

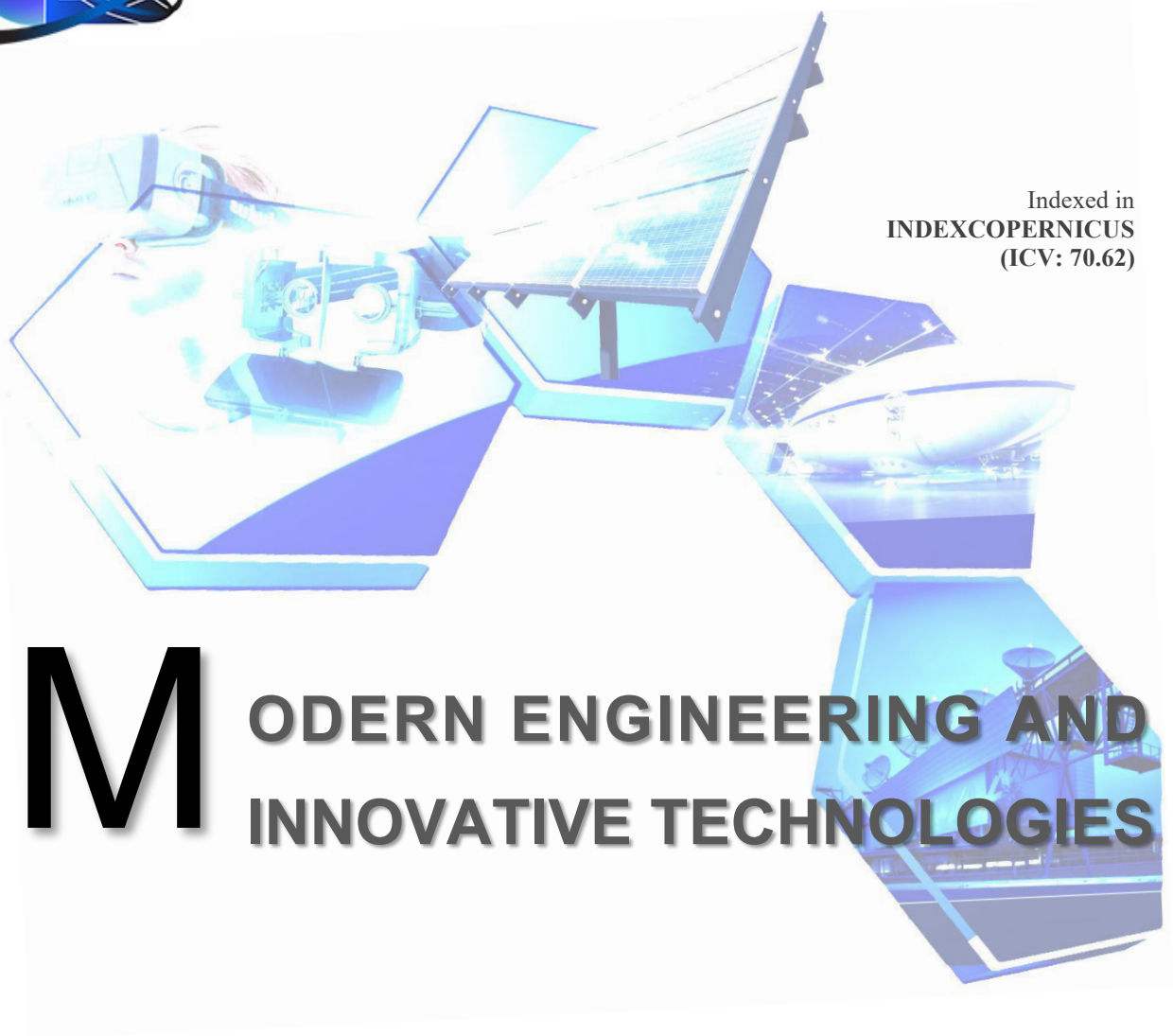


*International periodic scientific journal*

—*ONLINE*

*www.moderntechno.de*

Indexed in  
**INDEXCOPERNICUS**  
(ICV: 70.62)



# **M**ODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

**Issue №38**

**Part 1**

**April 2025**

*Published by:*  
**Sergeieva&Co**  
*Karlsruhe, Germany*

**Editor:** Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*

**Scientific Secretary:** Kuprienko Sergey, *PhD in technical sciences*

**Editorial board:** More than 400 doctors of science. Full list on page:

<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/about/editorialTeam>

**Expert Board of the journal:** Full list on page:

<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "**Modern engineering and innovative technologies**" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: 6 times a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in IndexCopernicus, GoogleScholar.

**DOI: 10.30890/2567-5273.2025-38-01**

**Published by:**

**Sergeieva&Co**

*Lußstr. 13*

*76227 Karlsruhe, Germany*

e-mail: [editor@moderntechno.de](mailto:editor@moderntechno.de)

site: [www.moderntechno.de](http://www.moderntechno.de)

---

Copyright

© Authors, scientific texts 2025



УДК 621.313.333.4:621.791.75

## TECHNOLOGY OF REPAIR OF RESOURCE-LIMITING PARTS OF COUPLINGS OF PUMPING UNITS OF AXIAL-PISTON HYDRAULIC MACHINES

### ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ РЕСУРСОЛІМІТУЮЧИХ ДЕТАЛЕЙ СПРЯЖЕНЬ КАЧАЮЧИХ ВУЗЛІВ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОМАШИН

**Melyantsov P.T. / Мельянцов П. Т.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-5937-4021

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, S. Yefremova, 25, 49600**Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, С. Єфремова, 25, 49600***Losikov O. M. / Лосіков О.М.***art., teacher. / ст. викладач*

ORCID 0009-0004-5523-7651

**Sidorenko V. K. / Сидоренко В. К.***art., teacher. / ст. викладач*

ORCID 0009-0005-7610-4433

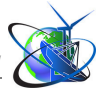
*Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryana, 2, 49010**Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Лазаряна, 2, 49010*

**Анотація.** В роботі розглядаються питання з відновлення технічного стану латунного приставного дна, яке разом з розподільником формує спряження для розподілення потоків робочої рідини в качаючому вузлі аксіально-поршневих гідромашин і в технологічних процесах їх ремонту має низький коефіцієнт відновлення. Метою роботи є забезпечення максимального значення коефіцієнта відновлення приставного дна і підвищення його післяремонтної довговічності, шляхом розроблення ефективного способу його відновлення. Поставлена мета досягається застосуванням, для його відновлення, способу електроконтактного напікання порошку, який має технологічні і економічні переваги в порівнянні з іншими способами відновлення деталей, виготовлених з латуні. Отримані результати показали, що у відновленого приставного дна швидкість зношування робочої поверхні в 1,5 рази менша в порівнянні з еталонною деталлю, а розроблений технологічний процес дає можливість підвищити коефіцієнт відновлення деталі до 95 % на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

**Ключові слова:** гідростатична трансмісія, аксіально-поршнева гідромашина, качаючий вузол, спряження, приставне дно, гідроабразивне зношення, електроконтактне напікання порошку, технологічний процес, твердість, зносостійкість, післяремонтна довговічність.

