

---

*SWorld*

Germany



---

*Kryshchtopa S., Kashyna G., Yerankin O., Melyantsov P.T., Dyomina V.M. et al.*

---

**WISSENSCHAFT FÜR DEN MODERNEN MENSCHEN**  
INNOVATIVE INGENIEURSKUNST, TECHNOLOGIE UND INDUSTRIE;  
INFORMATIK, KYBERNETIK UND AUTOMATISIERUNG

*SCIENCE FOR MODERN MAN*

INNOVATIVE ENGINEERING, TECHNOLOGY AND INDUSTRY; COMPUTER SCIENCE,  
CYBERNETICS AND AUTOMATION

---

*Monographic series «European Science»*

*Book 46. Part 2.*

*In internationalen wissenschaftlich-geometrischen Datenbanken enthalten*  
*Included in International scientometric databases*

**MONOGRAPHIE**

*MONOGRAPH*

*Authors:*

Melyantsov P.T. (1), Panchuk M. (2), Kryshtopa S. (2), Matviienkiv O. (2),  
Panchuk A. (2), Sheketa V. (2), Sheptun M. (3), Kashyna G. (4),  
Hromozdova L. (4), Yerankin O. (4), Artemenko A. (4), Baranik Z. (4),  
Makhortov Y. (4), Rvach A. (4), Dyomina V.M. (5), Stupak A.G. (6)

*Reviewers:*

*Bilodidenko Serhii Valentinovych*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian State University of Science and Technologies (1)  
*Prysiashniuk P. M.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (2)  
*Podchashynskiy Yu.O.*, Doctor of Science in Technology, Professor, State University “Zhytomyr polytechnic”

**Wissenschaft für den modernen Menschen:** Innovative Ingenieurskunst, Technologie und Industrie; Informatik, Kybernetik und Automatisierung. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 46. Teil 2. 2026.

**Science for modern man:** Innovative engineering, technology and industry; Computer science, cybernetics and automation. Monographic series «European Science». Book 46. Part 2. 2026.

**ISBN 978-3-98924-133-6**

**DOI: 10.30890/2709-2313.2026-46-02**

**Published by:**

*ScientificWorld-NetAkhatAV*

*Lußstr. 13*

*76227 Karlsruhe, Germany*

e-mail: [editor@promonograph.org](mailto:editor@promonograph.org)

site: <https://desymp.promonograph.org>

Copyright © Authors, 2026

Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2026



## ÜBER DIE AUTOREN / ABOUT THE AUTHORS

1. *Melyantsov Petro Timofiyovych*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dnipro State Agrarian and Economic University, ORCID 0000-0001-5937-4021 - *Chapter 1*
2. *Panchuk Myroslav*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, ORCID 0000-0002-4898-2707 - *Chapter 2 (co-authored)*
3. *Kryshchtopa Sviatoslav*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, ORCID 0000-0003-1880-9505 - *Chapter 2 (co-authored)*
4. *Matviienkiv Oleh*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, ORCID 0000-0003-1717-5416 - *Chapter 2 (co-authored)*
5. *Panchuk Andrii*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, ORCID 0000-0003-1784-7374 - *Chapter 2 (co-authored)*
6. *Sheketa Vasyl*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, ORCID 0000-0003-1784-7374 - *Chapter 2 (co-authored)*
7. *Sheptun Mykhailo*, ORCID 0009-0004-1313-6553 - *Chapter 3*
8. *Kashyna Ganna*, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Academy of Labor, Labor Relations and Tourism, Kyiv, Ukraine, ORCID - *Chapter 4 (co-authored)*
9. *Hromozdova Larysa*, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Academy of Labor, Labor Relations and Tourism, Kyiv, Ukraine, ORCID 0000-0002-4077-9229 - *Chapter 4 (co-authored)*
10. *Yerankin Oleksandr*, Doctor of Economic Sciences, Professor, State Higher Educational Institution "Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman", Kyiv, Ukraine, ORCID 0000-0002-6037-7438 - *Chapter 4 (co-authored)*
11. *Artemenko Antonina*, Senior Lecturer, State Higher Educational Institution "Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman", Kyiv, Ukraine, ORCID 0000-0003-2426-875x - *Chapter 4 (co-authored)*
12. *Baranik Zoya*, Doctor of Economic Sciences, Professor, State Higher Educational Institution "Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman", Kyiv, Ukraine, ORCID 0000-0002-9753-4572 - *Chapter 4 (co-authored)*
13. *Makhortov Yriy*, Doctor of Economic Sciences, Professor, Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Ukraine, ORCID 0000-0001-5727-2427 - *Chapter 4 (co-authored)*



14. *Rvach Andriy*, graduate student, State Higher Educational Institution "Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman", Kyiv, Ukraine, ORCID 0000-0002-7617-5734 - *Chapter 4 (co-authored)*
15. *Dyomina Viktoriia Mikhailovna*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State Biotechnological University, ORCID 0000-0001-6467-5021 - *Chapter 5*
16. *Stupak Anton Gennadyovich*, graduate student, State University "Zhytomyr polytechnic", ORCID 0009-0008-1247-5990 - *Chapter 6*



## *Inhalt / Content*

### **CHAPTER 1**

#### **RELIABILITY AND REPAIR OF DISTRIBUTION UNITS OF AXIAL-PISTON HYDRAULIC MACHINES**

Introduction .....	8
1.1. Quantitative assessment of reliability and wear analysis of working fluid flow distribution parts of axial-piston hydraulic machines.....	10
1.2. Study of volumetric losses through the fluid flow distribution system .....	23
1.3. Assessment of maintainability of end fluid distribution parts of axial-piston hydraulic machines .....	29
1.4. Technology for repairing the bottom of the “distributor-bottom” coupling of the pumping unit of an axial-piston hydraulic machine .....	34
Conclusions .....	50

### **CHAPTER 2**

#### **EFFECTIVENESS OF USING SURFACE TREATMENT METHODS FOR RESTORING PARTS AND STRUCTURES**

Introduction .....	53
2.1. Features of the coating process .....	54
2.2. Analysis of the effectiveness of coating methods.....	56
Conclusions .....	61

### **CHAPTER 3**

#### **ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND AUTOMATED QUALITY ASSURANCE AS A STRATEGIC ELEMENT OF DIGITAL INFRASTRUCTURE RELIABILITY IN MODERN ECONOMIES**

3.1. Digital Infrastructure and Intelligent Quality Systems in the Modern Economy.....	63
3.2. Theoretical Foundations of Quality Engineering and System Reliability in Distributed Digital Systems .....	68
3.3. Architecture of Automated Testing Systems in Cloud-Native and Kubernetes-Based Environments .....	73
3.4. Artificial Intelligence Models for Self-Healing and Predictive Quality Assurance Systems.....	78
3.5. Observability, Telemetry, and Data-Driven Validation in Large-Scale Digital Systems .....	86
3.6. Applied Case Models of Autonomous Quality Engineering in FinTech, Healthcare, and SaaS Platforms.....	91
3.7. AI-Driven Validation, Self-Healing Systems, and the Future of Autonomous Quality Engineering .....	98
3.8. Conclusions, Strategic Implications, and Future Frameworks for Digital Reliability Engineering .....	103



