 - \frac{(\delta_{\max} + |\Delta| + H)}{B_n} \cdot 100 \% , \quad (2.8)$$

де H - показник різниці між номінальним і дійсним значенням товщини деталі, мм.

Врахування цих параметрів при оцінці технічного стану деталей торцевого розподілення потоку робочої рідини гідромашин НП-90 та МП-90 дозволяє підвищити точність визначення їх ремонтпридатності та уникнути необґрунтованих витрат на ремонт, які за статистикою стосуються близько 15 % деталей, що відновленню не підлягають. Крім того, це сприяє збільшенню ремонтного фонду аксіально-поршневих гідромашин на 30 % за рахунок деталей, раніше необґрунтовано відбраковуваних за традиційними методиками.

Висновки по розділу.

1. Основні деталі качаючого вузла потребують ремонту через гідроабразивне зношення робочих поверхонь, усунення якого потребує проведення притирочних операцій. Найвищий показник непридатності має приставне дно через його конструктивні особливості та умови експлуатації, що спричиняють утворення рисок, ерозійних каналів і слідів схоплювання.

2. Ремонтна технологічність деталей визначається ймовірністю їх придатності, можливістю відновлення працездатності та трудомісткістю допоміжних операцій, що не передбачені технологією виготовлення. На неї

також впливають експлуатаційні фактори — своєчасність і якість технічного обслуговування та стан робочої рідини.

3. Підвищити ремонтну технологічність деталей, що обмежують ресурс гідравлічної трансмісії, можна через впровадження прогресивних технологій відновлення поверхонь та забезпечення виробництва необхідним обладнанням і оснасткою.

4. Розроблений метод оцінки ремонтпридатності деталей торцевого розподілення НП-90 і МП-90 базується на максимальній глибині гідроабразивних або ерозійних каналів, неплоскості та товщині деталі, що забезпечує достовірну оцінку технічного стану та вибір способу відновлення. При повторному ремонті слід враховувати різницю між номінальною та фактичною товщиною деталей для підвищення точності оцінки.

5. Застосування запропонованого методу дозволяє уникнути необґрунтованих витрат, підвищити точність оцінки технічного стану деталей та збільшити ремонтний фонд гідромашин за рахунок раніше необґрунтовано відбраковуваних деталей.

3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

У межах даного дослідження застосовано методики, спрямовані на визначення ключових експлуатаційних характеристик покриттів, що використовуються для зміцнення та відновлення деталей у спеціалізованих ремонтних підрозділах. Зокрема, проводилася оцінка: міцності зчеплення покриття з матеріалом основи; твердості покриття; зносостійкості покриття.

3.1 Методичні підходи до визначення міцності адгезії покриттів

Одним із ключових показників, що визначають якість зміцнювальних та відновлювальних покриттів, є міцність їх зчеплення з матеріалом основи. Існуючі експериментальні підходи до оцінювання цього параметра детально описані в роботі [13] і поділяються на дві основні групи: кількісні та якісні методи.

У межах даного дослідження застосовано два кількісні методи - клейовий та штифтовий, які забезпечують об'єктивну оцінку адгезійної міцності покриттів. Схематичне зображення клейового методу наведено на (рис. 3.1).

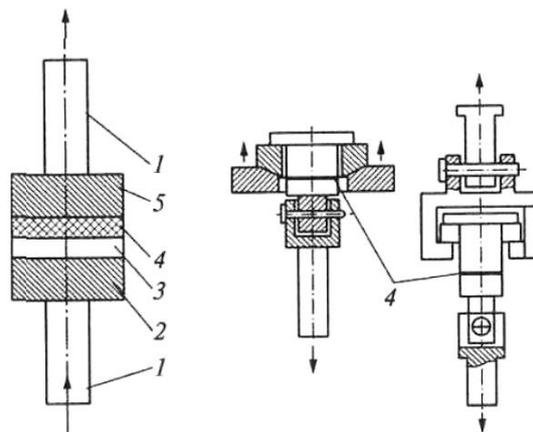


Рис. 3.1 – Схема випробування міцності адгезії покриття клейовим методом:

1. – стрижні; 2. – оправка; 3. – шар клею; 4. – нанесений шар; 5. – зразковий екземпляр

Міцність зчеплення покриття розраховують згідно залежності:

$$\sigma_{зч} = \frac{4P}{\pi \cdot d^2} K_e, \quad (3.1)$$

де: P – навантаження, за якого відбувається диструкція з'єднання;

d - розмір зразкового екземпляру

Розмір нанесеного шару має знаходитися в інтервалі 0,2–0,4 мм, при цьому оптимальним значенням вважається близько 0,3 мм. Зі збільшенням товщини шару адгезійна міцність знижується.

3.2 Методичні підходи до випробування покриттів на твердість

Твердість є одним із ключових показників якості електроконтактних покриттів, оскільки фактично відображає щільність їх матеріалу. Чим більша пористість шару, тим глибше занурюється індентор під час випробування. Для визначення твердості дрібнодисперсної багатофазної структури електроконтактних покриттів доцільно застосовувати метод Брінеля (рис. 3.2), який особливо ефективний для порівняно м'яких матеріалів, зокрема ущільнювальних покриттів.

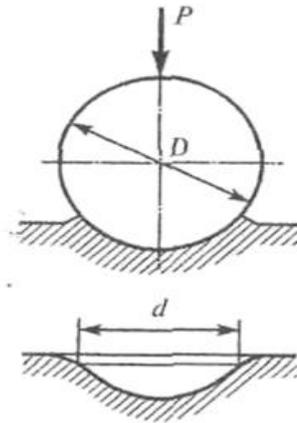


Рис. 3.2 – Схема проведення випробувань твердості за методом Брінеля

Число твердості за Брінелем (НВ) визначають як відношення прикладеного навантаження P до площі відбитку, залишеного сферичним індентором:

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad (3.2)$$

де D – діаметр кульки, що втискується, мм [14].

3.3 Методичні підходи до визначення триботехнічних характеристик деталей

Передбачається проведення порівняльних експрес-випробувань, метою яких є визначення співвідношення зношування між «еталонними» деталями, та деталями відновленими електроконтактним напіканням порошків. Випробування виконувалися за оптимальних навантажень.

Випробування для пар тертя «розподільник-приставка» та «п'ята – плунжера – опора люльки» проводиться згідно схеми «ролик–колодка». Зовнішній вид елементів та їхній розмір наведені на рис. 3.3.

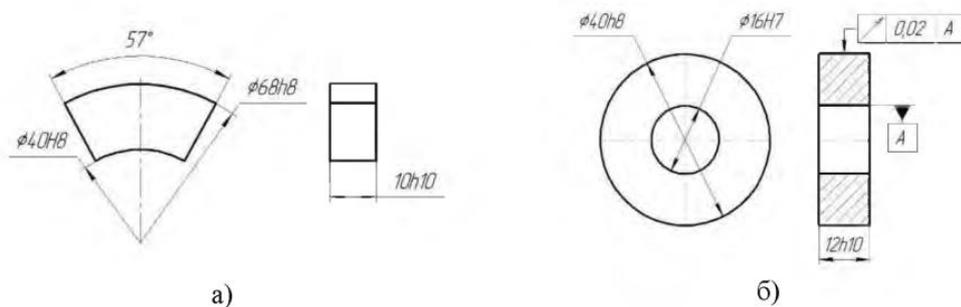


Рис. 3.3 – Загальна геометрія та параметри випробувальних елементів:

а) – нерухомий елемент типу «колодка»; б) – рухомий елемент типу «ролик»

Випробування пар тертя здійснюються на машині СМТ-1М для дослідження тертя та зносу матеріалів, схема якої показана на (рис. 3.4). Триботехнічні дослідження пар, що труться, забезпечувалось зразками, які виготовляли з тих самих матеріалів, що й деталі відповідних спряжень.

Підготовлені зразки випробовувалися при сталому лінійному обертанні «ролика» ($n = 380 \text{ хв.}^{-1}$), що забезпечувало заданий швидкісний режим $0,8 \text{ м/с}$, за визначеною системою подачі рідини.



Рис. 3.4 – Загальний вигляд машини СМТ-1М: 1 – корпус; 2. – основа; 3. – резервуар; 4. – навантажувальний пристрій; 5. – блок зняття інформації; 6 – дисплей; 7 – кабелі; 8. – аварійне вимкнення

Прикладену силу на «колодку» поступово збільшували з інтервалом $0,1 \text{ МПа}$, визначаючи максимальні попередні ($P_{M.П.}$), за яких спостерігався процес захоплення. Потім здійснювали поетапне розвантаження з інтервалом $0,1 \text{ МПа}$ та виявляли оптимальні загрузки P_{on} , за яких коефіцієнти тертя набували мінімального значення (f_{\min}).

Перед початком та після завершення чергових циклів випробування досліджувальні зразки піддають зважуванню, на підставі чого визначають зносостійкість його верхньої поверхні. Для фіксації масових змін застосовують електронний ваговий пристрій з точністю не нижче $0,001 \text{ г}$.

3.4 Методика проведення електроконтактного напикання при відновленні приставного дна

Зношення робочих поверхонь деталі відбувається по краях усіх серповидних вікон як по внутрішньому, так і по зовнішньому діаметрах утворюючих ущільнювальні пояси, що призводить до руйнування гострих кромки, які забезпечують ефективне відсікання потоків робочої рідини. Це ускладнює відновлення деталей відповідно до технологічних вимог (рис. 3.5).

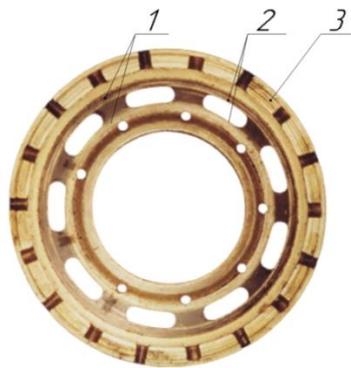


Рис.3.5 – Характерні ділянки зношення приставного дна: 1 – гідроабразивне зношення ущільнювального пояса на зовнішньому та внутрішньому діаметрах; 2 – зношення кромки серповидних вікон; 3 – гідроабразивне зношення опорного пояса по всьому колу поверхні.

Для відновлення приставного дна, виготовленого зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1 (ТУ 48-21-356-74) - ливарної латуні, що містить 58% міді (Cu), 2% марганцю (Mn), 2% свинцю (Pb), 1% кремнію (Si), 1% алюмінію (Al) та решту цинку (Zn), перспективним, на нашу думку, є застосування електромеханічного методу. Однією з його різновидностей є спосіб електроконтактного спікання порошків.

Цей метод дозволяє наносити відновлюючий шар з високою адгезією, мінімальними термічними деформаціями та необхідними фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі.

Для проведення кореляційного аналізу впливу масових часток хімічних елементів у порошковій суміші на фізико-механічні властивості

відновленої поверхні сформовано таблицю даних із умовними значеннями масових часток компонентів та відповідними характеристиками покриттів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Початкові дані для проведення кореляційного аналізу

Номер варіанту	Хімічний та відсотковий склад порошку						Фізико-механічні властивості		
	Cu-Zn (%)	Ni (%)	Al (%)	Si (%)	Mn (%)	Pb (%)	Твердість (HV)	Коефіцієнт тертя	Зносостійкість, (мг/млн. циклів)
Варіант 1 (базовий)	55	12	3	1,5	1,5	0,8	190	0,07	10
Варіант 2 (Ni ↑)	55	15	3	1,5	1,5	0,8	215	0,07	7
Варіант 3 (Pb ↑)	55	12	3	1,5	1,5	1,0	185	0,06	11
Варіант 4 (Al ↑, Zn ↓)	50	12	4	1,5	1,5	0,8	192	0,07	9
Варіант 5 (Mn ↑)	55	12	3	1,5	2,0	0,8	198	0,07	8

Кореляційна матриця, що відображає взаємозв'язок між вмістом хімічних елементів у порошковій суміші та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні, наведена на рис. 3.6.

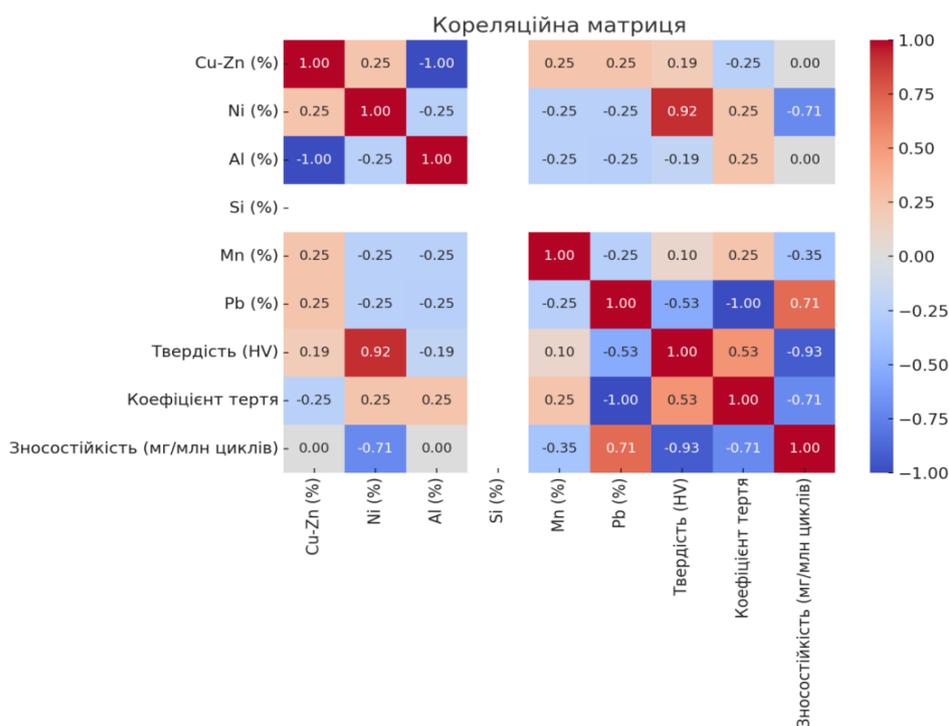


Рис.3.6 – Кореляційна матриця залежності між складом порошкової суміші та фізико-механічними властивостями відновленого шару

З урахуванням результатів кореляційного аналізу (табл. 3.1) наведено рекомендовані склади порошкових сумішей, оптимальні для забезпечення пріоритетних експлуатаційних властивостей деталей, таких як зносостійкість та низький коефіцієнт тертя.