#### Вступ.

На сьогоднішній день парк колісної та гусеничної техніки складається з мобільних машин, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, котрі оснащені гідравлічним приводом трансмісії. До основних вузлів гідростатичної трансмісії, що передбачені конструкцією, відносяться регульовані аксіально-поршневі гідронасоси (НП-90, НП-112) та нерегульовані гідромотори з похилою



шайбою (МП-90, МП-112) [1].

Конструктивне втілення гідравлічної трансмісії в мобільних машинах подібного класу зумовлене низкою переваг у порівнянні з механічними трансмісіями, і її складові постійно піддаються конструктивному удосконаленню в порівнянні з механічними трансмісіями, з метою покращення не лише вихідних параметрів трансмісії, але й збільшення їх довговічності в умовах експлуатації після проведення відновлювальних робіт [2].

За конструктивними рішеннями аксіально-поршневі гідромашини відзначаються високим ступенем надійності, проте в умовах експлуатації відбуваються, як ресурсні так і раптові відмови пов'язані з втратою їх працездатності [3].

Про це вказується в роботах [3, 4], де автори відмічають, що в умовах експлуатації близько 25...30 % відмов в мобільних машинах припадає на гідроагрегати трансмісії. А основна їх кількість відноситься до спряжень деталей качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин (гідронасоса та гідромотора).

Зміна структурних параметрів технічного стану деталей спряжень качаючих вузлів гідромашин обумовлює порушення розмірних ланцюгів в з'єднаннях, що приводить до зменшення тиску в нагнітаючій магістралі гідроприводу, зниження об'ємного і загального коефіцієнтів корисної дії (ККД) гідравлічної трансмісії [5].

Даний висновок підтверджується і в роботі [6], де відмічається, що ресурсні відмови в своїй більшості проявляються при значних об'ємних втратах робочої рідини, в результаті зміни структурних параметрів технічного стану деталей спряжень основних агрегатів трансмісії.

Відновлення працездатного стану об'ємних гідромашин проводиться на спеціалізованих сервісних підприємствах з їх ремонту [7]. Це пояснюється складною конструкцією аксіально-поршневих гідромашин, наявністю в їх качаючих вузлах прецизійних спряжень деталей, а також не повною інформацією щодо пронормованих значень структурних параметрів технічного стану деталей для умов ремонтного підприємства.



Дана робоча гіпотеза також підтверджується в роботі [8], де автори рекомендують проводити вхідний контроль агрегатів, через визначення технічного стану деталей їх качаючих вузлів по сумарним об'ємним втратам через дренажні отвори. Отримані результати контрольних операцій дають інтегральну оцінку технічного стану деталей і будуть інформативними для агрегатів, об'ємні втрати рідини яких перевищують  $225 \text{ см}^3/\text{с}$ , які в роботі [6] відмічаються як граничні.

Відсутність нормованих значень структурних параметрів деталей обумовлює певні складності, щодо вибору способу їх відновлення в умовах сервісних підприємств.

Широке застосування на сервісних підприємствах знайшов спосіб вільних ремонтних розмірів, який характеризується притиркою робочих поверхонь деталей до видалення слідів спрацювання, а розмірний ланцюг складеного вузла відтворюється встановлення додаткових кільцевих пластин під підшипник задньої кришки агрегату [3].

Реалізація даного способу характеризується мінімальними трудовими затратами, але при цьому, в умовах експлуатації відремонтовані агрегати не відпрацьовують міжремонтний ресурс, а у ремонтного фонду, що поступає на сервісне підприємство, до 30% деталей потрапляють в утиль.

Однією із основних причин, які суттєво впливають на ремонтпридатність об'ємних агрегатів, являється технічний стан деталей спряження «розподільник-приставне дно», зміна якого суттєво впливає на об'ємні втрати робочої рідини в качаючих вузлах гідромашин [9].

В роботі [10], автори рекомендують застосовувати для відновлення латунних деталей спряження «розподільник-приставне дно» (безпосередньо – приставне дно), електроіскрове наплавлення, яке забезпечує необхідні фізико-механічні властивості відновленої поверхні деталі.

При обґрунтуванні застосування даного способу ними не достатньо звернуто увагу на такий фактор, як характер зношення деталі, в результаті якого на ущільнюючих поясах деталі, по їх внутрішньому і зовнішньому контурах,



проходить руйнування гострої кромки, яку дуже складно відновити застосовуючи технологічні прийоми характерні до електроіскрового наплавлення, що приводить до значних витрат матеріалу електроду. Крім того, зношення проходить по всьому круговому периметру деталі, відновлення якого з застосуванням електроіскрового наплавлення за економічним критерієм буде не ефективним.

Більш ефективним способом для відновлення латунного приставного дна являється метод порошкової металургії, який ґрунтується на об'ємному просочуванні розплаву міді до зношеної поверхні деталі, укладеної в спеціальній прес-формі, з послідуною її механічною обробкою [11].

До недоліків способу слід віднести застосування об'ємного нагрівання деталі, яке являється характерним для методів порошкової металургії, що ускладнює процес контролю глибини розплавлення робочої поверхні деталі і значно збільшує тривалість операції відновлення.

Уникнути даних недоліків можна за рахунок розроблення ефективних способів відновлення деталей спряження «розподільник-приставне дно», качаючих вузлів гідроагрегатів до їх номінальних розмірів з фізико-механічними властивостями робочих поверхонь, які відповідають значенням нових деталей.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Обґрунтування ефективних способів відновлення деталей ґрунтується на таких факторах: статистична оцінка появи дефектів у деталі та їх вплив на працездатність агрегату; матеріал з якого виготовляється деталь; геометрична форма деталі та умови в яких вона працює; характер та вид зношення робочої поверхні деталі; наявності прогресивних способів ремонту деталей.

Для об'ємних агрегатів гідростатичних трансмісій деталі спряження «розподільник - приставне дно» качаючого вузла, виконують функції розподілу потоку робочої рідини під тиском в інтервалі 14,5-35,5 МПа (в залежності від конструкції), працюють в знакозмінному режимі за швидкістю та крутних моментів, сприймають температурне навантаження, що впливає на їх технічний стан. Деталі даного спряження одні з перших в процесі роботи змінюють свої



структурні параметри технічного стану і обумовлюють значні об'ємні втрати робочої рідини [7, 9].

Детальний аналіз технічного стану робочих поверхонь розподільника і приставного дна, наведений в роботі [12], показав, що переважним видом їх зношення являється гідроабразивне, а максимальне зношення поверхонь виникає вздовж твірних розподільчатих вікон біля перемичок, які розділяють вікна.