## CHAPTER 4

### ANALYSIS OF INDUSTRY AND INTERNATIONAL COMPARISONS OF THE STATUS OF INFORMATION SYSTEMS IMPLEMENTATION IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF ENTERPRISES..108

## CHAPTER 5

### CYBERSECURITY OF COMPLEX DIGITAL SYSTEMS: ANALYSIS, MONITORING, AND RISK MANAGEMENT

Introduction .....	137
5.1. Theoretical Foundations of Cybersecurity .....	139
5.1.1. <i>The Concept of Cybersecurity within the Information Security Framework</i> .....	139
5.1.2. <i>Threats, Vulnerabilities, and Cyber Risks</i> .....	140
5.1.3. <i>Models and Principles of Cybersecurity Provision</i> .....	140
5.2. Analysis of Technical Requirements for Information Security Systems. 142	
5.2.1. <i>Technical Requirements and Their Role in the Lifecycle of a Security System</i> .....	142
5.2.2. <i>Structure of Technical Requirements: Functional, Non-Functional, and Operational</i> .....	143
5.2.3. <i>Requirements Based on Confidentiality, Integrity, and Availability (CIA) and Compliance Control</i> .....	144
5.2.4. <i>Requirements for Logging, Auditing, Monitoring, and Incident Response</i> .....	145
5.2.5. <i>Alignment of Technical Requirements with Cyber Risks: Ensuring Traceability “Threat → Control → Metric”</i> .....	146
5.2.6. <i>Typical Errors in Requirements Definition and Their Impact on Security and Resilience</i> .....	147
5.3. Methods for Cybersecurity State Analysis.....	148
5.3.1. <i>Vulnerability and Threat Analysis</i> .....	148
5.3.2. <i>Cyber Risk Assessment and Management</i> .....	149
5.3.3. <i>Analysis of Cybersecurity Events and Incidents</i> .....	151
5.3.4. <i>Analytical and Intelligent Methods of Analysis</i> .....	152
5.3.5. <i>Cybersecurity State Analysis in Distributed and IoT/WSN Systems</i> . 153	
5.4. Cybersecurity Monitoring Systems and Technologies .....	154
5.4.1. <i>Architectural Approaches to Building Monitoring Systems</i> .....	154
5.4.2. <i>Classes of Cybersecurity Monitoring Systems</i> .....	155
5.4.3. <i>Technologies for Security Event Analysis and Correlation</i> .....	156
5.4.4. <i>Cybersecurity Monitoring in Distributed and IoT/WSN Environments</i> .....	157
5.4.5. <i>Integration of Monitoring Systems with Security Management Processes</i> .....	158
5.5. Practical Application Scenarios and Directions for Improving Cyber Monitoring Systems .....	159
5.5.1. <i>Applied Scenarios of Cybersecurity Analysis and Monitoring</i> .....	159



5.5.2. Prospects for the Development of Cyber Monitoring Tools ..... 161  
Conclusions ..... 162

**CHAPTER 6**  
**NUMERICAL EVALUATION OF DISTORTIONS IN COMPRESSED**  
**MEDICAL DIAGNOSTIC IMAGES**

Introduction ..... 164  
6.1. Performing the DCT..... 164  
6.2. Performing the DWT..... 167  
6.3. Evaluation of Compression Efficiency ..... 170  
6.4. Comparison of Compression Efficiency Based on the SSIM Metric ..... 170  
Conclusions ..... 175

References ..... 176



## KAPITEL 1 / CHAPTER 1<sup>1</sup> RELIABILITY AND REPAIR OF DISTRIBUTION UNITS OF AXIAL- PISTON HYDRAULIC MACHINES

DOI: 10.30890/2709-2313.2026-46-02-027

### Вступ.

На сучасному етапі парк дорожньо-будівельної та сільськогосподарської техніки в значній мірі представлений мобільними машинами вітчизняного й закордонного виробництва, конструкція яких передбачає застосування гідравлічного приводу трансмісії. До основних агрегатів гідравлічної трансмісії належать аксіально-поршневі регульовані гідронасоси серій PVS, PVH з визначеним робочим об'ємом, а також нерегульовані гідромотори серій MFS, MFH, робочий об'єм яких узгоджений з відповідними насосами [1].

В умовах експлуатації працездатність мобільних транспортних засобів значною мірою визначається ефективністю функціонування об'ємних гідравлічних трансмісій, яка обумовлюється їх надійністю.

Вимоги до надійності аксіально-поршневих гідромашин постійно зростають в зв'язку з розширенням сфер застосування мобільних машин, оснащених гідравлічними трансмісіями, у різних галузях народного господарства. Це підтверджується сталим інтересом науковців, інженерів і виробників до питань підвищення робочих характеристик гідроагрегатів, збільшення їх ресурсу та безвідмовності, дослідження умов мащення основних пар тертя, зниження витрат робочої рідини, а також рівнів шуму і вібрації [1, 2, 3].

Разом з тим, аналіз експлуатаційної надійності гідравлічних трансмісій свідчить, що в реальних умовах роботи мають місце як ресурсні, так і раптові відмови, значна частка яких припадає безпосередньо на агрегати гідравлічної трансмісії [4].

Відмови аксіально-поршневих гідроагрегатів зумовлюють суттєві економічні втрати, пов'язані з простоєм мобільних машин, із-за відсутності ефективних засобів діагностування об'ємних гідравлічних трансмісій, а також

<sup>1</sup>Authors: Melyantsov Petro Timofiyovych

Author's sheets: 1,63



значними витратами на виконання ремонтних робіт. У більшості випадків ремонт зводиться до заміни однієї з деталей спряження, що має значні сліди зношення, на нову комплектуючу.

Такий підхід до відновлення посадки деталей у спряженнях не забезпечує повного відпрацювання міжремонтного ресурсу, оскільки інша деталь спряження, що має менший ступінь зношення, відновлюється шляхом притирання. При цьому, не завжди вдається забезпечити відновлення початкової геометричної форми та необхідного класу чистоти робочої поверхні.

Значною мірою зазначений стан обумовлений відсутністю обґрунтованих структурних параметрів технічного стану деталей качаючих вузлів гідромашин, які могли б бути використані для контролю їх стану під час проведення прямого діагностування в умовах сервісних підприємств, а також для обґрунтованого вибору способу відновлення їх працездатності [5].

Відповідно до чинних технологій ремонту аксіально-поршневих гідромашин, практично всі деталі спряжень качаючого вузла з плоско-паралельною робочою поверхнею відновлюються шляхом притирання до повного видалення слідів зношення та відновлення площинності. Компенсація зміни геометричних розмірів деталей здійснюється встановленням кільцевих металевих прокладок з метою відновлення сумарного зазору в качаючому вузлі гідромашини [6].

Практичний досвід свідчить, що на спеціалізованих ремонтних підприємствах контроль технічного стану робочих поверхонь деталей зазначених спряжень здійснюється переважно на якісному рівні та базується на суб'єктивній оцінці персоналу, що негативно впливає на якість і собівартість ремонту аксіально-поршневих гідроагрегатів [7].

Уникнення даних недоліків можливе за рахунок проведення досліджень з обґрунтування номенклатури контролюючих структурних параметрів деталей спряжень качаючих вузлів гідромашин на основі встановлення функціональних залежностей між структурними параметрами технічного стану деталей і діагностичними та функціональними параметрами гідроагрегатів.