Таблиця 3.2 – Рекомендовані склади порошкових сумішей за пріоритетними експлуатаційними властивостями

Пріоритет властивості	Хімічний та відсотковий склад порошку						Показники
	Cu-Zn, (%)	Ni, (%)	Al, (%)	Si, (%)	Mn, (%)	Pb, (%)	
Максимальна зносостійкість	50–55	14–15	2–3	1,5–2	2	≤0,5	Підвищена твердість і стабільність, помірне тертя
Низький коефіцієнт тертя	55–60	10–12	3–4	1–1,5	1	0,8–1	Плавне ковзання, зменшення тертя, але менша твердість
Оптимальний баланс	52–56	13–14	3	1,5	1,5	0,6	Найкраще поєднання зносостійкості й низького тертя

Важливим фактором, що визначає якість відновлення деталі електроконтактним методом, є режими, застосовувані під час електроконтактного спікання порошку. Фізичні основи цього процесу ілюструються схемою спікання та нанесення порошків (рис. 3.7) [14].

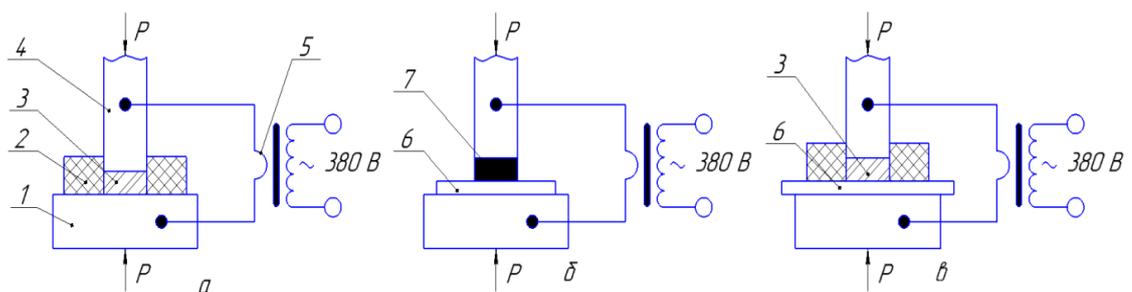


Рис. 3.7 – Схеми електроконтактного спікання та наварки порошків на поверхню деталі: а – спікання брикету; б – наварка брикету; в – спікання та наварка порошку; 1 – електрод; 2 – прес-форма; 3 – порошок; 4 – електрод; 5 – зварювальний трансформатор; 6 – деталь; 7 – брикет; P – зусилля стиснення.

Для проведення кореляційного аналізу впливу режимів електроконтактного спікання на якість відновлення латунних деталей слід враховувати такі ключові параметри процесу: струм 11 000–30 000 А (імпульсний); напруга 2–5 В; сила стиснення 30–80 МПа (залежно від площі контакту); температура в зоні контакту 800–950 °С (для Cu-Zn сплавів); час

дії струму 1–5 с (залежно від товщини шару); тиск при спіканні — постійний або ступінчастий, що прикладається до та під час проходження струму.

Кореляційна матриця, яка відображає взаємозв'язки між параметрами процесу електроконтактного напикання та результатами міцністю зчеплення і зносостійкістю, наведена на (рис. 3.8).

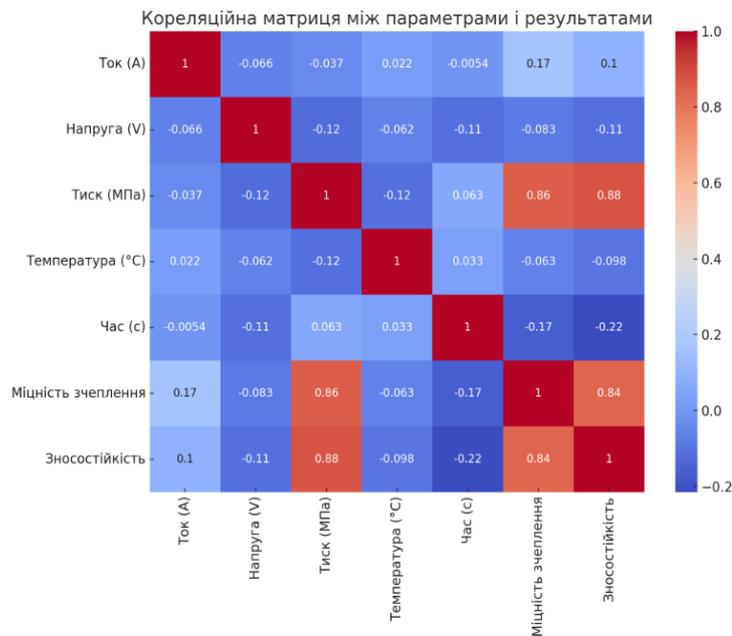


Рис.3.8 – Кореляційна матриця залежності між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі

Основні параметри режиму електроконтактного спікання порошку та його наварювання на деталь наведені в (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Ключові параметри режиму електроконтактного спікання порошку

№ з/п	Параметр	Рекомендоване значення
1	Струм, кА	12 (імпульсний)
2	Напруга, В	2 – 5
3	Сила стиснення, МПа	25 - 40 (залежить від площі контакту)
4	Температура у зоні контакту, °С	800 – 950 (для Cu-Zn сплавів)
5	Час дії струму, сек.	1 – 5 (залежно від товщини шару)
6	Тиск при спіканні	ступінчастий
7	Охолодження	Примусове

Підготовка зразків з відновлених деталей для лабораторно-стендових досліджень фізико-механічних властивостей відновлених поверхонь здійснювалася на основі деталей, що надходили до ремонтних підприємств.

3.5 Методичні підходи до електроконтактного напикання при відновленні кільцевої опори п'яти плунжера

Стохастичне розміщення слідів гідроабразивного зношення значно ускладнює технологічний процес відновлення кільцевої опори п'яти, виготовленої з матеріалу ЛМцСКА 58-2-2-1-1 (ТУ 48-21-356-74).

Для відновлення п'яти плунжера з ливарної латуні ЛМцСКА 58-2-2-1-1, що містить 5 % міді (Cu), 2% марганцю (Mn), 2% свинцю (Pb), 1% кремнію (Si), 1% алюмінію (Al) та решту цинку (Zn), доцільно застосовувати електромеханічний метод, одним із варіантів якого є електроконтактне напикання порошкових композицій.

Відповідно до хімічного складу деталі та умов її експлуатації на початковому етапі досліджень рекомендується наступний склад відновлювального порошку: Мідь (Cu) – 40–50% (основний компонент, сумісний із латунню); Цинк (Zn) – 10–15% (зниження температури плавлення); Нікель (Ni) – 10–15% (зміцнення та утворення боридів); Алюміній (Al) – 2–4% (формування дрібнозернистої структури); Кремній (Si) – 1–2% (зміцнення зерен); Марганець (Mn) – 1–2% (покращення процесу спікання); Бор (B) – 0,5–1,5% (утворення твердих фаз та підвищення зносостійкості).

Такий склад порошку забезпечує надійне зчеплення з основним матеріалом, а також характеризується високою корозійною стійкістю, механічною міцністю та опором до стирання.

Для визначення оптимального складу порошкових сумішей, призначених для відновлення п'яти плунжера, проведено кореляційний

аналіз впливу окремих хімічних елементів на ключові експлуатаційні показники - твердість та зносостійкість. Результати наведено в табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Фізико-механічні властивості відновленої поверхні залежно від складу порошкової суміші

Варіант	Хімічний та відсотковий склад порошку							Твердість, HV	Мікрозносостійкість ($F \cdot 10^{-12}$), мм ³ /Нм
	Cu (%)	Zn (%)	Ni (%)	Al (%)	Si (%)	Mn (%)	B (%)		
1	40	10	10	2,0	1,0	1,0	0,5	180	2,5
2	45	12	12	3,0	1,5	1,5	1,0	200	2,1
3	50	15	15	4,0	2,0	2,0	1,5	220	1,8
4	42	11	11	2,5	1,2	1,2	0,8	190	2,3
5	48	13	14	3,5	1,8	1,8	1,2	210	2,0

Аналіз даних, наведених у (табл. 3.4), показує, що найефективнішим для електроконтактного напикання є варіант порошкової композиції № 3. Його хімічний склад складає: Cu – 50 %, Zn – 15 %, Ni – 15 %, Al – 4,0 %, Si – 2,0 %, Mn – 2,0 %, B – 1,5 %. Ця композиція забезпечує оптимальне поєднання механічної міцності та триботехнічних характеристик відновленої поверхні. Проведений кореляційний аналіз взаємозв'язків між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні дозволив визначити оптимальні параметри режиму електроконтактного напикання порошкової композиції, які наведені в (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Рекомендовані режими електроконтактного напикання п'яти плунжера з мідно-нікелевого порошку, легованого бором

Параметр	Рекомендовані значення	Обґрунтування
Сила струму	10–14 кА	Забезпечує температуру 750–850 °С для активного спікання і боридоутворення
Тиск	20–30 МПа	Оптимальний для максимального зчеплення з деталлю
Час дії струму, сек.	1 – 5 (залежно від товщини шару)	Достатній для повного формування металургійного зв'язку, без перегріву
Швидкість охолодження	Повільне, повітряне	Для уникнення мікротріщин
Фракція порошку	40–100 мкм	Забезпечує щільне укладання і якісне ущільнення

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати фізико-механічних властивостей відновленого приставного дна

Відновлення деталей виконувалось за наступною технологією: очищення та механічна обробка зношених ділянок; розміщення деталі у підігрітій прес-формі; нанесення металевого порошку з ущільненням вібрацією та пресуванням; електроконтактне спікання з формуванням міцного монолітного шару; остаточна токарна, фрезерна та шліфувальна обробка до необхідних розмірів.

Процес проводився в закритій камері з подачею інертного аргону (Ar, $\geq 99,99\%$, 5–10 л/хв) до та під час спікання для запобігання окисленню Cu, Zn, Ni та Al, що підвищує однорідність і міцність шару.

З відновленого латунного приставного дна виготовляли зразки для визначення фізико-механічних властивостей за стандартними методиками. Результати наведено в (табл. 4.1) і представлено на(рис.4.1).

Таблиця 4.1 – Фізико-механічні властивості відновленої поверхні методом електроконтактного спікання порошку порівняно з новою деталлю зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1

Показник	Деталь нова (ЛМцСКА 58-2-2-1-1)	Відновлена поверхня (спечений шар)
Межа міцності на розтяг, МПа	380-420	450-500 (за рахунок армування Ni та Al)
Твердість по Брінеллю, НВ	90-110	120-150 (підвищена зносостійкість)
Межа плинності, МПа	150-180	120-220
Відносне подовження, %	20-25	10-15 (менш пластично)
Корозійна стійкість	Висока	Висока (за наявності Al та Ni)

Проведений аналіз даних (табл. 4.1) свідчить, що середнє значення межі міцності на розтяг у відновленої деталі на 18 % перевищує аналогічний показник нової деталі, а середня твердість зростає до 35 % завдяки легуванню порошкової суміші нікелем і марганцем. Інші властивості практично збігаються з характеристиками нової деталі.

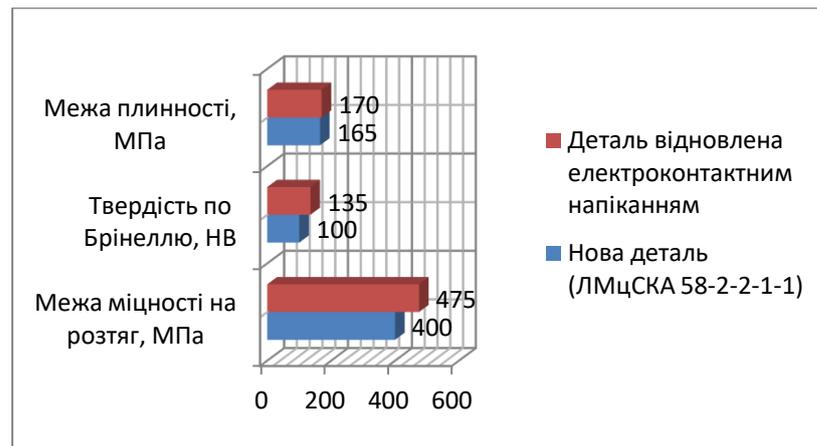


Рис.4.1 - Порівняння фізико-механічних властивостей відновленої електроконтактним спіканням поверхні з властивостями нової деталі зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1.