В роботі [13], автори також вказують на наявність ерозійного зношення робочих поверхонь деталей, яке з'являється в результаті високошвидкісного перетікання робочої рідини між зонами високого і низького тиску, через перемички серповидних вікон, що обумовлює виникнення ерозійних каналів.

Наявність гідроабразивних рисок і ерозійних каналів, які формують замкнутий контур по всій поверхні деталей і мають різну форму та глибину, значно ускладнює технологічний процес їх відновлення, особливо приставного дна, яке виготовлене із матеріалу ЛМцСКА 58-2-2-1-1 (ТУ 48-21-356-74) і характеризується більшим зношенням ніж розподільник, виготовлений зі сталі 12ХФ1. В процесі ремонту аксіально-поршневих гідромашин до 40% деталей – приставне дно вибраковується. В зв'язку з цим, являється актуальним розроблення ефективного способу відновлення латунного приставного дна, що забезпечить максимальне значення коефіцієнта його відновлення.

**Метою роботи є** – забезпечення максимального використання латунних деталей качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин і підвищення їх післяремонтної довговічності, шляхом розроблення ефективного способу відновлення приставного дна спряження «розподільник-приставне дно».

### **Постановка задачі.**

Поставлена мета досягається вирішенням наступних задач: з врахуванням матеріалу деталі, характеру і виду її зношення вибрати спосіб відновлення, який буде ефективним за технологічним і економічним критеріями; на основі хімічного складу матеріалу деталі провести кореляційний аналіз хімічного складу порошку для відновлення деталі способом електроконтактного спікання і вибрати оптимальний; провести кореляційний аналіз вагомості режимів



електроконтактного спікання на фізико-механічні властивості відновленої поверхні деталі і обґрунтувати оптимальні; провести лабораторні випробування з виявлення функціональних залежностей між запропонованими складом порошку і режимами його напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі; розробити загальний технологічний процес відновлення деталі.

### **Викладення основного матеріалу.**

Із проведеного аналізу існуючих способів відновлення деталей торцевого розподілення потоку робочої рідини в качаючому вузлі аксіально-поршневих гідромашин гідростатичних трансмісій (ГСТ-90, ГСТ-112 та ін.) впливає, що робоча поверхня латунного приставного дна, яку потрібно відновляти, має значну площу (поверхня деталі відновлюється по всьому замкнутому круговому контуру ущільнюючих поясів), і застосування ручних та механізованих способів наплавлення (наприклад електроіскрового) обумовлюється значною тривалістю робіт, що за економічним критерієм значно збільшує собівартість ремонтних робіт.

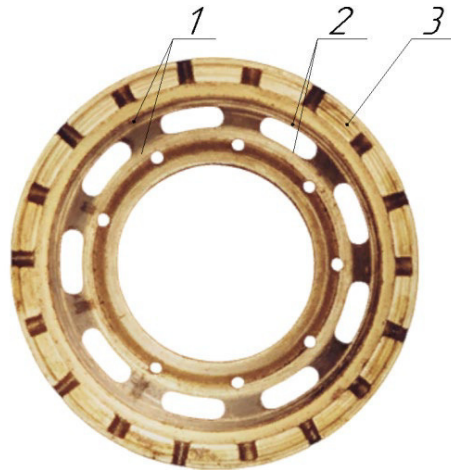
Зношення робочих поверхонь деталі проходить по краям всіх серповидних вікон по внутрішньому і зовнішньому діаметрам утворюючої ущільнюючих поясів, руйнуючи гострі кромки, які служать для ефективного відсікання потоків робочої рідини, що також визиває значні складності з їх відновлення за технологічним критерієм (рисунок 1).

Запропоновані способи відновлення зношеної поверхні з відтворенням гострої кромки являються не ефективними за рахунок збільшеного нарощування товщини наплавленого шару на поверхню деталі, щоб отримати гострі кромки на краях серповидних вікон та ущільнюючих поясів після механічної обробки деталей.

Для відновлення приставного дна, яке виготовляється із сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1 (ТУ 48-21-356-74) - це ливарна латунь, що містить: 58% міді (Cu), 2% марганцю (Mn), 2% свинцю (Pb), 1% кремнію (Si), 1% алюмінію (Al), інше – цинк (Zn), перспективним на нашу думку буде використання електромеханічного



методу, однією із різновидностей якого являється спосіб електроконтактного спікання порошків.



**Рисунок 1 - Характерні поверхні зношення приставного дна:**

**1-** гідроабразивне зношення ущільнюючого пояску по зовнішньому і внутрішньому поясках; **2** – зношення крамок серповидних вікон;

**3** – гідроабразивне зношення опорного пояску по всій круговій поверхні

*Авторська розробка*

Даний метод дозволяє наносити шар відновлюючого матеріалу з високою адгезією і мінімальними термічними деформаціями та відповідними фізико механічними властивостями відновленої поверхні деталі.

Для відновлення робочої поверхні деталі, з такого сплаву, способом електроконтактного спікання необхідно підібрати порошок, який добре сумісний за складом із основним металом, забезпечує хорошу адгезію, відновлює зносостійкість та міцність, зберігає антикорозійні властивості.

Згідно хімічного складу матеріалу деталі і умов її роботи (мастильне середовище, знакозмінні навантаження за швидкістю обертання та прикладеними крутними моментами, температурний вплив та ін.) на першому етапі досліджень рекомендується наступний склад відновлювального порошку: мідні сплави (Cu-Zn): - 50-60% (матриця порошкової суміші); Нікель (Ni): 10-15% - (для підвищення твердості та зносостійкості); Алюміній (Al): 2-4% - (покращує корозійну стійкість); Кремній (Si): 1-2% - (сприяє термічній стабільності); Марганець (Mn): 1-2% - (покращує міцність та опір зносу);



Свинець (Pb): до 1% - (знижує коефіцієнт тертя); Цинк (Zn): 10-20% - (основний елемент латуні).

Такий склад порошку забезпечує хорошу адгезію до вихідного матеріалу, високу корозійну стійкість та механічну міцність, твердість та стійкість до зносу відновленого шару.

Для проведення кореляційного аналізу впливу масових часток хімічних елементів у порошковій суміші на фізико-механічні властивості відновленої поверхні, сформуємо таблицю даних з умовних значень масової частки компонентів і відповідних властивостей покриттів (таблиця 1).