**Метою роботи** є підвищення експлуатаційної надійності та ремонтпридатності аксіально-поршневих гідромашин шляхом аналітичного дослідження об'ємних втрат робочої рідини, зумовлених зношенням деталей спряження «розподільник – приставне дно», розроблення методу кількісної оцінки їх ремонтпридатності та обґрунтування ефективної технології відновлення латунного приставного дна із забезпеченням заданих фізико-механічних властивостей відновлених робочих поверхонь.

Основні завдання дослідження:

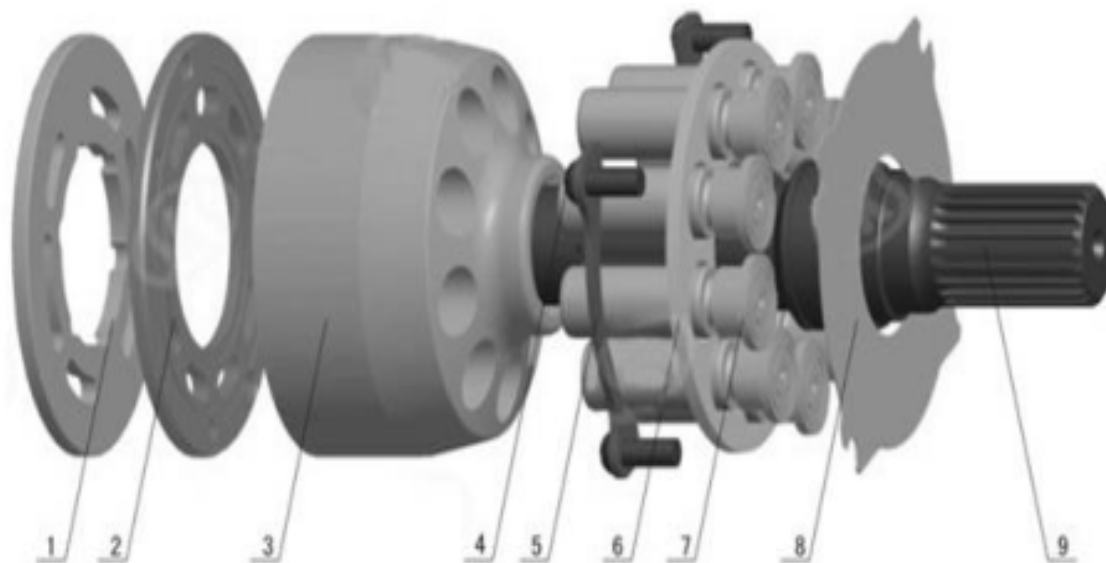
- визначити кількісні показники надійності складових елементів, що забезпечують розподіл потоку робочої рідини між порожнинами нагнітання та всмоктування аксіально-поршневих гідромашин;
- встановити характер і види зношення деталей спряження «розподільник – приставне дно»;
- аналітично дослідити функціональну залежність між зміною структурних параметрів технічного стану деталей «розподільник – приставне дно» та об'ємними втратами робочої рідини;
- виконати нормування структурних параметрів технічного стану деталей системи розподілу потоку робочої рідини;
- розробити ефективні методи відновлення працездатності деталей спряження «розподільник – приставне дно».

### **1.1 Кількісна оцінка надійності та аналіз зношення деталей розподілу потоку робочої рідини аксіально-поршневих гідромашин**

На сучасному етапі розвитку машинно-тракторного парку експлуатуються мобільні машини вітчизняного та закордонного виробництва, у конструкції яких передбачено використання гідростатичних трансмісій. Зазначені трансмісії забезпечують функціонування машин у складних експлуатаційних умовах у широкому діапазоні застосувань - від сільськогосподарської до будівельно-дорожньої техніки, що обумовлює підвищення їх технічного рівня [1].



Залежно від функціонального призначення технічних систем їх гідростатичні трансмісії можуть містити дві, три або більше аксіально-поршневих гідромашин, які характеризуються близькими конструктивними рішеннями як у вітчизняних, так і в закордонних виробників. Конструктивні особливості качаючого вузла аксіально-поршневого гідронасоса гідростатичної трансмісії ГСТ-90 проаналізовано на основі технічної документації компанії Sauer-Danfoss [2], загальний вид якого наводиться на (рисунку 1).



**Рисунок 1 – Качаючий вузол насоса:**

*1 – розподільник; 2 – приставне дно; 3 – блок циліндрів; 4 – болт кріплення; 5 – прижими; 6 – сепаратор; 7 – плунжер з гідростатичною опорою;  
8 – упорна шайба; 9 – вал*

*Джерело [2]*

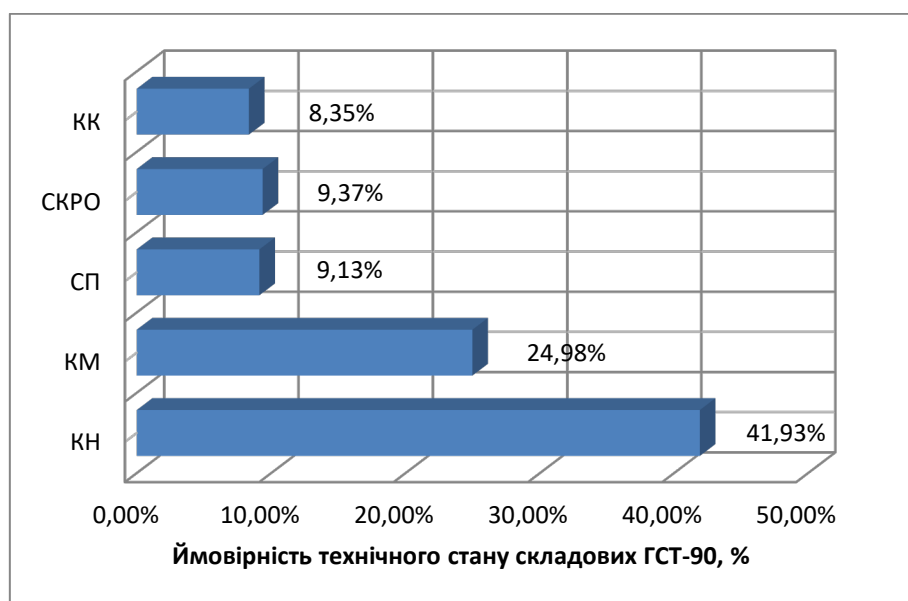
Качаючий вузол аксіально-поршневих гідромашин працює в складних умовах за навантаженням, номінальний тиск в головній магістралі може знаходитись в інтервалі 21-47 МПа і більше, в залежності від конструкції гідравлічної трансмісії. Деталі його спряжень працюють в знакозмінному режимі за швидкістю та наявних крутних моментів, сприймають температурне навантаження, що впливає на їх технічний стан. За таких умов роботи деталі спряження «розподільник-приставне дно», яке виконує функцію розподілу



потоків робочої рідним між магістралями високого і низького тисків, та спряження «втулка блоку-плунжер», «кільцева поверхня п'яти-опора» та ін., одні з перших в процесі роботи змінюють свої структурні параметри технічного стану і обумовлюють значні об'ємні втрати робочої рідини [3, 4].