Порівняльні результати лінійної швидкості зношування відновленої поверхні та нової деталі зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1 за однакових умов випробувань на машині тертя (навантаження 100 Н, швидкість ковзання 0,5 м/с, тривалість 60 хв.) наведено в (табл. 4.2) і на (рис. 4.2).

Таблиця 4.2 – Порівняння лінійної швидкості зношування зразків відновленої поверхні та нової деталі

Показник	Нова деталь (ЛМцСКА 58-2-2-1-1)	Відновлена поверхня (спечений шар)
Швидкість зношування, мм ³ /(Нм)	$8-12 \times 10^{-6}$	$4-6 \times 10^{-6}$ (в 1,5–2 рази нижче)
Лінійний знос за 1 год, мкм	18-25	10-15 (в умовах тертя з олією)
Зниження інтенсивності зносу, %	-	до 40-50% (порівняно з оригінальною латунню)

Завдяки збільшенню твердості та щільності наплавленого шару, зокрема за рахунок легування нікелем і марганцем, інтенсивність зношування зменшується у 1,5–2 рази порівняно з новою латунною деталлю. Це забезпечує значно вищу зносостійкість і довговічність відновлених поверхонь під дією тертя та контактних навантажень.

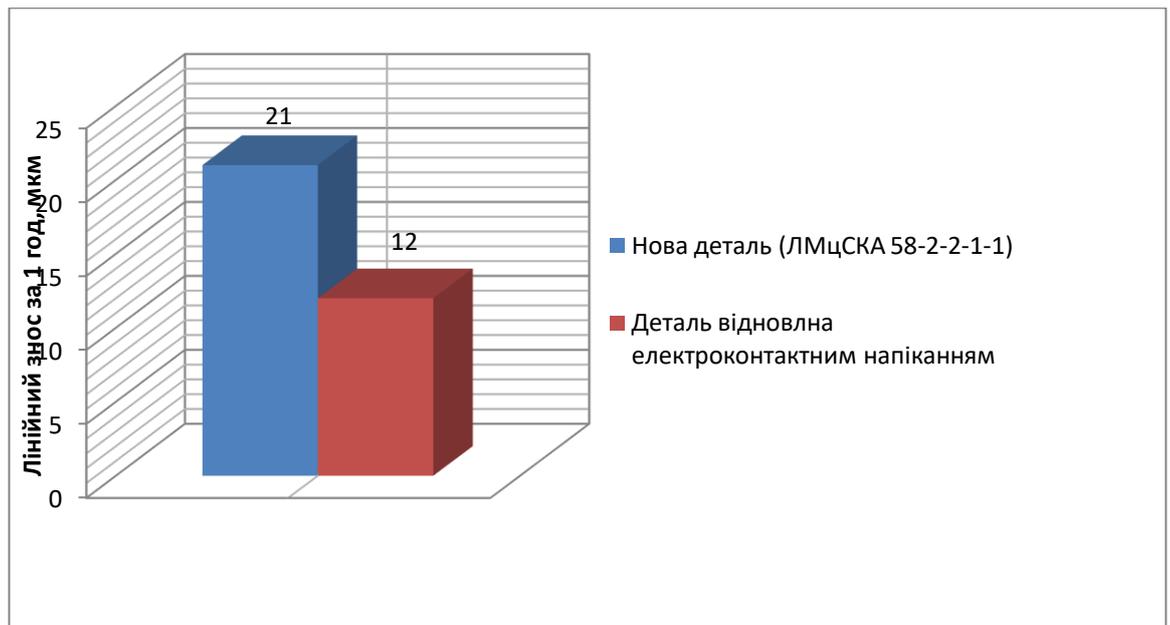


Рис.4.2 - Порівняльний аналіз лінійної швидкості зношування відновленої поверхні та нової деталі

Відновлене латунне приставне дно працює в парі тертя з розподільником зі сталі 12ХФ1 (ДСТУ 4543:2006). За результатами припрацювання для досліджуваних трибопар було визначено: граничне передзадирне навантаження $P_{м.п.}$, за якого фіксується різкий стрибок температури, моменту та коефіцієнта тертя; а також мінімальний коефіцієнт тертя f_{min} та відповідне йому оптимальне навантаження $P_{оп.}$. Узагальнені дані подано в (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Результати випробувань на припрацювання пари тертя «розподільник–приставне дно»

Показник	«Еталонна» пара тертя	«Експериментальна» пара тертя
Максимальне передзадирне навантаження, $P_{м.п.}$, МПа	23,0	26,0
Оптимальне навантаження, $P_{оп.}$, МПа	16,0	20,0
Коефіцієнт тертя	0,013	0,012

На (рис. 4.3) показані середні значення граничних передзадирних та оптимальних навантажень для «еталонних» і «експериментальних» пар тертя, у яких латунне приставне дно відновлено методом електроконтактного напикання порошку.

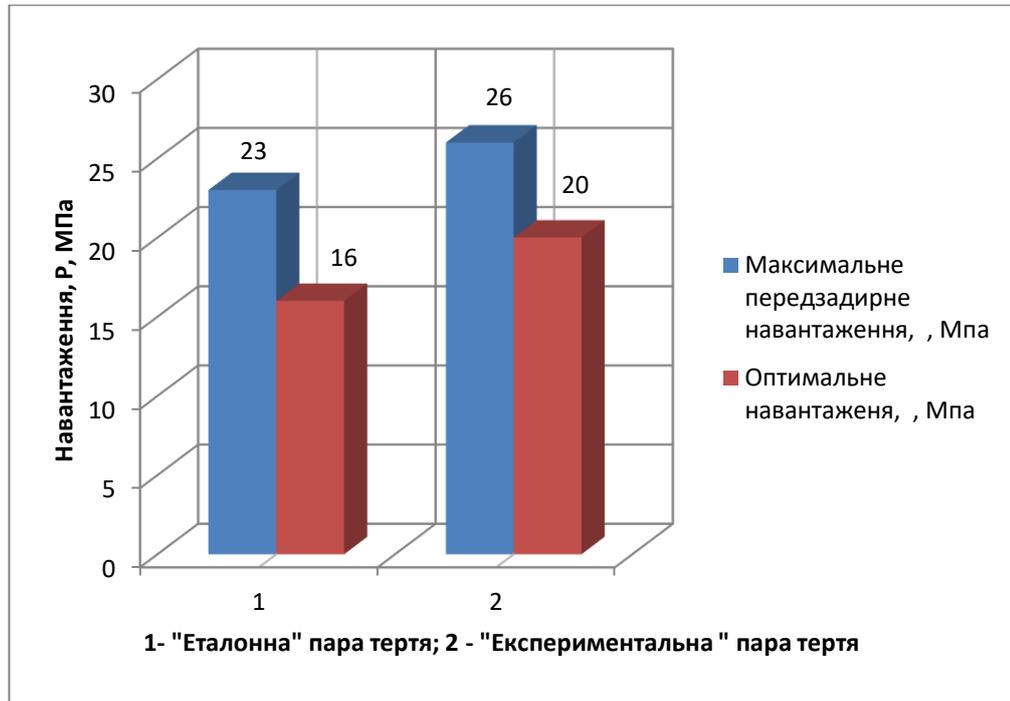


Рис.4.3 - – Середні значення граничних передзадирних та оптимальних навантажень для «еталонних» і «експериментальних» пар тертя

Аналіз гістограм на (рис. 4.3) показав, що несуча здатність «еталонної» пари тертя «розподільник–приставне дно» становить 23 МПа, що на 13 % менше порівняно з «експериментальною» парою, у якій латунне приставне дно відновлено методом електроконтактного напикання порошку.

Значення мінімальних коефіцієнтів тертя для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя, відповідних оптимальному навантаженню, наведено на (рис.4.4).

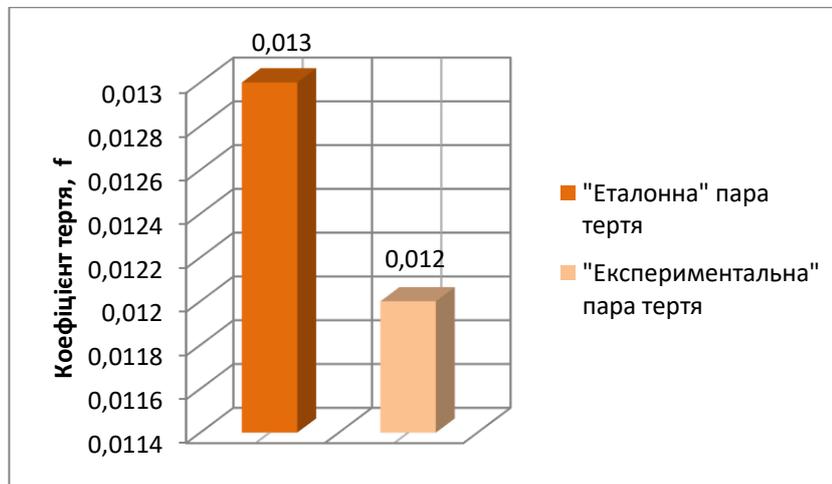


Рис.4.4 – Мінімальні коефіцієнти тертя для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя

Аналіз гістограм на (рис. 4.4) показав, що у «експериментальної» пари тертя з латунним приставним дном, відновленим електроконтактним напіканням порошку, коефіцієнт тертя на 8 % менший, ніж у «еталонної» пари. Це пояснюється наявністю Ni, Mn та Al у порошковій суміші, які знижують тертя. Зменшення коефіцієнта тертя сприяє зниженню крутного моменту в обертальних масах качаючих вузлів гідромашин, що важливо для стабільності статодинамічного режиму роботи гідравлічної трансмісії.

4.2 Фізико-механічні характеристики відновленої кільцевої опори п'яти плунжера

Кільцева опора п'яти плунжера відновлювалася за наступною технологією: підготовка поверхні (очищення, знежирення, відновлення геометрії канавок фасонним різцем); встановлення технологічної оправки для формування гострих кромки кільцевої опори; електроконтактне напікання порошку; механічна обробка (напівчистова і чистова розточка та проточка) із подальшим механізованим притиранням (черновим та чистовим).

Триботехнічні випробування проводилися у три етапи: притирання, припрацювання та тривалі зносні випробування, відповідно до відомих методик та режимів, характерних для подібних пар тертя. Результати досліджуваних пар тертя під час припрацювання наведені у (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Результати припрацювання пари тертя «п'ята плунжера – опора»

Пара тертя	Показник		
	$R_{м.п.}$, МПа	$R_{оп.}$, МПа	Коефіцієнт тертя, f_{min}
Еталонна пара: «п'ята плунжера (латунь ЛМцСКА-58-2-2-1-1 - опора (сталь ШХ15СГ))»	31,0	23,0	0,016
Пара: «кільцева опора п'яти плунжера (електроконтактне напікання порошку з бором - опора (сталь ШХ15СГ))»	37,8	26,9	0,013

На (рис. 4.5) представлені гістограми середніх значень граничних передзадирних та оптимальних навантажень для «еталонних» і «експериментальних» пар тертя, у яких латунна п'ята плунжера відновлена електроконтактним напіканням порошку, легованого бором, із подальшою механічною обробкою та завершальним етапом механізованим притиранням.

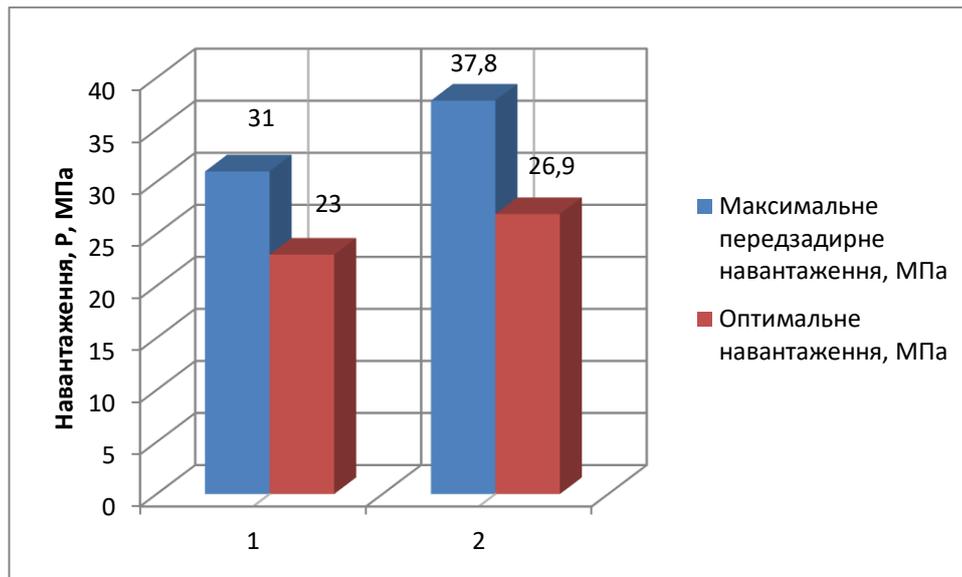


Рис. 4.5 - Середні значення граничних передзадирних та оптимальних навантажень для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя: 1 – «еталонна» пара: п'ята плунжера (латунь ЛМцСКА-58-2-2-1-1) – опора (сталь ШХ15СГ); 2 – «експериментальна» пара: кільцева опора п'яти плунжера (електроконтактне напікання порошку з бором) – опора (сталь ШХ15СГ).