**Таблиця 1 - Вхідні дані для 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                                |

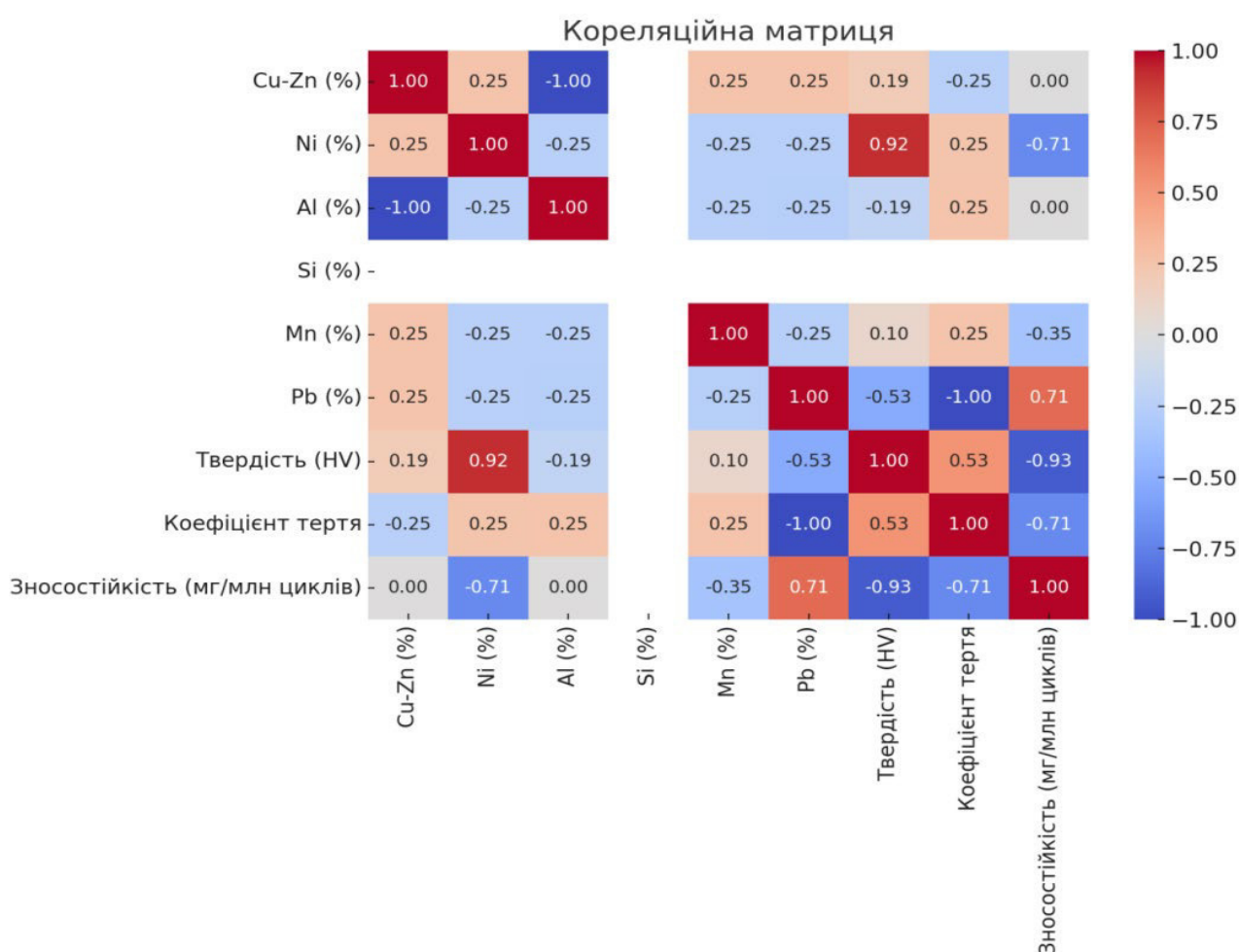
*Авторська розробка*

Кореляційна матриця, яка показує зв'язок між вмістом хімічних елементів у порошковому складі та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні наводиться на (рисунку 2).

Кореляційний аналіз на якісному рівні показав, що нікель (Ni) має сильний позитивний вплив на твердість (збільшення Ni з 12% до 15% обумовлює зростання HV з 190 до 215), зменшує знос, але майже не впливає на коефіцієнт тертя. Свинець (Pb) знижує коефіцієнт тертя (ефект змащення), але трохи



зменшує твердість і погіршує зносостійкість. Оптимальний вміст до 1%. Алюміній (Al) злегка підвищує твердість і покращує корозійну стійкість. Надмірне збільшення - незначно впливає на тертя і знос. Марганець (Mn) покращує твердість і зносостійкість, особливо в комбінації з нікелем. При підвищенні до 2% – покриття стає більш стабільним при циклічних навантаженнях. Мідно-цинкова основа (Cu-Zn) служить матрицею для спікання - впливає на загальну адгезію та теплоємність. Зменшення вмісту Zn приводить до покращення пластичності, але зниження твердості.



**Рисунок 2 - Кореляційна матриця між складом порошку і властивостями відновленого шару**

*Авторська розробка*

Найсильнішу позитивну кореляцію з твердістю та зносостійкістю має нікель і марганець. Свинець зменшує тертя, але в надлишку знижує твердість. Для



оптимального балансу властивостей рекомендовано:  $Ni \approx 13\text{--}15\%$ ,  $Mn \approx 1,5\text{--}2\%$ ,  $Pb \leq 0,8\%$ .

За умови, що пріоритетом при відновленні деталі є твердість та зносостійкість рекомендовано підвищити вміст  $Ni$  (до - 15%) і  $Mn$  (до - 2%). Додавання  $Pb$  у межах 0,5–1% доцільне для зменшення коефіцієнта тертя.

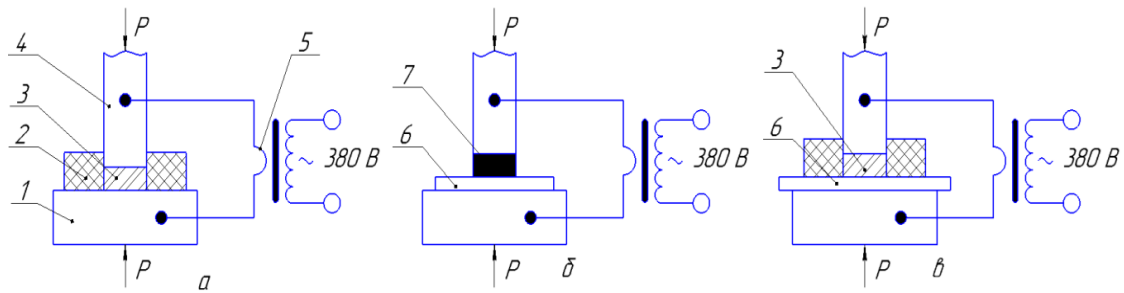
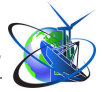
З урахуванням результатів проведеного кореляційного аналізу в (таблиці 2) наводяться рекомендовані склади порошкової суміші для пріоритетних експлуатаційних властивостей деталі - зносостійкість та низьке тертя.