Детально аналіз причин втрати працездатності гідравлічних трансмісій розглянуто в роботі [8]. Автор представив аксіально-поршневі гідроагрегати гідравлічної трансмісії ГСТ-90 окремими компонентами та блоками: КК – клапанна коробка; КН – качаючий вузол гідронасоса; КМ – качаючий вузол гідромотора; СП – система підживлення; СКРО – система керування робочим об'ємом.

Результати кількісної оцінки надійності складових аксіально-поршневих гідромашин показали, що порушення технічного стану складових і спряжень гідроагрегатів за статистичними даними становить: качаючий вузол гідронасоса (КН) – 41,93 %, качаючий вузол гідромотора (КМ) – 24,98 %, система підпитки (СП) – 9,13 %, система керування робочого об'єму (СКРО) – 9,37 %, клапанна коробка (КК) – 8,35 %. Більш наглядно результати статистичної оцінки ймовірностей технічного стану складових ГСТ-90 представлено в вигляді лінійчатої гістограми (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Лінійчата гістограма ймовірностей технічного стану складових ГСТ-90**

*Авторська розробка*



Аналіз ймовірного стану складових аксіально-поршневих гідромашин показує, що максимальна кількість відмов, як ресурсних так і раптових обумовлюється технічним станом деталей спряжень їх качаючих вузлів.

Детальний аналіз технічного стану деталей з'єднань качаючих вузлів об'ємних гідромашин наводиться в (таблиці 1).

**Таблиця 1 – Технічний стан з'єднань качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин гідростатичної трансмісії ГСТ-90**

Найменування складових частин	Стан складових частин і з'єднань	Частота спостережень %
Качаючий вузол гідронасоса (КН)	1. Руйнування шліцьових з'єднань і опорних підшипників вала	2,48
	2. Зношування з'єднання «п'ята плунжера-опора»	10,25
	3. Руйнування завальцювань п'ят плунжера	3,10
	4. Зношування з'єднання «розподільник - приставне дно»	18,76
	5. Зношування з'єднання «втулка - плунжер»	7,34
Качаючий вузол гідромотора (КМ)	1. Руйнування шліцьових з'єднань і опорних підшипників вала	2,50
	2. Зношування з'єднання «п'ята плунжера-похила шайба»	6,41
	3. Руйнування завальцювань п'ят плунжера	2,90
	4. Зношування з'єднання «розподільник - приставне дно»	8,86
	5. Зношування з'єднання «втулка - плунжер»	4,32

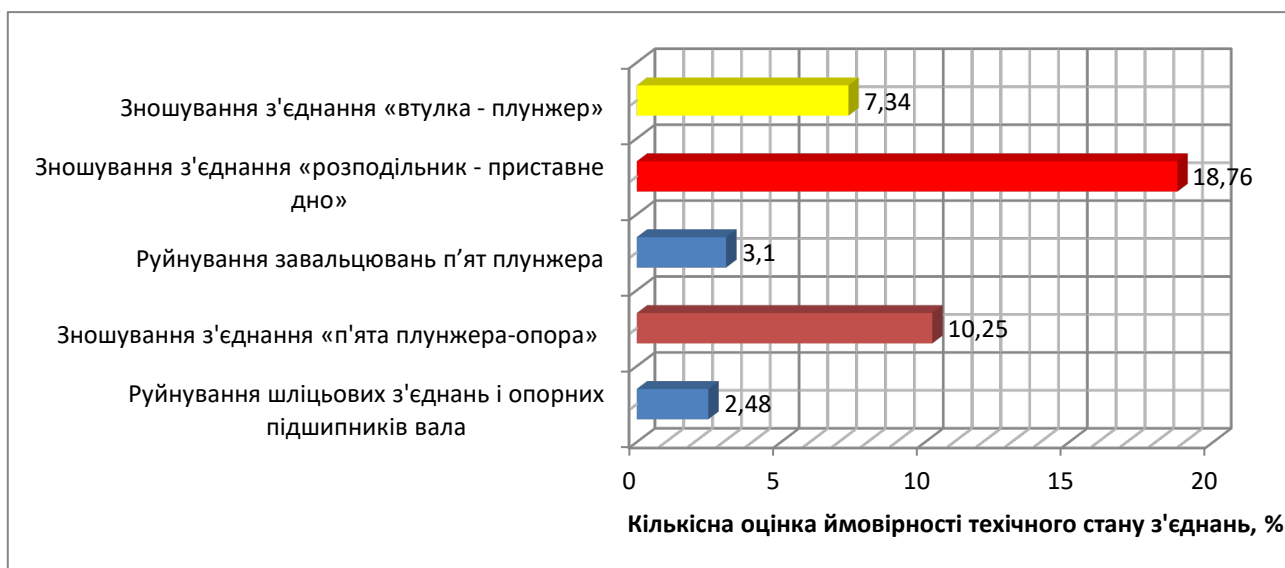
*Авторська розробка*

Наглядно ймовірна кількісна оцінка технічного стану з'єднань качаючого вузла аксіально-поршневих гідронасосів представлена в вигляді лінійчатої гистограми на (рисунку 3).

Детальний аналіз ймовірної кількісної оцінки технічного стану спряжень качаючого вузла гідронасоса показав, що близько 19% відмов обумовлюється дефектами, які виникають в спряженні «розподільник - приставне дно», що



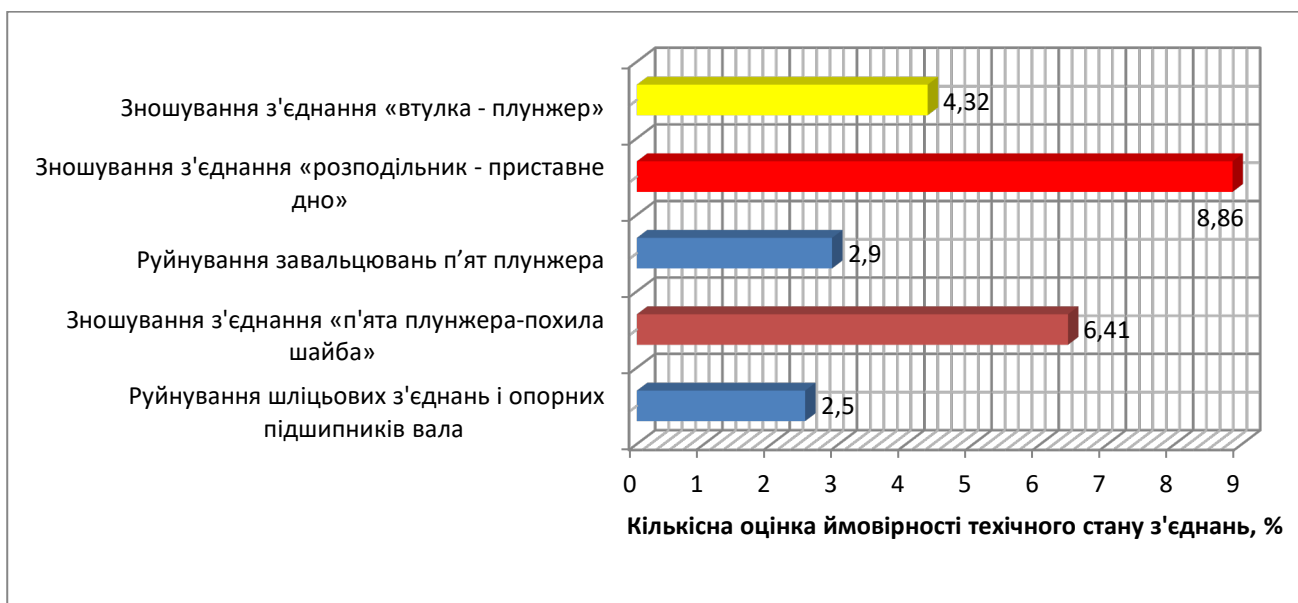
становить майже 45% по відношенню до загальних відмов по качаючому вузлу агрегату.