Аналіз результатів (рис. 4.5) показав, що несуча здатність «еталонної» пари «п'ята плунжера (латунь ЛМцСКА-58-2-2-1-1) – опора (сталь ШХ15СГ)» становить 23 МПа, що на 17 % менше порівняно з парою, у якій кільцева опора відновлена методом електроконтактного напікання порошку, легованого бором. Підвищення несучої здатності зумовлене формуванням надтвердих боридних фаз (NiB, Ni₃B), які покращують фізико-механічні властивості відновленого шару. Дисперсні включення боридів у мідно-

нікелевій матриці зміцнюють матеріал, обмежують пластичну деформацію та стабілізують структуру, запобігаючи росту зерен під час охолодження.

На (рис. 4.6) наведені значення мінімальних коефіцієнтів тертя для «еталонної» та «експериментальної» пар тертя, відповідних оптимальному навантаженню.

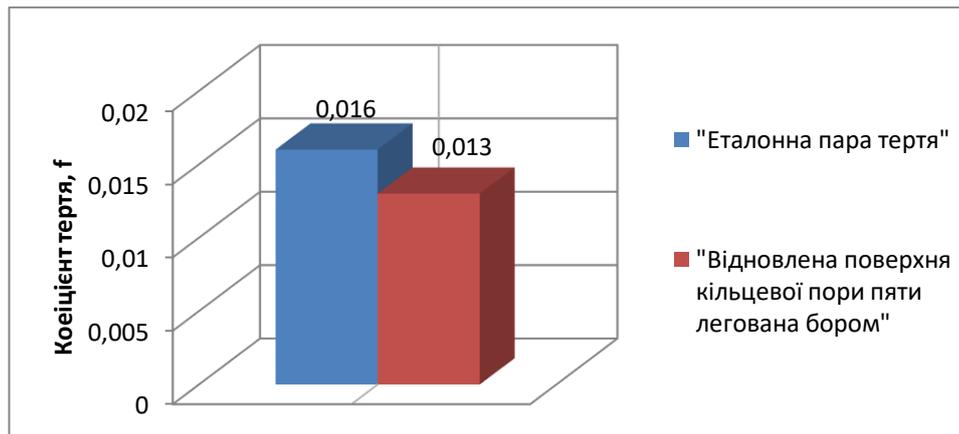


Рис. 4.6 – Мінімальні коефіцієнти тертя для «еталонних» і «експериментальних» пар тертя

Аналіз гістограм на (рис. 4.6) показав, що коефіцієнт тертя «еталонної» пари на 18,8 % вищий порівняно з відновленою кільцевою опорою, отриманою методом електроконтактного напікання порошку, легованого бором. Дисперсно-зміцнений шар характеризується підвищеною твердістю та покращеною гладкістю поверхні завдяки формуванню фаз NiB, що зменшує механічне зчеплення мікронерівностей.

Тривалі зносні випробування пар тертя проводилися при частоті обертання «ролика» $n = 380 \text{ хв}^{-1}$ за оптимального навантаження $R_{оп}$ протягом 8 годин. Результати порівняння інтенсивності зношування «еталонних» та «експериментальних» пар тертя наведені на (рис. 4.7).

Результати тривалих випробувань на зношення пари тертя «п'ята плунжера – опора» (рис. 3) показали, що при оптимальному навантаженні фактор зношування «еталонної» пари на 34,4 % перевищує фактор зношування пари, у якій кільцева опора відновлена порошком, легованим

бором. Утворені тверді зміцнені фази (NiB) знижують механічне руйнування матеріалу під час тертя.

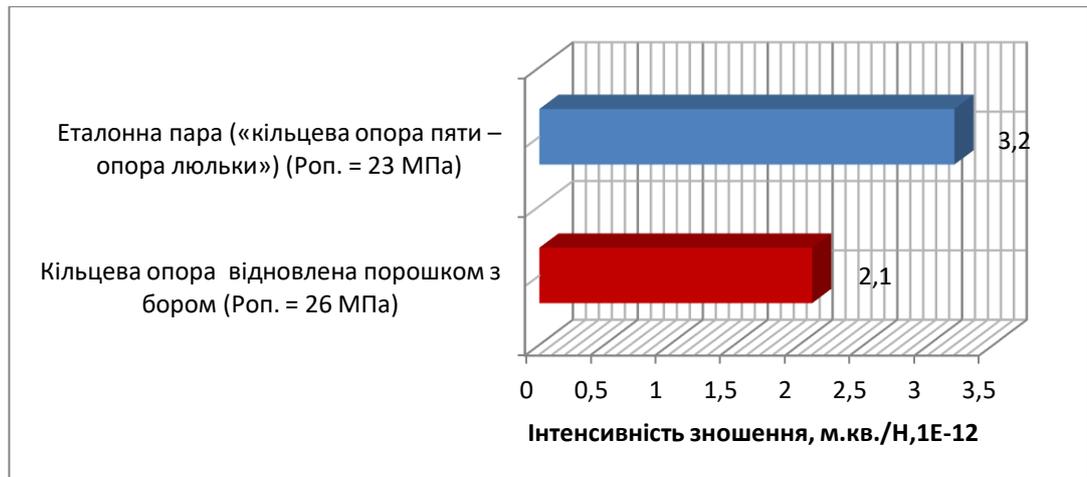


Рис. 4.7 – Інтенсивність зношування за фактором зносу для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя

4.3 Технологічний процес відновлення приставного дна

Вихідні дані щодо деталі, що підлягає відновленню.

Деталь: Приставне дно

Матеріал: Латунь ЛМцСКА 58-2-2-1-1 (ТУ 48-21-356-74)

Твердість: 120...150 НВ

Маса: 0,205 кг

У приставного дна зношення робочих поверхонь виникає по краям всіх серповидних вікон по внутрішньому і зовнішньому діаметрам утворюючої ущільнюючих поясів, руйнуючи гострі кромки, які служать для ефективного відсікання потоків робочої рідини.

На основі обґрунтованого способу відновлення латунного приставного дна з врахуванням його технологічних особливостей роблено технологічний процес його відновлення. План операцій відновлення приставного дна качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини наведено в (табл.4.5).

Таблиця 4.5 – План операцій відновлення приставного дна

Номер	Найменування операції	Вміст операції
5	Очисна	Видалити забруднення з деталі за допомогою мийного засобу Темп-100 (ТУ 39-10059-97).
10	Дефектувальна	Виявити деталі з ерозійними та гідроабразивними каналами глибиною понад 25,5 мкм для відновлення до номінального розміру.
15	Чорнове шліфування	Обробити робочу поверхню приставного дна до усунення слідів зношення; верстат плоскошліфувальний 3Б71М, круг 250×25×76, С 46 Р 6 В, ДСТУ 2424:2013.
20	Слюсарна	Встановити деталь у прес-форму та розподілити порошок на її поверхні.
25	Пресова	Ущільнити порошок у прес-формі за допомогою вібрації та пресування.
30	Електроконтактне напікання порошку	Нарощування поверхні приставного дна в закритій камері електроконтактним спіканням із подачею аргону.
35	Охолодження	Охолодити деталь, пропускаючи стиснуте повітря через камеру.
40	Токарна	Проточити робочі поверхні для формування контурів із залишенням припусків на чистове шліфування; верстат 16К20.
45	Фрезерна	Виконати фрезерування лисок на периферійній опорній поверхні деталі; верстат 6Р83Г.
50	Чистове шліфування	Обробити ущільнюючі пояски приставного дна до номінального розміру; верстат плоскошліфувальний 3Б71М, круг 250×25×76, СМ1 25 К 6 ВК, ДСТУ 2424:2013.
55	Контрольна	Перевірити розміри деталі відповідно до технічних вимог.

Блок-схема технологічного процесу відновлення приставного дна представлена на рис. 4.8.

До технічних та технологічних особливостей розробленого процесу слід віднести: застосування прес-форми з локальним підігрівом периферійних поверхонь ущільнюючих поясків робочої поверхні деталі для якісного формування гострих кромки; застосування вібраційних рухів прес-форми для рівномірного формування порошкової маси; ущільнення порошку з застосуванням формуючого інструменту; процес напікання проходить в закритій камері з подачею до неї, в якості захисного газу технічного аргону, який усуває процеси окислення при напіканні порошку;

охолодження деталі пропусканням стиснутого повітря через камеру де вона відновлюється.

Наведений алгоритм операцій технологічного процесу відновлення приставного дна чітко вказує на графік переміщення деталі при її відновленні уникаючи пересікання вантажопотоків.

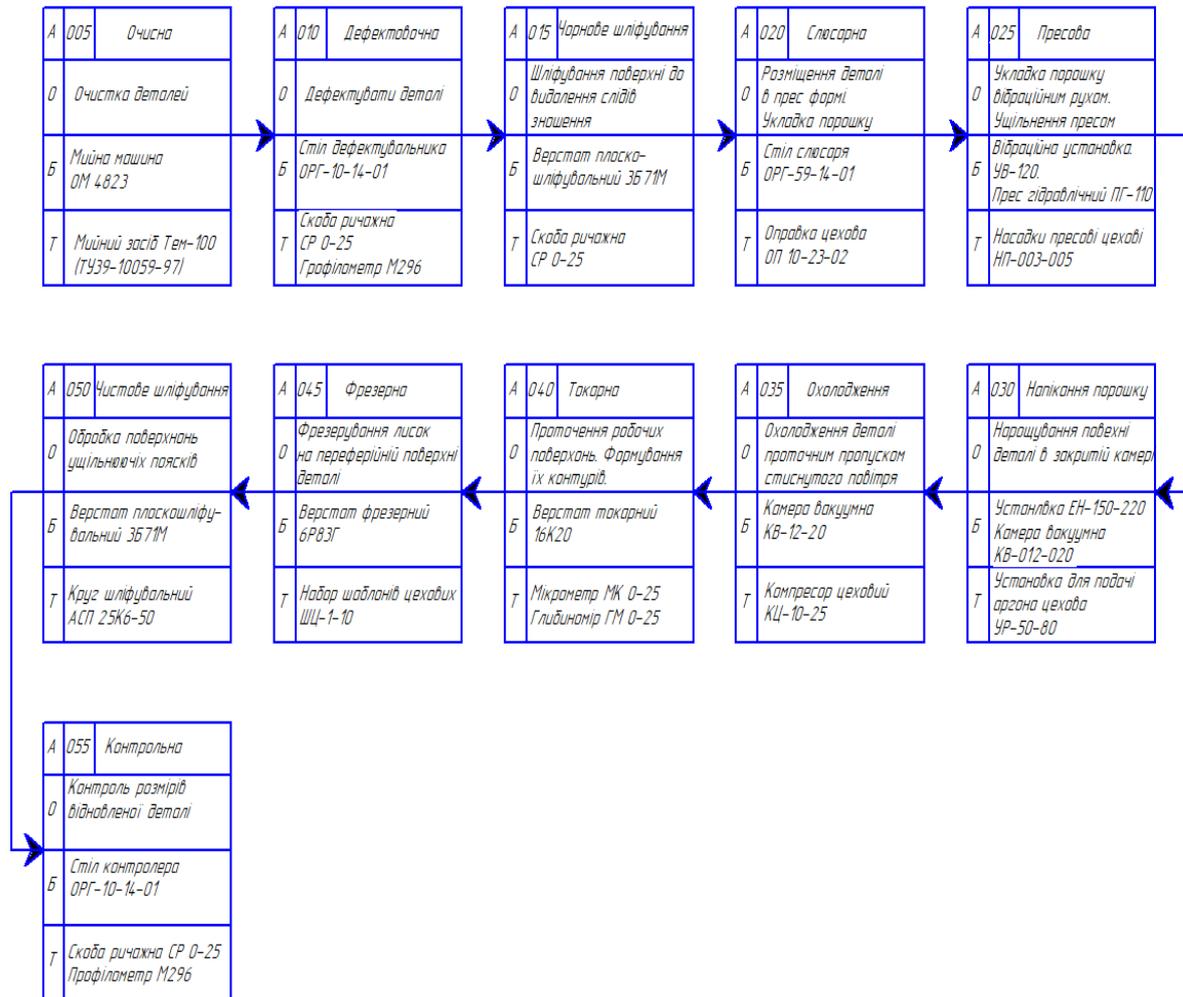


Рис. 4.8 – Блок-схема технологічного процесу відновлення приставного дна

У схемі наведено алгоритм операцій в яких зазначено: А – назва та номер операцій; О – тип робіт, передбачених цією операцією; Б – основне обладнання, що використовується для операції; Т – технічне оснащення операції, включаючи пристрої, ріжучий та вимірювальний інструмент.

У таблиці 4.6 вказується нормований час на проведення операції з урахуванням розряду робітника.