**Таблиця 2 - Рекомендовані склади порошку за пріоритетом експлуатаційних властивостей**

| 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       | $\leq 0,5$ | 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    |

*Авторська розробка*

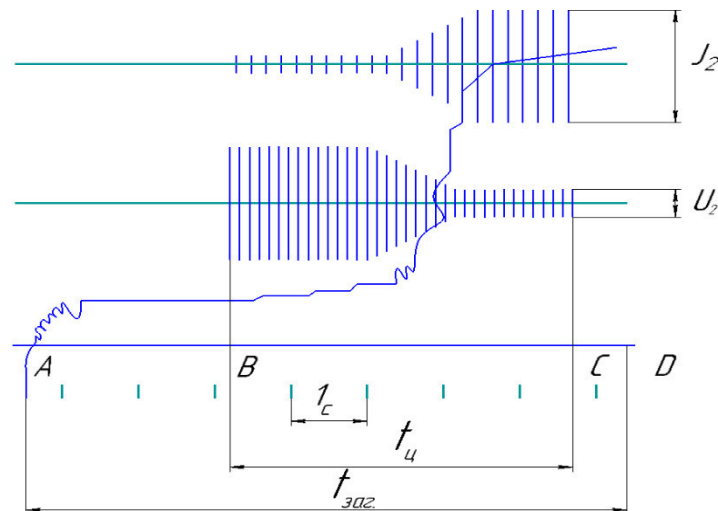
Важливим фактором, який забезпечить якість відновлення деталі електроконтактним способом являються режими, які застосовуються при електроконтактному спіканні порошку. Фізика процесу застосування електроконтактного способу пояснюється схемою спікання і наварки порошків (рисунок 3) [14].



**Рисунок 3 - Схеми спікання і наварки порошків електроконтактним способом на поверхню деталі: а – спікання брикету; б - наварка брикету; в – спікання і наварка порошку; 1 – електрод; 2 – прес-форма; 3 – порошок; 4 – електрод; 5 – зварювальний трансформатор; 6 – деталь; 7 – брикет; Р – зусилля стиснення**

Джерело [14]

Процес спікання порошку в компакне тіло і його наварка на деталь з використанням методу електроконтактної наварки характеризується трьома стадіями (рисунок 4.) [14].



**Рисунок 4. - Осцилограма зміни вторинного струму  $I_2$ , напруги  $U_2$  і осадки  $h$  пресовки в процесі електроконтактного спікання при загальному циклі**

$t_{\text{заг.}}$

Джерело [14]

На першій стадії холодного пресування (ділянка АВ) шихта підготовлюється до послідуєчого пропускання через неї електричного струму і проходить стабілізація її електричного опору.



Друга стадія (дільниця ВС) характеризується протіканням імпульсів електричного струму через порошок, який знаходиться під тиском. При цьому, струмопровідні контакти частиць та їх приконтактні об'єми швидко нагріваються, активно протікають процеси рекристалізації, захоплення, зварювання в мікроконтактах в твердій і рідкій фазах. В залежності від вибраного режиму, є можливим довести легкоплавкий компонент шихти до часткового або повного розплавлення, тоді формуванню щільного матеріалу сприяє рідка фаза.

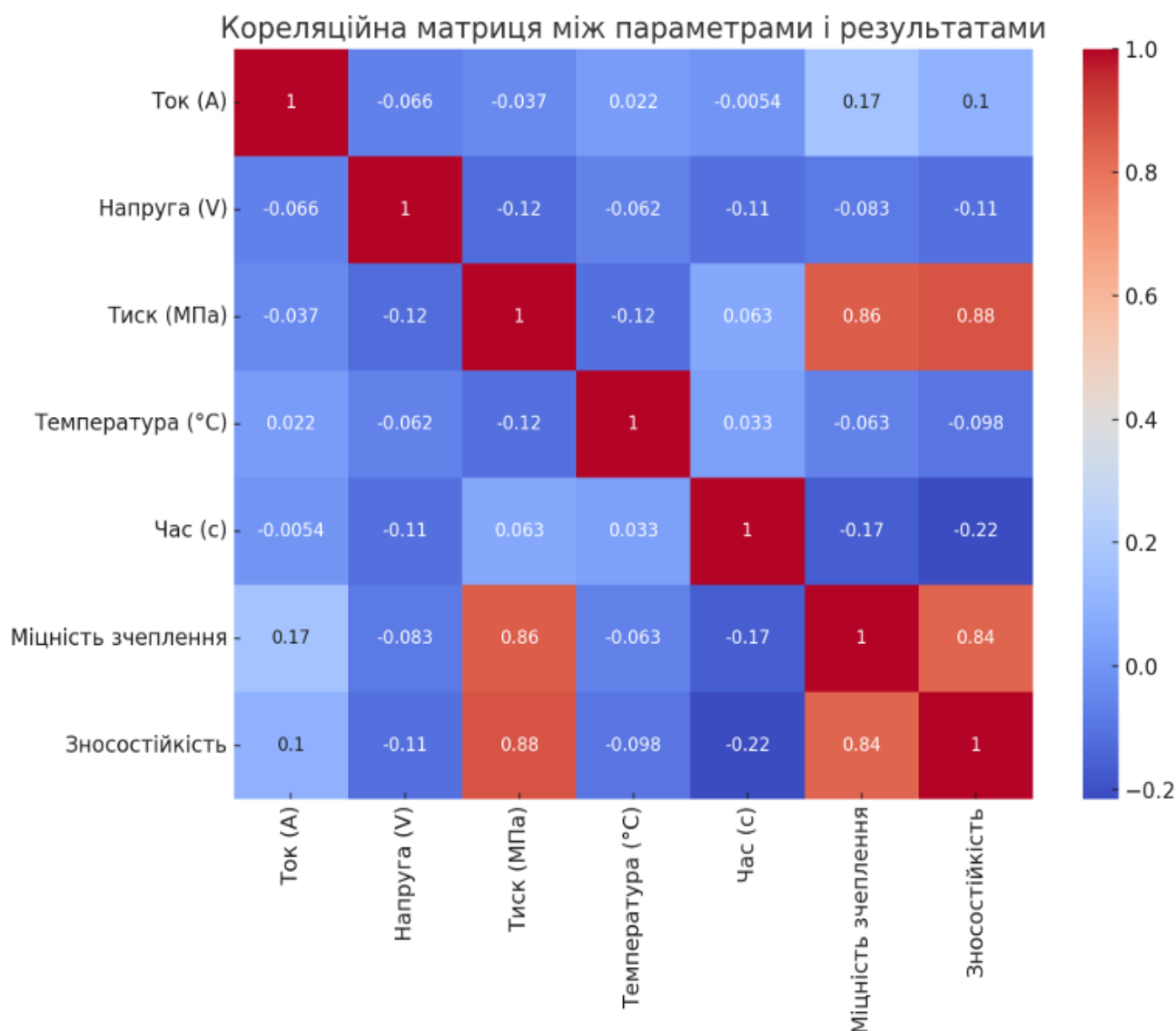
Третя стадія (дільниця CD) – стадія від моменту виключення струму і до повного охолодження матеріалу.