**Рисунок 3 – Лінійчата гістограма ймовірностей технічного стану спряжень качаючого вузла аксіально-поршневого гідронасоса ГСТ-90**

*Авторська розробка*

В качаючому вузлі гідромотора також спостерігається аналогічна тенденція технічного стану спряжень по відношенню до качаючого вузла гідронасоса (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Лінійчата гістограма ймовірностей технічного стану спряжень качаючого вузла аксіально-поршневого гідромотора ГСТ-90**

*Авторська розробка*



В качаючому вузлі гідромотора близько 9% відмов обумовлюється зношуванням з'єднання «розподільник - приставне дно», що в відсотках до загальних відмов для качаючого вузла становить – 35%.

Оцінка технічного стану об'ємних аксіально-поршневих агрегатів гідростатичних трансмісій ГСТ-90 визначалась проведенням їх вхідного контролю при потраплянні на ремонт до сервісних підприємств.

Є очевидним, що надходження гідроагрегатів у ремонт та втрата їх працездатності можуть бути зумовлені не лише наявністю значних слідів зношення деталей розподільної пари та інших спряжень качаючого вузла. Порушення працездатності гідроприводу також може мати комплексний характер і бути наслідком порушення регулювання клапанно-розподільних пристроїв, окремої відмови клапанної коробки, насоса підживлення або розподільника керування робочим об'ємом основного гідронасоса тощо. Достовірне встановлення причини відмови в таких випадках можливе лише за результатами виконання операцій перед ремонтного діагностування гідроагрегатів із подальшим їх розбиранням.

При цьому, для виявлення точної причини втрати працездатності гідроагрегату необхідно мати нормовані структурні параметри технічного стану деталей спряження «розподільник приставне-дно», які визначаються на основі функціональної залежності між зміною структурних параметрів деталей і об'ємними витратами рідини, які впливають на об'ємну подачу гідронасоса або об'ємні втрати гідромотора, що в цілому приводить до зменшення об'ємного коефіцієнта корисної дії гідравлічної трансмісії та втрати її працездатності.

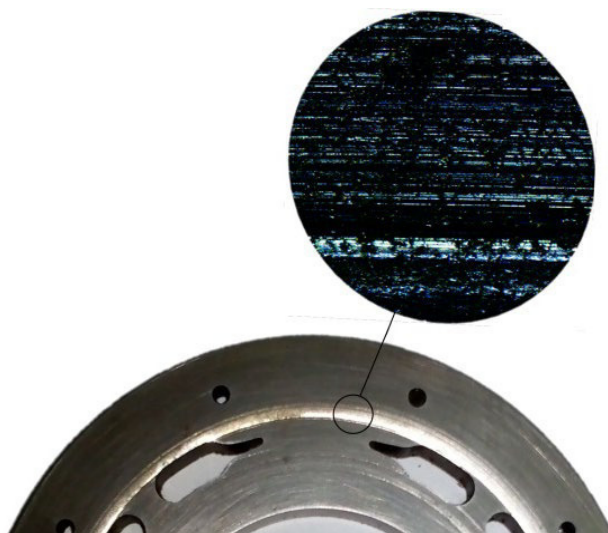
Для виявлення зміни структурних параметрів темного стану деталей спряження «розподільник-приставне дно» проводяться дослідження з визначення характеру та виду зношення деталей даного з'єднання.

У деталей, які розподіляють потоки оливи в качаючому вузлі об'ємної гідромашини, характер зносу визначається візуально з фотографуванням робочої поверхні. Мікроскопічні дослідження проводилися з використанням цифрового оптичного мікроскопа з LCD-дисплеєм при номінальному збільшенні до 1600×.



Кількісна оцінка зносу виявляється зняттям профілограм з робочих поверхонь деталей з застосуванням профілографа - профілометра фірми «Тэйлор Хобсон» (Англія).

Оцінка стану розподільника (матеріал – сталь ШХ 15), показує, що його зношення виникає в місцях контакту з приставним дном (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Місця зносу деталі (збільшення 720х)**

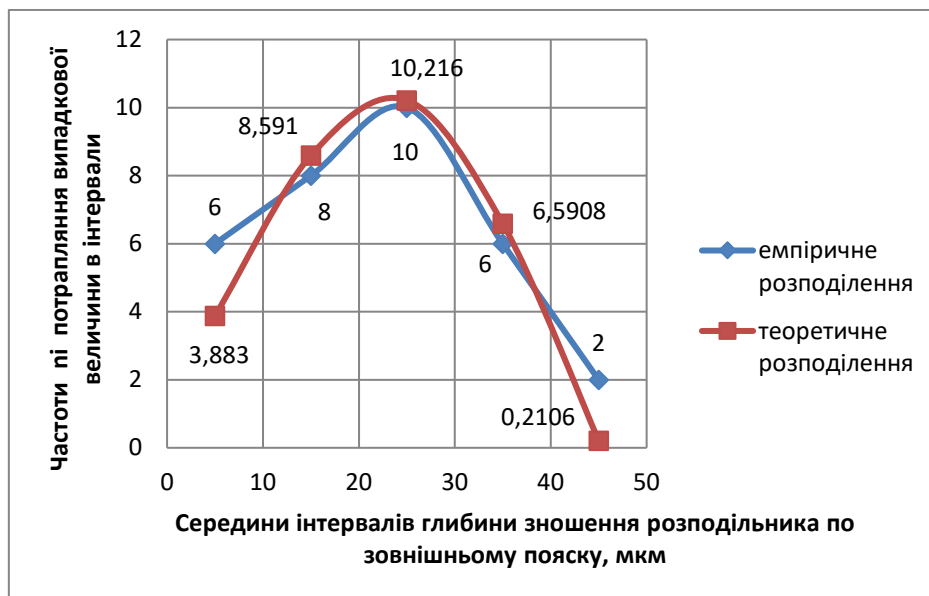
*Авторська розробка*

Зовнішній огляд робочих поверхонь розподільників показав, що переважним видом зношення розподільника являється гідроабразивний, на що вказує наявність рисок різного геометричного розміру. Даний висновок підтверджується після розгляду робочих поверхонь через мікроскоп, про свідчить хаотичне розміщення рисок (рисунок 6).

Максимальне зношення поверхні виникає вздовж твірних розподільчатих вікон біля перемичок, які розподіляють вікна між зонами високого і низького тиску рідини. Такий характер зношень пояснюється тим, що перенесення замкнутого об'єму робочої рідини між зонами високого і низького тиску супроводжується, при роботі гідромашин, хвильовими ударними процесами, які визивають руйнування країв серповидних вікон.