Таблиця 4.6 – Часові нормативи виконання операцій

№з/п	Операція	Кваліфікація роботи	Тривалість, хв.
5.	Мийна	II	20,7
10.	Діагностування	IV	12,8
15.	Груба шліфовка	IV	10,5
20.	Слюсарна	III	10,7
25.	Пресова	II	13,2
30.	Електроконтактне напікання порошку	IV	8,7
35.	Охолодження	III	12,7
40.	Токарна	IV	14,6
45.	Фрезерна	IV	11,2
50.	Чистове шліфування	IV	10,5
55.	Контрольна	IV	6,7
-	Разом	-	132,3

Розроблений технологічний процес відновлення приставного дна із використанням електроконтактного напікання порошку та наступного шліфування забезпечує підвищені технічні характеристики - міцність і зносостійкість, що дозволяє значно збільшити післяремонтний ресурс деталі.

Висновки по розділу.

1. На підставі аналізу характеру та виду зношення робочих поверхонь латунного приставного дна, а також величини його максимального зносу, доцільно рекомендувати відновлення методом електроконтактного напікання порошку. Цей спосіб має суттєві технологічні та економічні переваги порівняно з іншими методами відновлення латунних деталей.

2. На основі кореляційного аналізу впливу масових часток хімічних елементів у порошковій суміші на фізико-механічні властивості відновленої поверхні було підібрано оптимальний склад порошку. Він сумісний із основним металом, забезпечує високу адгезію, підвищує зносостійкість і міцність, а також зберігає антикорозійні властивості.

3. Аналіз кореляційної матриці взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні показав, що тиск і температура мають істотний позитивний вплив на міцність з'єднання та зносостійкість, тоді як тривалість впливу струму негативно впливає на якість, оскільки надмірна тривалість може призвести до перегріву та пов'язаних із ним дефектів.

4. Відновлене латунне приставне дно за фізико-механічними властивостями перевершує оригінальну деталь: несуча здатність збільшена в 1,13 рази, коефіцієнт тертя зменшено на 1,08 рази, що зменшує швидкість зношування робочої поверхні експериментальної деталі в 1,5 рази.

5. Оптимальною порошковою композицією для відновлення кільцевої опори п'яти, визначеною за допомогою кореляційного аналізу, є склад: Cu – 50 %, Zn – 15 %, Ni – 15 %, Al – 4 %, Si – 2 %, Mn – 2 %, B – 1,5 %. Ця композиція забезпечує високу зносостійкість, міцність та антикорозійні властивості відновленого шару.

6. На основі дослідження взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні визначено оптимальний режим: сила струму 14–15 кА, тиск 20–30 МПа, напруга 2,5–3,2 В, час дії струму 1–5 с залежно від товщини нарощуваного шару.

7. Результати триботехнічних випробувань показали, що у спряженні з відновленою п'ятою спостерігається збільшення несучої здатності на 17 %, зниження коефіцієнта тертя на 18,8 % та зменшення інтенсивності зношування на 34 % порівняно з еталонними парами тертя.

8. Запропонований спосіб відновлення кільцевої опори п'яти плунжера забезпечує високий коефіцієнт відновлення (95–98 %) та суттєво знижує собівартість ремонту гідроагрегатів на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

9. Розроблений технологічний процес відновлення латунного приставного дна дає можливість підвищити коефіцієнт його відновлення до 95 % у спеціалізованих ремонтних підприємствах.

5. ПРАЦЯ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ

5.1 Умови праці та стан пожежної безпеки в спеціалізованій ремонтній майстерні

Сервісний виробничий підрозділ спеціалізується по капітальним і поточним ремонтам об'ємних агрегатів гідравлічних трансмісій технічних систем.

Для проведення основних операцій в відділенні розміщується необхідне обладнання. Зовнішня очистка об'ємних гідромашин проходить з застосуванням мийних машин ваннового типу ВМ-6048. Зняті вузли і деталі проходять очистку в спеціальній мийній машині МО-629. Для відновлення деталей електроконтактним напіканням застосовується установка ЕКН-1725, яка розміщується в окремо від на робочому посту для відновлення деталей. Механічна обробка деталей після відновлення проходить на механічній дільниці де розміщуються металообробні верстати. Для притирання деталей на фінішних операціях застосовується притиральна установка ПУ-1422, яка забезпечує механізацію робіт. Транспортування агрегатів та їх складових в відділенні здійснюється за допомогою передвижних візків ПВ-967. Для обкатки і випробовування відремонтованих агрегатів застосовується стенд КІ-5914, який обслуговується консольно-поворотним краном КП-4700 для установки і зняття агрегатів зі стенда.

Відповідно до технологічного процесу, у майстерні організовано такі виробничі дільниці: розбирально-мийну, дефектувальну-комплектувальну, зварювальну-наплавлювальну, слюсарно-механічну, складальну та контрольну-випробувальну.

Планування дільниць та розташування основного обладнання відповідають встановленим технічним вимогам.

У майстерні найбільша частка робіт виконується в слюсарно-механічному відділенні. Під час їх виконання працівники можуть зазнавати дії небезпечних фізичних і хімічних виробничих факторів.

До фізичних небезпечних факторів належать: можливість ураження електричним струмом, травмування стружкою під час механічної обробки або осколками деталей під час слюсарних робіт, недостатній чи неефективний захист рухомих вузлів верстатів, порізи різальним інструментом, підвищений рівень шуму тощо.

До хімічних факторів відносять вплив мастил і мастильно-охолоджувальних рідин на шкіру, а також наявність у повітрі шкідливих парів цих речовин.

Проведені вимірювання показали, що концентрації шкідливих речовин у повітрі не перевищують гранично допустимі рівні відповідно до нормативних вимог.

Основними джерелами шуму та вібрації у відділенні є верстатне обладнання, обкатувальні установки, а також електричний і пневматичний інструмент, що використовується під час розбирально-складальних операцій.

Якісне виконання робіт у відділенні забезпечується достатнім рівнем природного та штучного освітлення. Для штучного освітлення застосовуються люмінесцентні світильники, які забезпечують загальну освітленість на рівні 300 лк.

У майстерні використовуються електричні мережі напругою 380 В, 220 В та 36 В. Відділення належить до приміщень з підвищеною небезпекою відповідно до ДСТУ 12.1.038:2008 [16], оскільки має струмопровідну підлогу.

Будівля майстерні зведена з негорючих матеріалів: зовнішні та внутрішні стіни виконані з цегли, що відповідає II ступеню вогнестійкості.

Пожежонебезпечні ситуації на дільниці можуть виникати внаслідок займання мастильних матеріалів при потраплянні на них іскор електричного або механічного походження чи через нагрівання поверхонь (пожежі класу В).

Також можливе займання електрообладнання у разі перевантажень, перегріву або короткого замикання (пожежі класу Е) відповідно до [17].

5.2 Організаційно-технічні заходи для підвищення безпеки та комфорту праці

Упровадження запропонованих технологій у сервісному підрозділі потребує відповідного технічного переозброєння, що, у свою чергу, зумовлює необхідність розроблення додаткових заходів щодо поліпшення умов охорони праці.

З урахуванням запланованих технологічних змін у майстерні пропонується реалізувати такі заходи для підвищення рівня безпеки праці: для зниження впливу вібрацій на працівників - установити верстатне обладнання на віброізоляційних опорах; забезпечити робочі місця верстатників столами для прийому деталей; забезпечити захист елементів, що обертаються, у обладнання для обкатки агрегатів; робочий пост для проведення пресових операцій оснастити комплектом змінних насадок відповідно до вимог технології пресових операцій; організувати зберігання мастильних матеріалів у спеціально призначеній та герметичній тарі; виконувати механічну обробку деталей лише за умови їх повного та надійного закріплення у верстаті; забезпечити робочі місця нормативними рівнями освітленості відповідно до вимог чинних стандартів.

Оскільки під час очищення гідравлічних агрегатів застосовуються речовини, пари яких можуть негативно впливати на стан здоров'я працівників, у приміщенні необхідно передбачити систему примусової вентиляції. Розрахунок параметрів вентиляційного обладнання має виконуватися на основі необхідного повітрообміну для забезпечення безпечних умов праці.

Визначимо необхідний повітрообмін для приміщення розміром $6 \times 8 \times 3,3 \text{ м}$, де проводиться очищення гідравлічних агрегатів.

Обсяг органічних розчинів, які виділяються в повітряний простір дільниці, розраховується згідно виразу:

$$G = \frac{a \cdot A \cdot m \cdot n}{100}, \quad (5.1)$$

де a – середній обсяг роботи, виконуваний працівником під час очищення гідравлічних агрегатів, $м^2 / год.$; при застосуванні пульверизатору ($a = 50 м^2 / год.$);

A – об'єм мийних засобів, ($A = 180 г / м^2$);

m - летючі розчинники, що входять до складу мийного засобу, 70%;

n – одночасна кількість робітників, що виконують очищення.

$$G = 50 \cdot 180 \cdot 70 \cdot 1 / 100 = 6300 г / год.$$

Розраховуємо необхідний об'єм повітрообміну в приміщенні за формулою:

$$L = \frac{G}{X_{ГДК} - X_{\max}}, \quad (5.2)$$

де L – необхідний повітрообмін, $м^3 / год.$; G – об'єм шкідливих речовин, $г / год.$, які випаровуються до повітря приміщення; $X_{ГДК}$ - максимально допустимий вміст небезпечної речовини в повітрі робочого середовища, $мг / м^3$, $X_{ГДК} = 0,35 г / м^3$; X_{\max} – максимально можливий вміст тієї ж небезпечної шкідливої речовини, $X_{\max} = 20 г / м^3$.

$$L = \frac{6300}{(20 - 0,35)} = 320,6 м^3 / год.$$

Кратність повітрообміну розраховується за виразом:

$$n = L / V_{II}, \quad (5.3)$$

де V_{II} – обсяг відділення, $м^3$.

$$V_{II} = 0,6 \cdot (6 \cdot 8 \cdot 3,3) = 95,04 \text{ м}^3$$

Звідси

$$n = 320,6 / 95,04 = 3,42^{-1}$$

Отримані результати кратності повітряного обміну показують, що природна загально-обмінна вентиляція є недостатньо ефективною, тому виникає потреба у встановленні примусової вентиляції. У дипломній роботі пропонується використати каналний вентилятор *CV – 200* із продуктивністю $350 \text{ м}^3 / \text{год}$, напругою $220 / 240 \text{ В}$ та частотою обертання 1300 хв^{-1} .

Ризик виникнення пожежі зменшено завдяки комплексу заходів: на видних місцях розміщено правила пожежної безпеки, забезпечено дотримання норм при монтажі електропроводки та обладнання, посилено контроль за зберіганням пожежонебезпечних матеріалів. Ємності з мастильними речовинами обладнані приточно-витяжною вентиляцією, промаслене ганчір'я збирається в герметичні металеві ящики та вивозиться для утилізації. Також забезпечено обов'язкове заземлення електроустановок і заборонено куріння у невстановлених місцях.

5.3 Заходи при надзвичайних ситуаціях під час ремонту об'ємних гідромашин

Загальні вимоги щодо безпечних дій у разі аварійної ситуації під час виконання механо-складальних робіт і контролю працездатного стану об'ємних гідромашин докладно наведені в [18].

До потенційних причин аварій відносяться: ураження електричним струмом, падіння піднятих агрегатів, поломка інструменту чи обладнання, відліт металевих часток, наявність шкідливих речовин у робочій зоні тощо.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно: негайно зупинити виробничу діяльність; вимкнути електричну енергію та джерела живлення механізованих пристроїв; забезпечити захист небезпечної зони від робочих інших постів; сповістити керівника робіт; першочергово виконати для потерпілих медичну допомогу застосувавши медичну аптечку, при необхідності зробити виклик швидкої допомоги.

За умови електричного ураження робітника треба швидко знеструмити електричне обладнання від джерела. Якщо не має можливості це зробити треба забезпечити його звільнення від дії електроенергії, застосувавши діелектричні засоби і відтягнути його від зони враження.

Першу допомогу при пораненнях надають за допомогою індивідуального пакету: накладають стерильний перев'язувальний матеріал і фіксують бинтом. При переломах чи вивихах кінцівку слід зафіксувати шиною, палицею або подібним підручним засобом.

У випадку виникнення пожежі слід застосувати доступні засоби пожежогасіння та, за необхідності, визвати пожежну службу, діючи відповідно до інструкцій, які надаються керівництвом для ліквідації надзвичайної події.

Висновок розділу:

Розрахунки повітрообміну в відділенні з обслуговування гідравлічних агрегатів показали потребу у встановленні додаткової примусової вентиляції на робочому місці для очищення гідравлічних агрегатів.

6. ПІДСУМКИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Техніко-економічний розрахунок результатів досліджень, спрямованих на розроблення технологічних процесів ремонту аксіально-поршневих гідромашин.

Для впровадження розроблених технологічних процесів ремонту об'ємних гідромашин оцінюються витрати на їх виготовлення - 160000 грн. Ефективність запропонованих технічних рішень оцінюють за такими показниками:

1. Оцінка ефективності запропонованої технології починається з розрахунку витрат на ремонт:

$$V_p = \eta \cdot V_{OP}, \quad (6.1)$$

де η^B, η^P - програма базова і проектна ($\eta^B = 70 \text{рем.}, \eta^P = 150 \text{рем.}$);

V_p - кошторис 1-го ремонту, грн. ($V_{OP} = 6500 \text{грн.}$).

$$V_p^B = 70 \cdot 6500 = 455000 \text{грн.}$$

$$V_p^P = 150 \cdot 6500 = 975000 \text{грн.}$$

2. Експлуатаційні затрати:

$$E_B = 3П + A + V_{EL} + V_{P.OB} + V_{3.Ч} + IB, \quad (6.2)$$

де $3П$ – за робітня платня;

A – амортизаційні відрахування;

V_{EL} – кошторис електроенергії;

V_{PEM} – кошторис сервісного обслуговування обладнання;

$V_{3.Ч}$ - кошторис запасних частин, грн.;

IB – додаткові затрати.