Для електроконтактного спікання порошку, близького за складом до латунного сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1, важливо підібрати режим, що забезпечує: якісне ущільнення порошку; мінімальну пористість; надійне з'єднання з основним металом; збереження структури без перегріву або вигорання елементів (особливо цинку та свинцю).

Для проведення кореляційного аналізу впливу різних режимів електроконтактного спікання на якість відновлення латунних деталей необхідно врахувати такі ключові параметри процесу: струм 11000 – 30000 А (імпульсний); напруга 2 – 5 В; сила стиснення 30 – 80 МПа (залежить від площі контакту); температура в зоні контакту 800 – 950°C (для Cu-Zn сплавів); час впливу струму 1 – 5 секунд (залежно від товщини шару); тиск при спіканні постійний або ступінчастий, прикладається до та під час проходження струму.

Кореляційна матриця, яка показує взаємозв'язки між параметрами процесу електроконтактного напикання та результатами - міцністю зчеплення і зносостійкістю наводиться на (рисунок 5).

З якісного аналізу кореляційної матриці (рисунок 3) видно, що тиск і температура мають сильний позитивний вплив на міцність з'єднання і зносостійкість, час впливу струму негативно впливає на якість - надмірна тривалість може спричинити перегрів і обумовлені ним дефекти, струм також позитивно впливає, але менш виражено.



**Рисунок 5 - Кореляційна матриця взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі**

*Авторська розробка*

Основні параметри режиму електроконтактного спікання порошку і його наварювання на деталь наводяться в (таблиці 3).

Підготовка зразків, виготовлених з відновлених деталей, для проведення лабораторно-стендових досліджень з виявлення фізико-механічних властивостей відновлених поверхонь деталей, проводилась з деталей, що потрапляли до ремонтних підприємств.



**Таблиця 3 - Основні параметри режиму електроконтактного напікання 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                             |

*Авторська розробка*

Деталі відновлювались за наступною технологією: підготовка поверхні – очищення, знежирення, та механічна обробка зношених ділянок; укладка деталі в спеціальну прес-форму – поверхні прес-форми, що контактують з торцевими поверхнями серповидних вікон додатково підігріваються для забезпечення якісного розплавлення периферійної зони порошкової суміші; нанесення металевого порошку – розподіл порошку на зношених місцях із застосуванням сполучних компонентів; ущільнення порошку за допомогою вібраційних рухів прес-форми та пресування; спікання – процес термічної обробки, у якому порошок спікається з основним матеріалом, та ущільнюється з застосуванням формуючого інструменту, утворюючи міцний монолітний шар в периферійних зонах; додаткова обробка – механічна обробка, токарна, фрезерна, шліфувальна для доведення відновлених поверхонь до необхідних розмірів.

Процес відновлення деталі проходить в закритій камері, до якої подається інертний газ – аргон, який захищає поверхню від окислення, що дозволяє зберігати чистоту матеріалу. Особливо це актуально для захисту від окислення Cu, Zn, Ni, Al при високих температурах, що підвищує однорідність та міцність нанесеного шару на поверхні деталі.

Технологія застосування аргону при електроконтактному напіканні наступна: використовується технічний аргон (Ar) чистотою не нижче - 99,99%; швидкість подачі - 5–10 л/хв. (для малої камери); аргон подається до і під час



процесу спікання, щоб витіснити повітря і створити інертне середовище.

З відновленого за такою технологією латунного приставного дна виготовлялись зразки, які першочергово проходили випробування для визначення фізико-механічних властивостей за відомими методиками. Результати лабораторних досліджень наводяться в (таблиця 4).

**Таблиця 4 - Фізико-механічні властивості відновленої поверхні, отриманої методом електроконтактного спікання порошку, та нової деталі зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1**

| Властивість                  | Нова деталь (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)          |

*Авторська розробка*

Проведений аналіз результатів, наведених в (таблиці 4) показує, що середнє значення показника межі міцності на розтяг у відновленої деталі більше на 18 % в порівнянні з новою деталлю, а показник середньої твердості зростає до 35 % за рахунок армування порошку такими металами, як Ni та Mn. Інші показники суттєво не відрізняються від показників нової деталі.

Порівняльна оцінка лінійної швидкості зношування відновленої поверхні з новою деталлю зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1 за однакових умов роботи на машині тертя (тест «куля по диску», навантаження 100 Н, швидкість ковзання 0,5 м/с, час - 60 хв.) наводиться в (таблиця 5).

Завдяки підвищеній твердості та щільності відновленого шару (особливо при додаванні нікелю та марганцю), швидкість зношування знижується в 1,5–2



рази в порівнянні з новою оригінальною латунною деталлю. Це робить відновлені поверхні більш довговічними в умовах тертя та контактних навантажень.

**Таблиця 5 - Порівняльна оцінка лінійної швидкості зношування зразків відновленої та новою деталей**

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

Авторська розробка

Для отримання достовірної оцінки щодо післяремонтної довговічності відновленого приставного дна проводяться стендові випробовування аксіально-поршневих гідромашин згідно методик рекомендованих в роботі [15].

Відновлене латунне приставне дно працює в парі тертя з розподільником, виготовленим зі сталі 12ХФ1 (ДСТУ 4543:2006). За результатами припрацювання для досліджуваних пар тертя визначили: максимальне передзадирне навантаження  $P_{м.п.}$ , при якому спостерігалось різке зростання температури, моменту і коефіцієнта тертя, а також мінімальний коефіцієнт тертя  $f_{min}$  і відповідне йому оптимальне навантаження  $P_{оп.}$ . Результати наводяться в (таблиці 6).