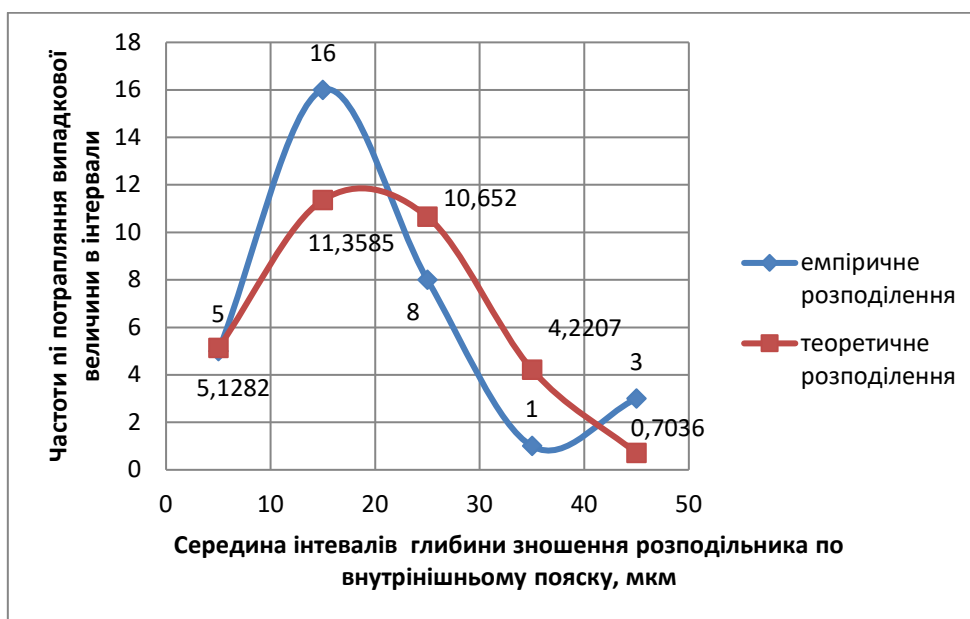


рідини, в умовах гідроабразивного зношення будуть обумовлювати більш глибокі канали ніж по зовнішньому поясу (рисунок 8) і менші за глибиною по внутрішньому поясу (рисунок 9).



**Рисунок 8 – Полігон розподілення зношення розподільника по зовнішньому поясу**

*Авторська розробка*



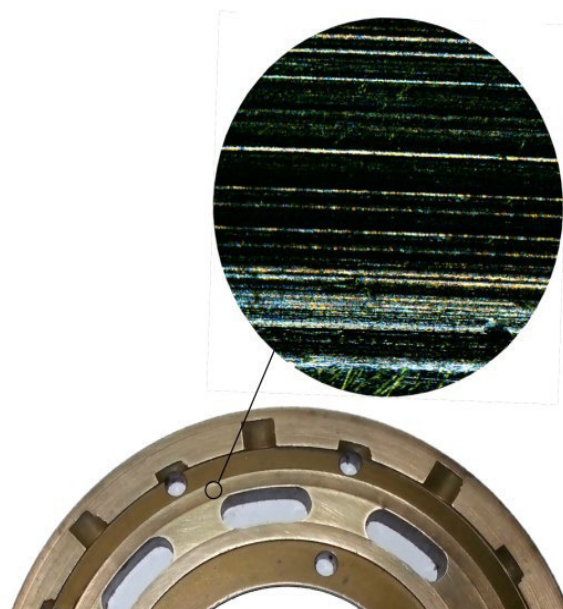
**Рисунок 9 – Полігон розподілення зношення розподільника по внутрішньому поясу**

*Авторська розробка*



Середнє значення глибини зношення розподільника по зовнішньому пояску складає  $\bar{X} = 27,83 \text{ мкм}$  при середньоквадратичному відхиленні  $S = 12,73 \text{ мкм}$ , по внутрішньому пояску середнє значення зношення становить  $\bar{X} = 19,24 \text{ мкм}$  при середньоквадратичному відхиленні  $S = 10,74 \text{ мкм}$ . Максимальне зношення по зовнішньому пояску становить  $52,0 \text{ мкм}$  по внутрішньому  $46,0 \text{ мкм}$ .

Приставне дно (матеріал ЛМЦ КНС 58-3-15-15-1), зношується в місцях контакту з розподільником. Однакові умови роботи приставного дна і розподільника обумовлюють ідентичний характер зношення деталей (рисунок 10).



**Рисунок 10 – Зовнішній вид зношення приставного дна (збільшення 720х)**

*Авторська розробка*

Зовнішній вид зношення робочої поверхні підтверджує наявність рисок на робочій поверхні деталі, що вказує на гідроабразивне зношення.

Розгляд робочих поверхонь приставного дна під мікроскоп показав, що крім гідроабразивного зношення також спостерігається ерозійне, обумовлене швидкісними потоками перетікання рідини між зонами високого і низького тиску (рисунок 11).

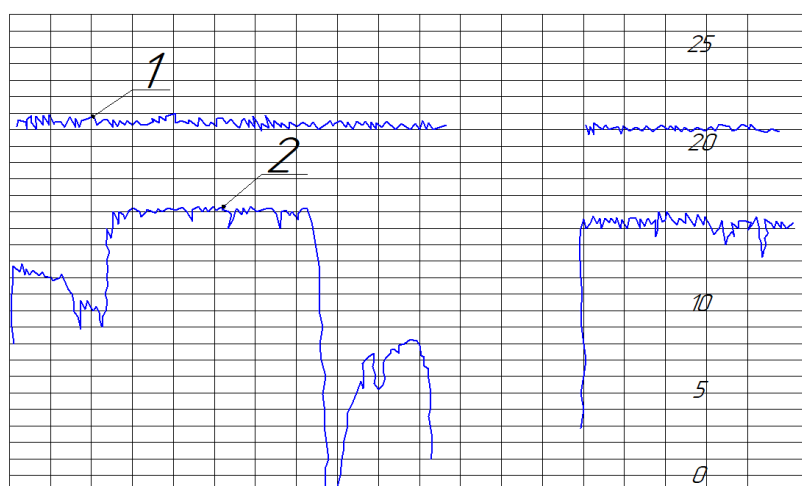


**Рисунок 11 – Зовнішній вид зношення приставного дна (збільшення 1200х):**

*1 – сліди гідроабразивного зношення; 2 – ерозійний канал*

*Авторська розробка*

Профілограми зношених і не зношених поверхонь приставного дна наведені на (рисунок 12).