Дохід робочих:

$$Z_{II} = Z_{CP} \cdot N_P \cdot 12 + Z_{П.Н}, \quad (6.3)$$

де Z_{CP} - середній рівень оплати праці, грн. ($Z_{CP}^B = Z_{CP}^П = 10000 \text{ грн}$);

N_P - число слюсарів ($N_P^B = 1 \text{ чол.}$, $N_P^П = 2 \text{ чол.}$);

$Z_{П.Н}$ - начислення, грн. ($Z_{П.Н} = 0,22 \cdot (Z_{CP} \cdot N_P \cdot 12)$).

$$Z_{CP}^B = 10000 \cdot 1 \cdot 12 = 120000 \text{ грн},$$

$$Z_{CP}^П = 10000 \cdot 2 \cdot 12 = 240000 \text{ грн},$$

Відрахування з фонду оплати праці:

$$Z_{П.Н}^B = 0,22 \cdot 120000 = 26400,0 \text{ грн}$$

$$Z_{П.Н}^П = 0,22 \cdot 240000 = 52800,0 \text{ грн}$$

Сумарна оплата праці:

$$Z_{II}^B = 120000 + 26400 = 146400,0 \text{ грн},$$

$$Z_{II}^П = 240000 + 52800 = 292800,0 \text{ грн}.$$

Знос виробничого устаткування.

$$A_{обл} = \frac{C_{Б.ОБ.} \cdot H_A}{100}, \quad (6.4)$$

де $C_{Б.ОБ.}$ - вартість устаткування, ($C_{Б.ОБ.}^B = 100000 \text{ грн}$,

$C_{Б.ОБ.}^П = 160000 \text{ грн}$);

H_A - амортизаційні нарахування, % ($H_A = 21,93\%$).

$$A_{Б.ОБ.}^Б = \frac{100000 \cdot 21,93}{100} = 21390,0 \text{ грн}$$

$$A_{Б.ОБ.}^П = \frac{160000 \cdot 21,93}{100} = 35088,0 \text{ грн}$$

Вартість електроенергії.

$$B_{ЕЛ} = Q_{ЕЛ} \cdot T_E, \quad (6.5)$$

де $Q_{ЕЛ}$ - споживання, $кВт/год.$ ($Q_{ЕЛ}^Б = 26000 \text{ кВт/год.}$,
 $Q_{ЕЛ}^П = 30000 \text{ кВт/год.}$);

$Ц_{ЕЛ}$ - кошторис $кВт/год.$ ($Ц_{ЕЛ} = 4,92 \text{ грн.}$)

$$B_{ЕЛ}^Б = 26000 \cdot 4,92 = 112320,0 \text{ грн.}$$

$$B_{ЕЛ}^П = 30000 \cdot 4,92 = 129600,0 \text{ грн.}$$

Витрати на сервіс устаткування:

$$B_{Р.ОБ} = \frac{A_{обл} \cdot 30}{100}, \quad (6.6)$$

$$B_{Р.ОБ}^Б = \frac{21390,0 \cdot 30}{100} = 6417,0 \text{ грн}$$

$$B_{Р.ОБ}^П = \frac{35088,0 \cdot 30}{100} = 10526,0 \text{ грн}$$

Ціна на запасні складових:

$$B_{з.ч.} = 0,5 \cdot 3_{П}, \quad (6.7)$$

$$B_{3.ч.}^B = 0,5 \cdot 146400,0 = 73200,0 \text{ грн}$$

$$B_{3.ч.}^П = 0,5 \cdot 292800,0 = 146400,0 \text{ грн}$$

Додаткові нарахування:

$$I_O = 0,05 \cdot (З_{П} + A + B_{ЕЛ} + B_{P.OB} + B_{3.ч.}) \quad (6.8)$$

$$I_O^B = 0,05 \cdot (146400,0 + 21390 + 112320,0 + 6417 + 73200,0) = 17984,4 \text{ грн}$$

$$I_O^П = 0,05 \cdot (292800,0 + 35088,0 + 129600,0 + 10526,0 + 146400,0) = 30720,7 \text{ грн}$$

Сумарні затрати:

$$E_B^B = 146400,0 + 21390 + 112320,0 + 6417 + 73200,0 + 17986,4 = 377713,4 \text{ грн}$$

$$E_B^П = 292800,0 + 35088,0 + 129600,0 + 10526,0 + 146400,0 + 30720,7 = 645134,7 \text{ грн}$$

3. Витрати на ремонті роботи:

$$C_P = E_B \cdot 1,02 \quad (6.9)$$

$$C_P^B = 377713,4 \cdot 1,02 = 382267,7 \text{ грн}$$

$$C_P^П = 645134,7 \cdot 1,02 = 784791,3 \text{ грн}$$

4. Дохід за рік (П):

$$\Pi_{3AG} = B_P - C_P, \quad (6.10)$$

$$\Pi_{3AG}^B = 650000,0 - 526356,9 = 123643,1 \text{ грн}$$

$$\Pi_{3AG}^П = 975000,0 - 793795,4 = 181204,6 \text{ грн}$$

5. Додатковий дохід:

$$D_{II} = \Pi_{3AG}^I - \Pi_{3AG}^B, \quad (6.11)$$

$$D_{II} = 190208,7 - 72732,3 = 117476,4 \text{ грн}$$

6. Окупність матеріальних витрат:

$$T_o = \frac{C_{Б.ОБ.}}{D_{II}}, \quad (6.12)$$

$$T_o = \frac{160000,0}{117476,4} = 1,4 \text{ року}$$

Розрахунки ефективності зведено до табл. 6.1

Таблиця 6.1 – Показники ефективності

Показник	Базові показники	Розроблені показники
Вид діяльності	сервіс	сервіс
Обсяг програми, од.	70	150
Число слюсарів, од.	1	2
Капітальні витрати, грн.	100000	160000
Експлуатаційні затрати: грн.	377713,0	645134,7
- сумарна оплата праці, грн.	146400,0	292800,0
- відрахування на амортизацію, грн.	21390,0	35088,0
- витрати на електроенергію, грн.	112320,0	129600,0
- сервісне обслуговування, грн.	6417,0	10526,0
- відрахування на забезпечення зручності праці, грн.	17986,4	30720,7
Витрати на ремонтні роботи, грн.	382267,7	784791,3
Дохід за рік, грн.	72732,3	190208,7
Додатковий дохід, грн.	-	+117476,4
Окупність матеріальних витрат, р.	-	1,4

Висновок.

Розширення обсягу виробництва та отримання додаткового прибутку в розмірі 117476,4 грн можна отримати за допомогою впровадження запропонованого технологічного процесу ремонту об'ємних гідромашин. Крім того, капітальні вкладення повністю окупляться приблизно за 1,4 року.

ПІДСУМКИ ВИКОНАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Основні деталі качаючого вузла потребують ремонту через гідроабразивне зношення робочих поверхонь, усунення якого потребує проведення притирочних операцій. Найвищий показник непридатності має приставне дно через його конструктивні особливості та умови експлуатації, що спричиняють утворення рисок, ерозійних каналів і слідів схоплювання.

2. Ремонтна технологічність деталей визначається ймовірністю їх придатності, можливістю відновлення працездатності та трудомісткістю допоміжних операцій, що не передбачені технологією виготовлення. На неї також впливають експлуатаційні фактори — своєчасність і якість технічного обслуговування та стан робочої рідини.

3. Підвищити ремонтну технологічність деталей, що обмежують ресурс гідравлічної трансмісії, можна через впровадження прогресивних технологій відновлення поверхонь та забезпечення виробництва необхідним обладнанням і оснасткою.

4. Розроблений метод оцінки ремонтпридатності деталей торцевого розподілення НП-90 і МП-90 базується на максимальній глибині гідроабразивних або ерозійних каналів, неплюскісті та товщині деталі, що забезпечує достовірну оцінку технічного стану та вибір способу відновлення. При повторному ремонті слід враховувати різницю між номінальною та фактичною товщиною деталей для підвищення точності оцінки.

5. Застосування запропонованого методу дозволяє уникнути необґрунтованих витрат, підвищити точність оцінки технічного стану деталей та збільшити ремонтний фонд гідромашин за рахунок раніше необґрунтовано відбраковуваних деталей.

6. На підставі аналізу характеру та виду зношення робочих поверхонь латунного приставного дна, а також величини його максимального зносу, доцільно рекомендувати відновлення методом електроконтактного

напикання порошку. Цей спосіб має суттєві технологічні та економічні переваги порівняно з іншими методами відновлення латунних деталей.

7. На основі кореляційного аналізу впливу масових часток хімічних елементів у порошковій суміші на фізико-механічні властивості відновленої поверхні було підібрано оптимальний склад порошку. Він сумісний із основним металом, забезпечує високу адгезію, підвищує зносостійкість і міцність, а також зберігає антикорозійні властивості.

8. Аналіз кореляційної матриці взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні показав, що тиск і температура мають істотний позитивний вплив на міцність з'єднання та зносостійкість, тоді як тривалість впливу струму негативно впливає на якість, оскільки надмірна тривалість може призвести до перегріву та пов'язаних із ним дефектів.

9. Відновлене латунне приставне дно за фізико-механічними властивостями перевершує оригінальну деталь: несуча здатність збільшена в 1,13 рази, коефіцієнт тертя зменшено на 1,08 рази, що зменшує швидкість зношування робочої поверхні експериментальної деталі в 1,5 рази.

10. Оптимальною порошковою композицією для відновлення кільцевої опори п'яти, визначеною за допомогою кореляційного аналізу, є склад: Cu – 50 %, Zn – 15 %, Ni – 15 %, Al – 4 %, Si – 2 %, Mn – 2 %, B – 1,5 %. Ця композиція забезпечує високу зносостійкість, міцність та антикорозійні властивості відновленого шару.

11. На основі дослідження взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні визначено оптимальний режим: сила струму 14–15 кА, тиск 20–30 МПа, напруга 2,5–3,2 В, час дії струму 1–5 с залежно від товщини нарощуваного шару.

12. Результати триботехнічних випробувань показали, що у спряженні з відновленою п'ятою спостерігається збільшення несучої здатності на 17 %, зниження коефіцієнта тертя на 18,8 % та зменшення інтенсивності зношування на 34 % порівняно з еталонними парами тертя.

13. Запропонований спосіб відновлення кільцевої опори п'яти плунжера забезпечує високий коефіцієнт відновлення (95–98 %) та суттєво знижує собівартість ремонту гідроагрегатів на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

14. Розроблений технологічний процес відновлення латунного приставного дна дає можливість підвищити коефіцієнт його відновлення до 95 % на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

15. Розширення обсягу виробництва та отримання додаткового прибутку в розмірі 117476,4 грн можна отримати за допомогою впровадження запропонованого технологічного процесу ремонту об'ємних гідромашин. Крім того, капітальні вкладення повністю окупляться приблизно за 1,4 року.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дмитрів В. Т., Вантух З. З., Дмитрів І. В. Об'ємні гідроприводи. Будова й особливості функціонування : навч. посіб. – Київ : Видавничий дім «Кондор», 2020. – 184 с.
2. Meliantsov P. T. Ensuring the reliability of axial-piston units of hydraulic transmissions in the process of their repair by constructive measures // International Scientific Periodical Journal "Modern engineering and innovative technologies". – 2024. – Vol. 32, № 1. – P. 20–28. – Режим доступу: <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-086>. – DOI: 10.30890/2567-5273.2024-32-00-086.
3. Электронная страница ЗАО «Гидросила» [Электронный ресурс] – Режим доступу: <https://www.hydrasila.com/products/axial-pumps/>. – Загл. с экрана.
4. Андренко П. М., Лебедев А. Ю., Дмитрієнко О. В., Свиначенко М. С. Надійність, технічне діагностування та експлуатація гідро- і пневмоприводів : навч. посіб. / за ред. П. М. Андренка. – Харків : Видавничий центр НТУ «ХП», 2018. – 519 с.
5. Андренко П. М., Лебедев А. Ю., Свиначенко М. С. Технічне діагностування гідравлічних приводів : навч. посіб. – Харків : Видавничий центр НТУ «ХП», 2016. – 172 с.
6. Мельянцов П. Т., Харченко Б. Г., Голубев И. Г. Опыт ремонта гидропривода ГСТ-90 на ремонтных предприятиях [Текст] – М. : Госагропром СССР. АгроНИИТЭИИТО, 1989. – 42 с.
7. Мельянцов П. Т. Substitution of controlling structural parameters of the technical condition of parts of the pluggage pair of axial-piston hydraulic machines for repair production conditions // Intellectual capital is the foundation of innovative development: Innovative technology, Computer science, Security systems, Physics and mathematics : монографія. – Кн. 38. Ч. 2. – Karlsruhe : ScientificWorld-NetAkhatAV, 2025. – С. 6–47. – ISBN 978-3-98924-083-4. – DOI: 10.30890/2709-2313.2025-38-02-007.