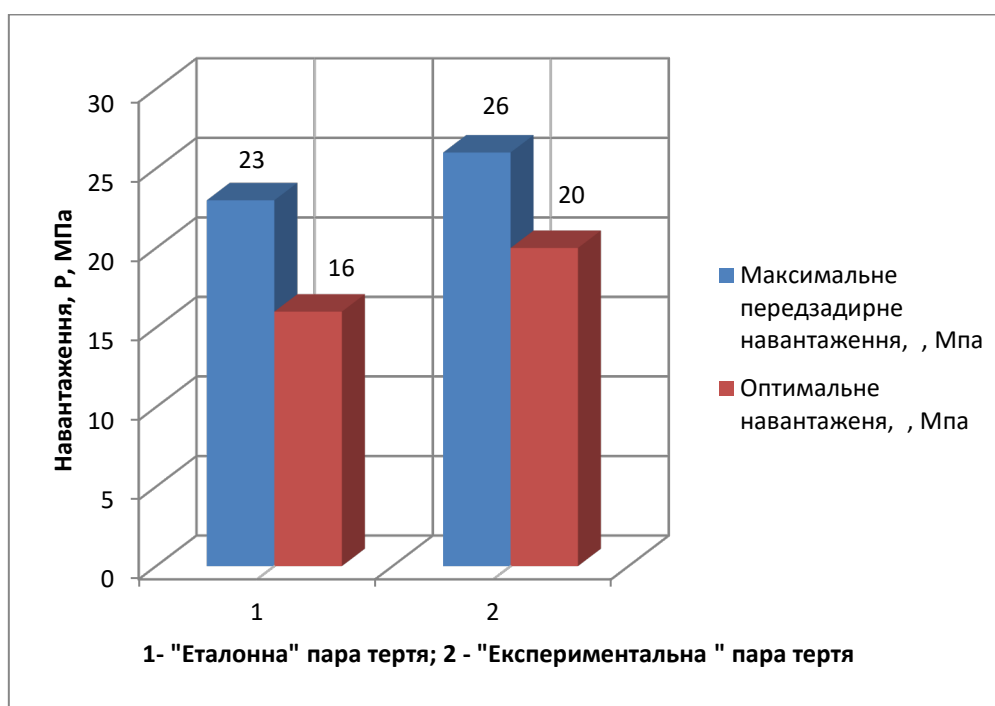
На (рисунку 6) представлені середні значення максимальних передзадирних, оптимальних навантажень для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя, у яких латунне приставне дно відновлене електроконтактним напіканням порошку.



**Таблиця 6 - Результати випробувань на припрацювання для пари тертя  
«розподільник-приставне дно»**

| Показник                                                | «Еталонна»<br>пара тертя | «Експериментальна»<br>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                            |

Авторська розробка

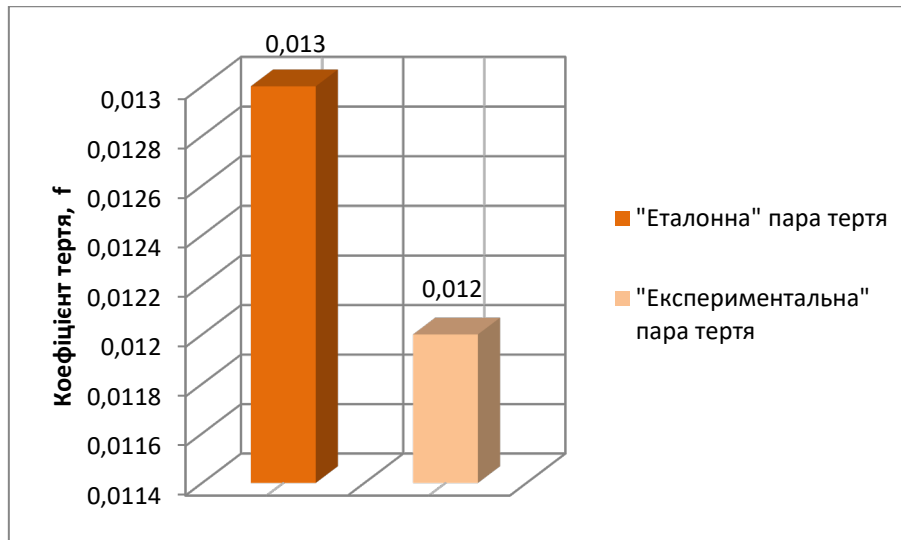


**Рисунок 6 - Середні значення максимальних передзадирних, оптимальних навантажень для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя**

Авторська розробка

Аналіз гістограм наведених на (рисунку 6) показав, що для пари тертя «розподільник-приставне дно» несуча здатність «еталонної» пари - 23 МПа, що в 1,13 рази менше в порівнянні з «експериментальною» парою, у якої латунне приставне дно відновлене електроконтактним напіканням порошку.

Значення мінімальних коефіцієнтів тертя для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя, що відповідають оптимальному навантаженню представлені на (рисунку 7).



**Рисунок 7 - Значення мінімальних коефіцієнтів тертя для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя**

*Авторська розробка*

Аналіз гістограм наведених на (рисунку 7) показав, що для «експериментальної» пари тертя у якої латунне приставне дно відновлене електроконтактним напіканням порошку, коефіцієнт тертя в 1,08 рази менше в порівнянні з «еталонною», що пояснюється наявністю Ni, Mn та Al в порошковій суміші, які сприяють зменшенню коефіцієнта тертя. Зниження коефіцієнта тертя зменшує крутний момент, який виникає в обертальних масах качаючих вузлів гідромашин, що є важливим для статодинамічного режиму роботи гідравлічної трансмісії.

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 (таблиці 7).

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

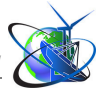


камері з подачею до неї, в якості захисного газу технічного аргону, який усуває процеси окислення при напіканні порошку; охолодження деталі пропусканням стиснутого повітря через камеру де вона відновлюється.

**Таблиця 7 – План операцій відновлення приставного дна**

| Номер | Найменування операції              | Вміст операції                                                                                                                                                          |
|-------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5     | Очисна                             | Очистити деталь мийним засобом Темп-100 (ТУ 39-10059-97).                                                                                                               |
| 10    | Дефектувальна                      | Виявити деталі, з глибиною ерозійних та гідроабразивних каналів більше 25,5 мкм., для відновлення їх до номінального розміру                                            |
| 15    | Чорнове шліфування                 | Провести обробку робочої поверхні приставного дна до видалення слідів зношення. Верстат плоскошліфувальний 3Б71М, круг 250х25х76, С 46 Р 6 В, ДСТУ 2424:2013.           |
| 20    | Слюсарна                           | Розміщення деталі в прес формі, укладка порошку на її поверхні.                                                                                                         |
| 25    | Пресова                            | Усадка порошку вібраційним рухом прес-форми та ущільнення пресом.                                                                                                       |
| 30    | Електроконтактне напікання порошку | Нарощування поверхні приставного дна в закритій камері, електроконтактним спіканням з попередньою подачею аргону.                                                       |
| 35    | Охолодження                        | Охолодження деталі проточним пропусканням стиснутого повітря через камеру.                                                                                              |
| 40    | Токарна                            | Проточування робочих поверхонь до формування їх контурів з залишенням припусків на чистове шліфування. Верстат 16К20.                                                   |
| 45    | Фрезерна                           | Фрезерування лисок на периферійній опорній поверхні деталі. Верстат 6Р83Г.                                                                                              |
| 50    | Чистове шліфування                 | Провести обробку поверхонь ущільнюючих поясів приставного дна до номінального розміру. Верстат плоскошліфувальний 3Б71М, круг 250х25х76, СМ1 25 К 6 ВК, ДСТУ 2424:2013. |
| 55    | Контрольна                         | Контроль розмірів деталі згідно технічних вимог.                                                                                                                        |

Авторська розробка



## **Висновки.**

Отримані результати дослідження дають можливість зробити наступні висновки:

1. Зміна структурних параметрів технічного стану латунного приставного дна, яке разом з розподільником формує спряження для розподілення потоків робочої рідини в качаючому вузлі гідромашини, суттєво впливає на об'ємні втрати робочої рідини і об'ємний коефіцієнт корисної дії, що обумовлює необхідність розроблення ефективних способів його відновлення в умовах спеціалізованих ремонтних підрозділів.