**Рисунок 12 – Профілограми поверхонь приставного дна:**

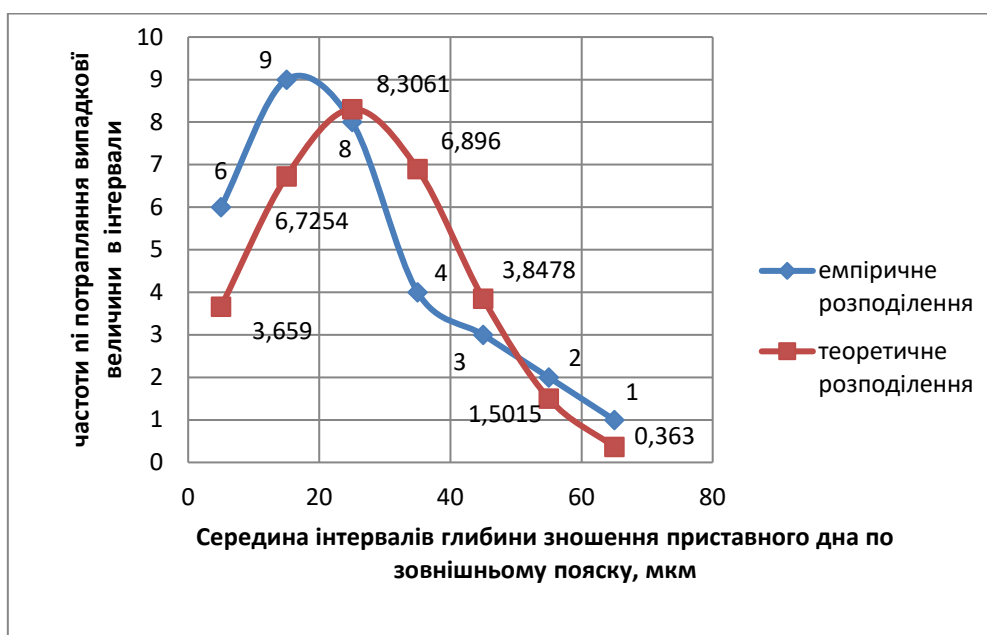
*1- профілограма не зношеної поверхні деталі; 2 – профілограма зношеної поверхні деталі*

*Авторська розробка*

Максимальне зношення приставного дна також спостерігається по зовнішньому поясу вікна в зв'язку з більшими швидкісними потоками рідини по діаметру цього пояса. Абразивні частинці, що потрапляють до цього швидкісного потоку робочої рідини, в умовах гідроабразивного зношення будуть



обумовлювати більш глибокі канали по зовнішньому поясу (рисунок 13) ніж по внутрішньому поясу (рисунок 14).



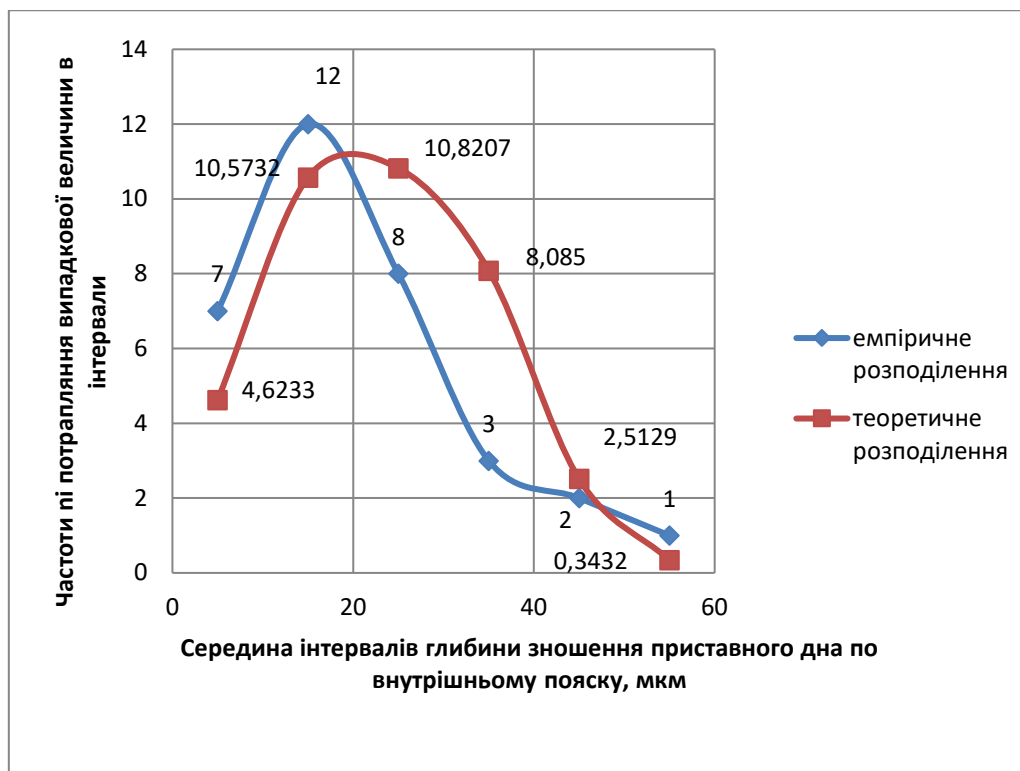
**Рисунок 13 – Полігон розподілення зношення приставного дна по зовнішньому поясу**

*Авторська розробка*

Середнє значення глибини зношення приставного дна по зовнішньому поясу складає  $\bar{X} = 25,30$  мкм при середньоквадратичному відхиленні  $S = 15,84$  мкм. Максимальне зношення по зовнішньому поясу становить 67,0 мкм.

Дане твердження підтверджується також результатами статистичної оцінки контролю зношення робочої поверхні приставного дна по внутрішньому поясу (рисунок 14).

Середнє значення глибини зношення приставного дна по внутрішньому становить  $\bar{X} = 20,30$  мкм при середньоквадратичному відхиленні  $S = 11,14$  мкм. Максимальне зношення по внутрішньому поясу становить 52,0 мкм.

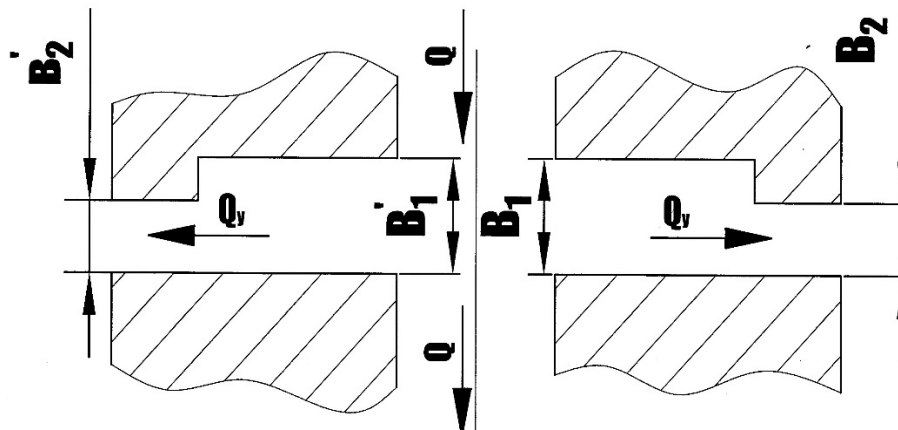


**Рисунок 14 – Полігон розподілення зношення приставного дна по внутрішньому пояску**

*Авторська розробка*

Виявлення характеру зношення деталей спряження «розподільник-приставне дно», на основі порівняння профілограм зношених і не зношених поверхонь деталей можна зробити висновок, що в результаті зношення деталей даного спряження формується щілинний канал, площа перерізу якого зменшується з  $B_1$  на вході до  $B_2$  на виході по внутрішньому пояску спряження і з  $B'_1$  на вході до  $B'_2$  на виході по зовнішньому пояску розподільчатої пари (рисунок 15).