8. Meliantsov P. T., Dobryanskyi I. M., Losikov O. M., Sidorenko V. K. Control of the technical condition of hydraulic transmission units of mobile machines on the basis of monitoring the level of cleanliness of the working fluid // The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal". – 2024. – № 24. – Р. 62–76. – Режим доступа: <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-001>. – DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-001.

9. Мельянцов П. Т., Харченко Б. Г., Голубев И. Г. Опыт ремонта гидропривода ГСТ-90 на ремонтных предприятиях [Текст] – М. : Госагропром СССР. АгроНИИТЭИИТО, 1989. – 42 с.

10. Ионов П. А., Столяров А. В., Земсков А. М. Поиск рациональных технологических режимов электроискровой обработки поршней и золотников объемного гидропривода ГСТ-112. – Москва : Труды ГОСНИТИ, 2013. – Т. 116. – С. 66–70.

11. Мельянцов П. Т., Дмитренко О. В. Технологія підвищення довговічності аксіально-поршневих агрегатів об'ємного гідроприводу // Zbior artykulow naukowych. Inzynieria i technologia. Osiagniecia naukowe, rozwoj, propozicje na rok 2015. – Warszawa : Diamond Trading Tour, 2015. – Р. 47–50.

12. Мельянцов П. Т., Лосіков О. М., Сидоренко В. К. Показники ремонтної технологічності деталей шестеренного насоса модифікації НШ К гідравлічної системи трактора // Scientific and Technological Revolution of the XXI Century: Conference Proceedings. – Квітень 2025. – Вип. 38. – С. 3–10. – ISSN 2709-1783. – DOI: 10.30890/2709-1783.2025-38-00-007. – Режим доступа: <https://www.proconference.org/index.php/gec/article/view/gec38-00-007>.

13. Пузряков А. Ф., Ставровский М. Е., Олейник А. В. Технологические процессы в сервисе : учеб. пособие. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 240 с.

14. ДСТУ 9012-89. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – М. : Стандартиформ, 2007. – 42 с.

15. Заблодський М. М. Технології відновлення і зміцнення деталей електрообладнання з використанням композиційних матеріалів : монографія. – К. : НУБіП України, 2022. – 268 с.

16. ДСТУ 12.1.038:2008. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів. – К. : Держстандарт, 2008.

17. ДБН В.1.1.7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К. : Держбуд України, 2003. – 47 с.

18. ПІ 1.4.40-208-2002. Примірна інструкція з охорони праці для слюсарів механоскладальних робіт. – К. : Міністерство промислової політики України, 2002.

ДОДАТОК

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ
АГРЕГАТІВ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ**
демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня “Магістр”

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-24
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»
Зайцев Єгор Володимирович

Керівник: к.т.н., доцент
Мельянцов Петро Тимофійович

Дніпро 2025

1

**Тема: “удосконалення технології підвищення довговічності
АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ
АГРЕГАТИВ ОБ’ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ”**

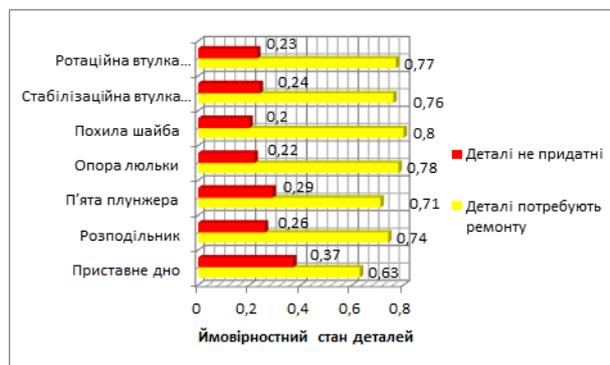
Мета роботи: ” підвищити післяремонтну надійність агрегатів об’ємних гідравлічних трансмісій шляхом обґрунтування та впровадження ефективних ресурсозберігаючих технологічних рішень у процесі їх ремонту.”

Задачі досліджень:

1. Провести теоретичний аналіз та оцінку ремонтної технологічності деталей качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини.
2. Дослідити ремонтпридатність деталей торцевого розподілення робочої рідини аксіально-поршневої гідромашини в умовах відновлювального ремонту.
3. Обґрунтувати методику відновлення працездатності аксіально-поршневої гідромашини.
4. Розробити технологічні процеси відновлення деталей качаючого вузла з визначенням ефективного способу усунення виявлених дефектів.
5. Виконати техніко-економічну оцінку запропонованих технологічних рішень щодо ремонту об’ємного гідроприводу.

Ймовірнісний розподіл структурних характеристик деталей основних блоків гідроагрегатів

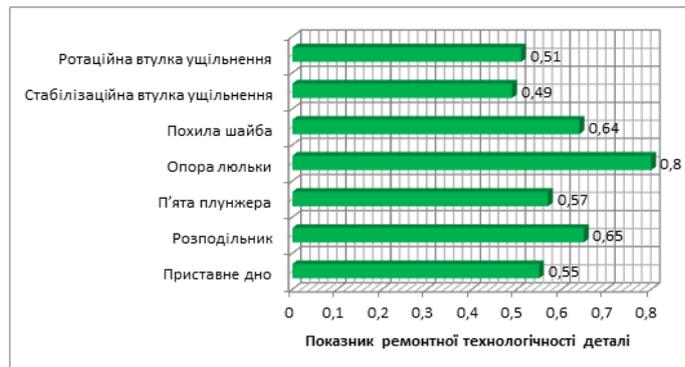
№ з/п	Деталь	Деталі придатні P_n .	Деталі потребують ремонту P_p .	Деталі непридатні $P_{нп}$.
1	Проставне дно	-	0,631	0,371
2	Розподільник	-	0,741	0,261
3	П'ята плунжера	-	0,711	0,291
4	Опора люльки	-	0,781	0,221
5	Похила шайба	-	0,801	0,201
6	Стабілізаційна втулка ущільнення	-	0,761	0,241
7	Ротаційна втулка ущільнення	-	0,771	0,231



Ймовірність технічного стану деталей

Показники ремонтної технологічності складових качаючого вузла

Деталь	Показники для визначення ремонтної технологічності							
	P_n	P_p	$\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}$	$\sum_{j=1}^z t_j^{don} \cdot K_{kj}$	K_k	K_o	K_e	$P_{p.m.}^{\theta}$
Проставне дно	-	0,631	1,91	0,407	0,57	1,39	0,76	0,551
Розподільник	-	0,741	2,01	0,465	0,57	1,46	0,77	0,651
П'ята плунжера	-	0,711	0,811	0,293	0,57	1,54	0,70	0,571
Опора люльки	-	0,781	1,92	0,262	0,57	1,46	0,79	0,801
Похила шайба	-	0,801	1,96	0,349	0,57	1,26	0,77	0,641
Стабілізаційна втулка ущільнення	-	0,761	1,05	0,204	0,57	1,16	0,66	0,491
Ротаційна втулка ущільнення	-	0,771	0,927	0,221	0,57	1,21	0,68	0,511



Характеристики придатності деталей насосного вузла до ремонтного відновлення ⁴

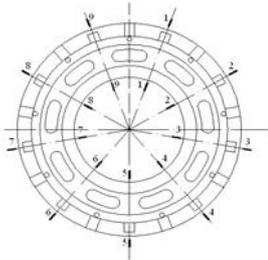
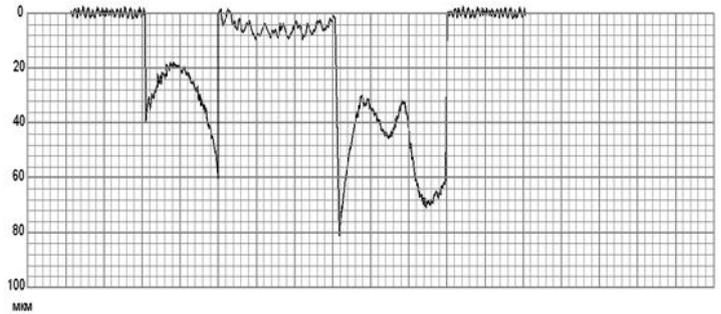


Схема вимірювання неплоскості деталі (Δ).



Профілограма поперечного перерізу зношеного приставного дна для визначення глибини каналу (δ_{\max})

$$P_p = 1 - \frac{(\delta_{\max} + |\Delta|)}{B_n} \cdot 100 \%,$$

де P_p - відносний діагностичний показник ремонтпридатності, %;

B_n - номінальна товщина деталі згідно робочого креслення, мм.;

δ_{\max} - максимальна глибина каналу профілограми поперечного перерізу зношеної поверхні деталі, мм.;

$|\Delta|$ - відносний показник, який враховує неплоскостність робочої поверхні деталі.



Загальний вигляд машини СМТ-1М:

1. – Корпус;
2. – основа;
3. – резервуар;
4. – навантажувальний пристрій;
5. – блок зняття інформації;
6. – дисплей;
7. – кабелі;
8. – аварійне вимкнення.

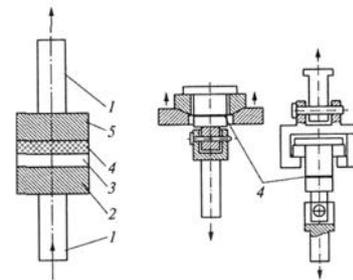
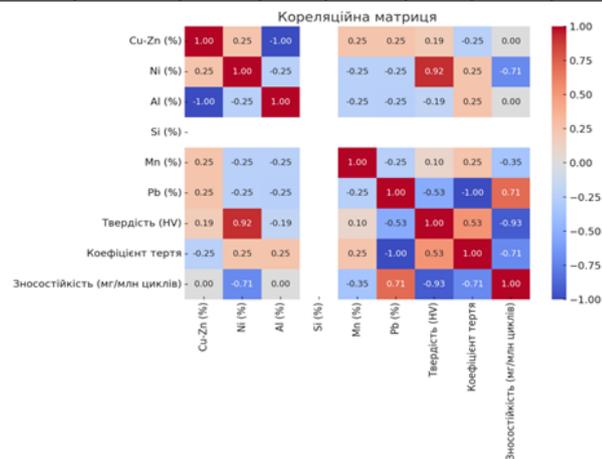


Схема випробування міцності адгезії:
покриття клейовим методом:

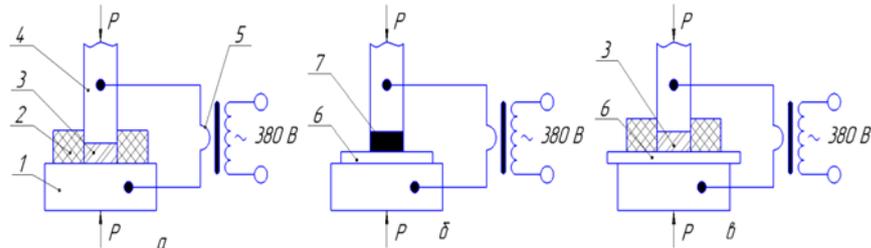
1. – стрижні;
2. – оправка;
3. – шар клею;
4. – нанесений шар;
5. – зразковий екземпляр.

Рекомендовані склади порошкових сумішей за пріоритетними експлуатаційними властивостями

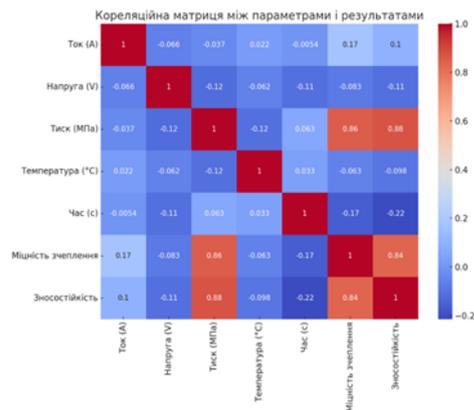
Пріоритет властивості	Хімічний та відсотковий склад порошку						Показники
	Cu-Zn, (%)	Ni, (%)	Al, (%)	Si, (%)	Mn, (%)	Pb, (%)	
Максимальна зносостійкість	50–55	14–15	2–3	1,5–2	2	≤0,5	Підвищена твердість і стабільність, помірне тертя
Низький коефіцієнт тертя	55–60	10–12	3–4	1–1,5	1	0,8–1	Плавне ковзання, зменшення тертя, але менша твердість
Оптимальний баланс	52–56	13–14	3	1,5	1,5	0,6	Найкраще поєднання зносостійкості й низького тертя



Кореляційна матриця залежності між складом порошкової суміші та фізико-механічними властивостями відновленого шару



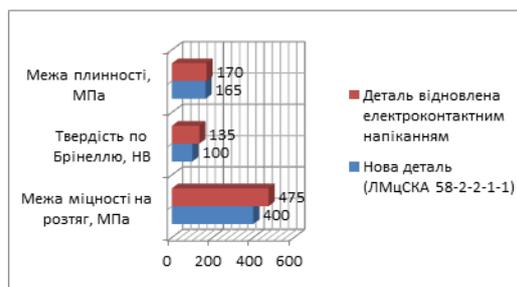
Схеми електроконтактного спікання та наварки порошків на поверхню деталі: а – спікання брикету; б – наварка брикету; в – спікання та наварка порошку; 1 – електрод; 2 – прес-форма; 3 – порошок; 4 – електрод; 5 – зварювальний трансформатор; 6 – деталь; 7 – брикет; P – зусилля стискування.