2. На основі аналізу характеру та виду зношення робочих поверхонь латунного приставного дна, а також максимальних його величин рекомендується застосувати для його відновлення спосіб електроконтактного напикання порошку, який має технологічні і економічні переваги в порівнянні з іншими способами відновлення деталей, виготовлених з латуні.

3. На основі кореляційного аналізу впливу масових часток хімічних елементів у порошковій суміші на фізико-механічні властивості відновленої поверхні, вдалося підібрати склад порошку, який добре сумісний за складом із основним металом, забезпечує хорошу адгезію, відновлює зносостійкість та міцність, зберігає антикорозійні властивості.

4. Аналіз кореляційної матриці взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі показав, що тиск і температура мають сильний позитивний вплив на міцність з'єднання і зносостійкість, час впливу струму негативно впливає на якість - надмірна тривалість може спричинити перегрів і пов'язані з ним інші дефекти.

6. Відновлене латунне приставне дно за фізико-механічними властивостями має 1,13 рази більшу несучу здатність в порівнянні з оригінальною деталлю, в 1,08 рази менше коефіцієнт тертя, що зменшує швидкість зношування робочої поверхні експериментальної деталі в 1,5 рази.

7. Розроблений технологічний процес відновлення латунного приставного



дна дає можливість підвищити коефіцієнт його відновлення до 95 % на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

8. Застосування способу електроконтактного напікання порошку для відновлення приставного дна значно підвищить якість відновлювальних робіт та знизить собівартість ремонту аксіально-поршневих гідромашин на сервісних підприємствах.

### Література.

1. Дмитрів В. Т., Вантух З. З., Дмитрів І. В. Об'ємні гідроприводи. Будова й особливості функціонування. Навчальний посібник. – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 184 с.

2. Meliantsov P.T. (2024). 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", 32 (1), 20-28.  
<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-086> DOI: 10.30890/2567-5273.2024-32-00-086.

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

4. Черейский П. М. Параметры технического состояния плунжерной пары гидропривода / П. М. Черейский, П. Т. Мельянцов // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. №2. С.46-49.

5. Черейский П. М. Влияние износа на работу гидропривода трансмиссии / П. М. Черейский, П. Т. Мельянцов // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. №3. С. 63–64.

6. Melyantsov, P. T., (2024). Analytical studies of the influence of total volume losses of the working fluid on the performance of the hydraulic drive of the transmission of a mobile machine. In O. Kuzmin, O. Romanyuk, S. Minieiev (Eds.), *Intellectual capital is the foundation of innovative development: Innovative*



technology, Computer science, Security systems, Transport development, Physics and mathematics, Agriculture, (16-47). Monographic series «European Science». - Karlsruhe, Germany, Book 28. Part 3.

7. Мельянцов П. Т. Вхідний контроль технічного стану аксіально-поршневих гідромашин в технологічному процесі їх ремонту / П. Т. Мельянцов, О. М. Лосіков, В. К. Сидоренко // with the Proceedings of the 7 th International Scientific and Practical Conference «Scientific Trends and Trends in the Context of Globalization». - Umeå, Kingdom of Sweden, 2024. №44 (197). S. 467-477.

8. Мельянцов П. Т. Забезпечення якості ремонту аксіально-поршневих гідромашин впровадженням технології їх передремонтного діагностування / П. Т. Мельянцов, Т. В. Даниленко, О. А. Стародуб // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej «Inżynieria i technologia. Współczesne problemy i perspektywy rozwoju» - Warszawa: «Diamond trading tour», 2017. S 44-49.

9. Мельянцов П. Т. Шляхи підвищення післяремонтної довговічності ресурсолімітуючих спряжень аксіально-поршневих гідромашин / П. Т. Мельянцов, О. М. Лосіков, В. К. Сидоренко // The XV International Scientific and Practical Conference "Innovative technologies in the field of human services" – Stockholm: Sweden, 2024. S. 211-215.

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

11. Мельянцов П. Т. Технологія підвищення довговічності аксіально-поршневих агрегатів об'ємного гідроприводу / П.Т. Мельянцов, О. В. Дмитренко // Zbiór artykułów naukowych. «Inżynieria i technologia. Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2015» - Warszawa: «Diamond trading tour». 2015. S. 47-50

12. Meliantsov P.T. 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 / P. T.Melyantsov, I. M. Dobryanskyi, O. M. Losikov, V. K. Sidorenko



// The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" № 24, (2024), 62 – 76. <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-001> DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-001.

13. Мельянцов П. Т. Характер та вид спрацювання деталей спряжень качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин / П.Т. Мельянцов, В. Р. Плєскач // Zbior raportow naukowych «Nauka I Utworzenie XXI Stulecia: Teoria, Praktyka, Innowacje» – Opole: «Diamond trading tour», 2013. S. 67-70.

14. Технології відновлення і зміцнення деталей електрообладнання з використанням композиційних матеріалів : монографія / М. М. Заблудський [та ін.]. - К. : НУБіП України, 2022. 268 с.

15. Мельянцов П. Т. Підвищення якості припрацювання деталей спряжень об'ємних гідромашин удосконаленням технології їх обкатки після ремонту / П. Т. Мельянцов, В. А. Задорожній, // Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej «Inżynieria i technologia. Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2017" – Zakopane: «Diamond trading tour», 2017. S 27-33.

**Abstract.** The paper considers issues of restoring the technical condition of a brass bottom plate, which together with the distributor forms a coupling for distributing working fluid flows in the pumping unit of axial-piston hydraulic machines and has a low recovery coefficient in the technological processes of their repair. The purpose of the work is to ensure the maximum value of the bottom plate recovery coefficient and increase its post-repair durability by developing an effective method for its recovery. The goal is achieved by using, for its recovery, the method of electrocontact baking of powder, which has technological and economic advantages compared to other methods of restoring parts made of brass. The results obtained showed that the wear rate of the working surface of the restored bottom plate is 1,5 times lower compared to the reference part, and the developed technological process makes it possible to increase the part recovery coefficient to 95% at specialized repair enterprises.

**Keywords:** hydrostatic transmission, axial-piston hydraulic machine, pumping unit, coupling, attached bottom, hydroabrasive wear, electrocontact powder baking, technological process, hardness, wear resistance, post-repair durability.

Стаття відправлена: 18.04.2025 г.

© Мельянцов П. Т.