Кореляційна матриця залежності між параметрами процесу електроконтактного напівання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі

Фізико-механічні властивості відновленої поверхні методом електроконтактного спікання порошку порівняно з новою деталлю зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1

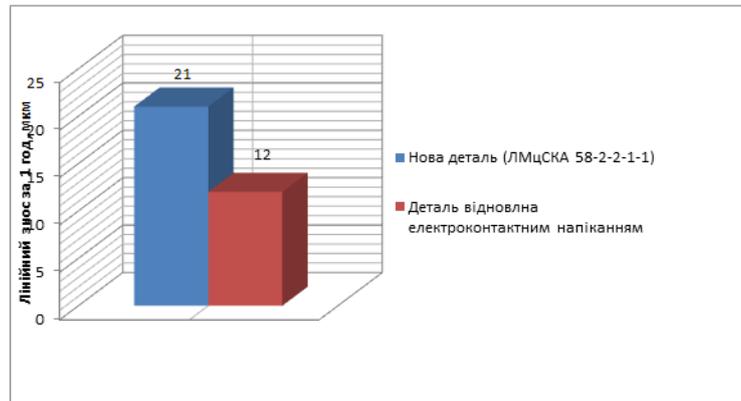
Показник	Деталь нова (ЛМцСКА 58-2-2-1-1)	Відновлена поверхня (спечений шар)
Межа міцності на розтяг, МПа	380-420	450-500 (за рахунок армування Ni та Al)
Твердість по Брінеллю, НВ	90-110	120-150 (підвищена зносостійкість)
Межа плинності, МПа	150-180	120-220
Відносне подовження, %	20-25	10-15 (менш пластично)
Корозійна стійкість	Висока	Висока (за наявності Al та Ni)



Порівняння фізико-механічних властивостей відновленої електроконтактним спіканням поверхні з властивостями нової деталі зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1.

Порівняння лінійної швидкості зношування зразків відновленої поверхні та нової деталі

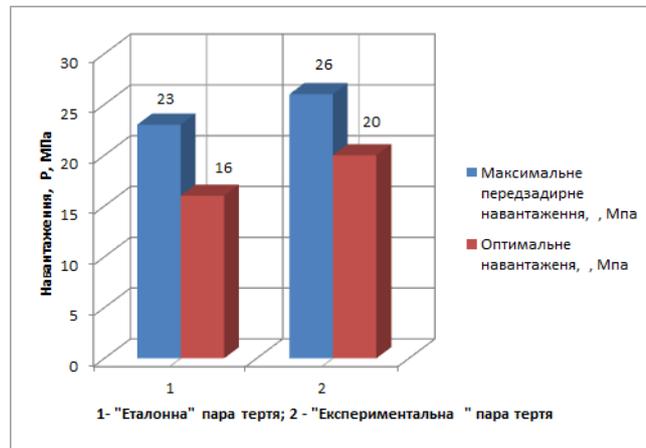
Показник	Нова деталь (ЛМЦСКА 58-2-2-1-1)	Відновлена поверхня (спечений шар)
Швидкість зношування, $\text{мм}^3/(\text{Нм})$	$8-12 \times 10^{-6}$	$4-6 \times 10^{-6}$ (в 1,5-2 рази нижче)
Лінійний знос за 1 год, мкм	18-25	10-15 (в умовах тертя з олією)
Зниження інтенсивності зносу, %	-	до 40-50% (порівняно з оригінальною латунню)



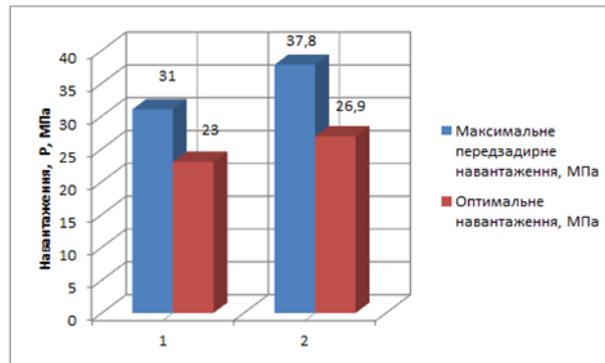
Порівняльний аналіз лінійної швидкості зношування відновленої поверхні та нової деталі

Результати випробувань на припрацювання пари тертя «розподільник–приставне дно»

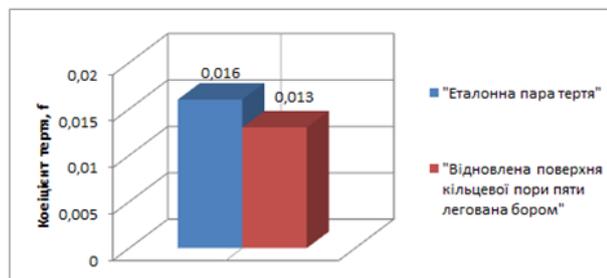
Показник	«Еталонна» пара тертя	«Експериментальна» пара тертя
Максимальне передзадирне навантаження, $P_{\text{мл}}$, МПа	23,0	26,0
Оптимальне навантаження, $P_{\text{от}}$, МПа	16,0	20,0
Коефіцієнт тертя	0,013	0,012



Середні значення граничних передзадирних та оптимальних навантажень для «еталонних» і «експериментальних» пар тертя

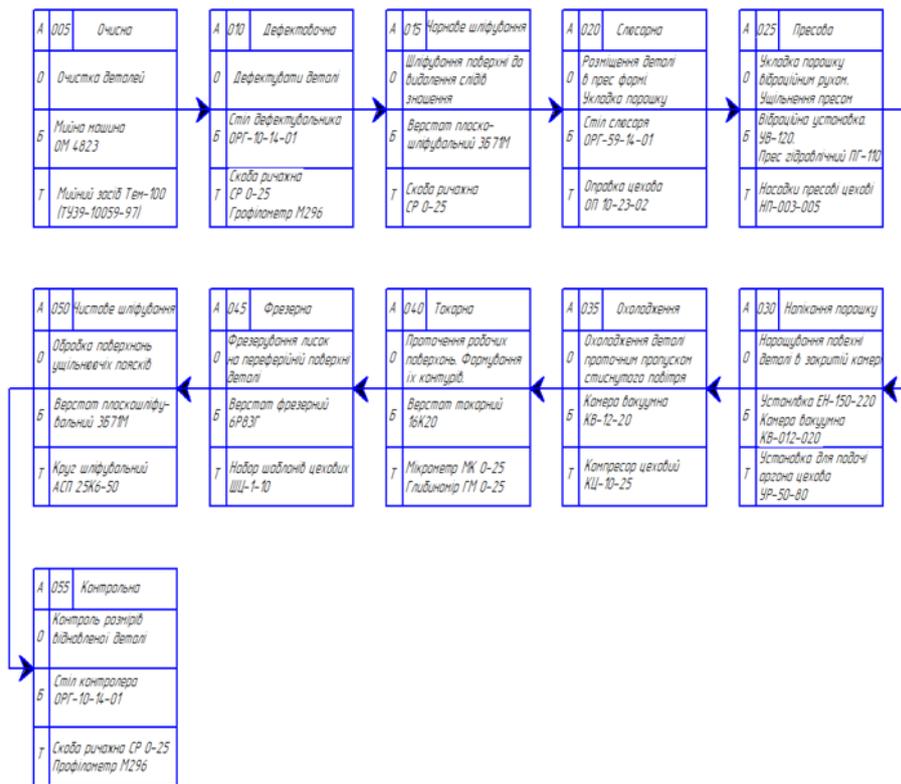


Середні значення граничних передзадирних та оптимальних навантажень для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя: 1 – «еталонна» пара: п'ята плунжера (латунь ЛМцСКА-58-2-2-1-1) – опора (сталь ШХ15СГ); 2 – «експериментальна» пара: кільцева опора п'яти плунжера (електроконтактне напикання порошку з бором) – опора (сталь ШХ15СГ).



Мінімальні коефіцієнти тертя для «еталонних» і «експериментальних» пар тертя 12

Блок-схема технологічного процесу відновлення приставного дна



Техніко-економічні показники

Показник	Базові показники	Розроблені показники
Вид діяльності	сервіс	сервіс
Обсяг програми, од.	70	150
Число слюсарів, од.	1	2
Капітальні витрати, грн.	100000	160000
Експлуатаційні затрати: грн.	377713,0	645134,7
- сумарна оплата праці, грн.	146400,0	292800,0
- відрахування на амортизацію, грн.	21390,0	35088,0
- витрати на електроенергію, грн.	112320,0	129600,0
- сервісне обслуговування, грн.	6417,0	10526,0
- відрахування на забезпечення зручності праці, грн.	17986,4	30720,7
Витрати на ремонтні роботи, грн.	382267,7	784791,3
Дохід за рік, грн.	72732,3	190208,7
Додатковий дохід, грн.	-	+117476,4
Окупність матеріальних витрат, р.	-	1,4

Основні висновки

1. Основні деталі качаючого вузла потребують ремонту через гідроабразивне зношення робочих поверхонь, усунення якого потребує проведення притирочних операцій. Найвищий показник непридатності має приставне дно через його конструктивні особливості та умови експлуатації, що спричиняють утворення рисок, ерозійних каналів і слідів схоплювання.
2. Ремонтна технологічність деталей визначається ймовірністю їх придатності, можливістю відновлення працездатності та трудомісткістю допоміжних операцій, що не передбачені технологією виготовлення. На неї також впливають експлуатаційні фактори — своєчасність і якість технічного обслуговування та стан робочої рідини.
3. Підвищити ремонтну технологічність деталей, що обмежують ресурс гідравлічної трансмісії, можна через впровадження прогресивних технологій відновлення поверхонь та забезпечення виробництва необхідним обладнанням і оснасткою.
4. Розроблений метод оцінки ремонтпридатності деталей торцевого розподілення НП-90 і МП-90 базується на максимальній глибині гідроабразивних або ерозійних каналів, неплюскісті та товщині деталі, що забезпечує достовірну оцінку технічного стану та вибір способу відновлення. При повторному ремонті слід враховувати різницю між номінальною та фактичною товщиною деталей для підвищення точності оцінки.
5. Застосування запропонованого методу дозволяє уникнути необґрунтованих витрат, підвищити точність оцінки технічного стану деталей та збільшити ремонтний фонд гідромашин за рахунок раніше необґрунтовано відбраковуваних деталей.

6. На підставі аналізу характеру та виду зношення робочих поверхонь латунного приставного дна, а також величини його максимального зносу, доцільно рекомендувати відновлення методом електроконтактного напікання порошку. Цей спосіб має суттєві технологічні та економічні переваги порівняно з іншими методами відновлення латунних деталей.
7. На основі кореляційного аналізу впливу масових часток хімічних елементів у порошковій суміші на фізико-механічні властивості відновленої поверхні було підбрано оптимальний склад порошку. Він сумісний із основним металом, забезпечує високу адгезію, підвищує зносостійкість і міцність, а також зберігає антикорозійні властивості.
8. Аналіз кореляційної матриці взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напікання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні показав, що тиск і температура мають істотний позитивний вплив на міцність з'єднання та зносостійкість, тоді як тривалість впливу струму негативно впливає на якість, оскільки надмірна тривалість може призвести до перегріву та пов'язаних із ним дефектів.
9. Відновлене латунне приставне дно за фізико-механічними властивостями перевершує оригінальну деталь: несуча здатність збільшена в 1,13 рази, коефіцієнт тертя зменшено на 1,08 рази, що зменшує швидкість зношування робочої поверхні експериментальної деталі в 1,5 рази.
10. Оптимальною порошковою композицією для відновлення кільцевої опори п'яти, визначеною за допомогою кореляційного аналізу, є склад: Cu – 50 %, Zn – 15 %, Ni – 15 %, Al – 4 %, Si – 2 %, Mn – 2 %, B – 1,5 %. Ця композиція забезпечує високу зносостійкість, міцність та антикорозійні властивості відновленого шару.

11. На основі дослідження взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні визначено оптимальний режим: сила струму 14–15 кА, тиск 20–30 МПа, напруга 2,5–3,2 В, час дії струму 1–5 с залежно від товщини нарощуваного шару.
12. Результати триботехнічних випробувань показали, що у спряженні з відновленою п'ятою спостерігається збільшення несучої здатності на 17 %, зниження коефіцієнта тертя на 18,8 % та зменшення інтенсивності зношування на 34 % порівняно з еталонними парами тертя.
13. Запропонований спосіб відновлення кільцевої опори п'яти плунжера забезпечує високий коефіцієнт відновлення (95–98 %) та суттєво знижує собівартість ремонту гідроагрегатів на спеціалізованих ремонтних підприємствах.
14. Розроблений технологічний процес відновлення латунного приставного дна дає можливість підвищити коефіцієнт його відновлення до 95 % на спеціалізованих ремонтних підприємствах.
15. Розширення обсягу виробництва та отримання додаткового прибутку в розмірі 117476,4 грн. можна отримати за допомогою впровадження запропонованого технологічного процесу ремонту об'ємних гідромашин. Крім того, капітальні вкладення повністю окупляться приблизно за 1,4 року.