Отримання дійсної оцінки зміни структурних параметрів технічного стану деталей спряження «розподільник – приставне дно» показало, що на її основі формується клиноподібний зазор, що виникає внаслідок зношення поверхонь спряження.



**Рисунок 15 – Щільний канал, який формується зношенням деталей  
спряження «розподільник – приставне дно»**

*Авторська розробка*

З огляду на те, що зазначене спряження виконує функцію розподілу потоку робочої рідини між зонами високого та низького тиску в качаючому вузлі гідромашини, утворення конусоподібного зазору зумовлює виникнення об'ємних втрат рідини, величина яких перебуває у функціональній залежності від геометричних параметрів щілини на вході та виході. Витоки робочої рідини через даний зазор призводять до зміни коефіцієнта подачі гідронасоса та витрат рідини в гідромоторі, що, у свою чергу, істотно впливає на вихідні параметри гідравлічної трансмісії в цілому, зокрема потужність, крутний момент і частоту обертання.

Вирішення задачі, пов'язаної з течією рідини через конусоподібний зазор, який формується в результаті зношення деталей спряження «розподільник – приставне дно», дасть кількісну оцінку об'ємним втратам, за результатами якої можна провести нормування структурних параметрів деталей для умов експлуатації і відповідно для ремонтних підприємств.

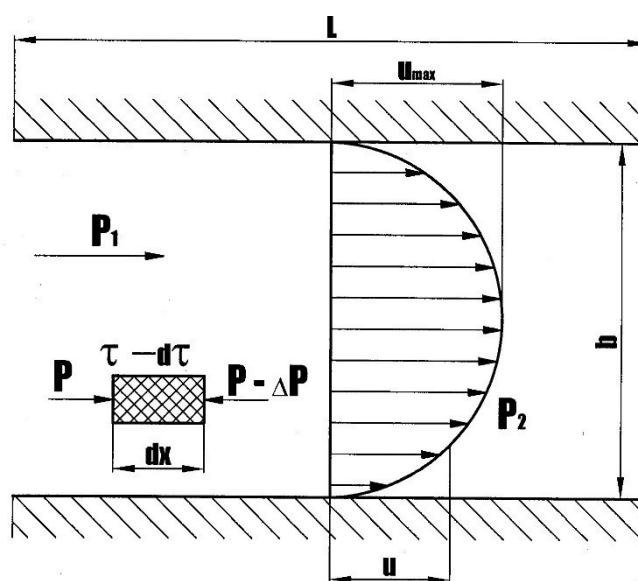
## **1.2 Дослідження об'ємних втрат через систему розподілення потоку рідини**

Проведення досліджень з виявлення характеру та виду зношення деталей спряження «розподільник-приставне дно» і виявлення кількісної оцінки зміни



структурних параметрів їх технічного стану, дало змогу стверджувати, що між деталями утворюється плоска щілина, а знос деталей розподільного вузла знаходиться в діапазоні 10...20 мкм, що дозволяє вважати таку плоску щілину капілярною. Протікання рідини в капілярних щілинах при таких розмірах зносу підлягає загальним законам гідравліки.

Розглянемо (рисунок 16) типову схему протікання робочої рідини під дією перепаду тиску між двома паралельними пластинками, що знаходяться одна від одної на такій відстані, що створюють капілярну щілину (висотою)  $B$ .



**Рисунок 16 - Розрахункова схема протікання робочої рідини між двома пластинками**

*Джерело [9]*

Припустимо, що розмір пластини достатньо великий, щоб вважати потік двовірним і що розподіл швидкостей в перерізі між пластинками має параболічний характер, що відповідає ламінарному протіканню рідини.

Розглянемо деяку елементарну частинку  $d$  рідини, що знаходиться біля нижньої пластини. Силі, що виникає під дією перепаду тиску  $\Delta P$  та відцентрової сили, протидіє напруження зсуву  $\tau$ , що діє на нижню поверхню (площину)  $dx$ .



Із умови рівноваги сил, що діють на елементарну частинку, маємо:

$$d\rho \cdot dy + \rho dx \cdot dy \cdot n^2 \cdot 4\pi \cdot (r_0 + x + \Delta x / 2) + (\tau - d\tau)dx = \tau dx \quad (1)$$

де  $n$  – частота обертання приставного дна;

$r_0$  – відстань від центра приставного дна до початку щілини;

$\rho$  - густина робочої рідини.

Звідси слідує:

$$\frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_0 + x / 2) = \frac{d\tau}{dy}, \quad (2)$$

Враховуючи, що  $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ , отримаємо:

$$\frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_0 + x / 2) = \mu \frac{d^2u}{dy^2}, \quad (3)$$

Вирішуючи рівняння (3) отримаємо:

$$U = \frac{1}{\mu} \left( \frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_0 + x / 2) \right) \cdot \frac{y^2}{2} + C_1 y + C_2 \quad (4)$$

Постійні  $C_1$  та  $C_2$  знаходимо з умови, що швидкість рідини  $U$  на стінках щілини рівна нулю.

В результаті отримаємо:

$$U = -\frac{1}{\mu} \left( \frac{B^2}{4} + y^2 \right) \cdot \left( \frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_0 + x / 2) \right), \quad (5)$$

Враховуючи, що тиск зменшується в щілині по лінійному закону отримаємо:

$$U = \frac{1}{3\mu} \cdot \frac{B^2}{4} \left( \frac{P_1 - P_2}{L} + 4\rho n^2 \pi^2 \left( r_0 + \frac{L}{2} \right) \right), \quad (6)$$

Тоді витрата робочої рідини через одиницю довжини буде становити:

$$Q' = \frac{1B^3}{12\mu} \left( \frac{P_1 - P_2}{L} + 4\rho n^2 \pi^2 \left( r_0 + \frac{L}{2} \right) \right), \quad (7)$$

І відповідно для ширини щілини  $W$  витрата буде рівною:



$$Q = \frac{W \cdot B^3}{12\mu} \left( \frac{P_1 - P_2}{L} + 4\rho n^2 \pi^2 \left( r_0 + \frac{L}{2} \right) \right), \quad (8)$$

Будемо рахувати, що втрати робочої рідини, які викликані відцентровими силами незначні та ними можна знехтувати.

Тоді вираз (8) дозволяє визначити витрати робочої рідини через щілину, що викликана зносом деталей спряження «розподільник-приставне дно».

Однак в першому приближенні ми розглядали ідеальний випадок, коли плоска щілина, утворюється в результаті рівномірного зношення деталей розподільного вузла.

В умовах експлуатації, як правило, знос подібних деталей не є рівномірним. В результаті експлуатації деталей спряження формується щільовий (клиноподібний) канал, площа якого зменшується з  $B_1$  до  $B_2$  на виході (рисунок 15).

Тоді, для отримання адекватності між зносом та витратами робочої рідини, необхідно враховувати втрати тиску в торцевій частині каналу, що викликані його зменшенням з  $B_1$  на  $B_2$ . Для цього випадку використаємо відоме відношення [10]:

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \xi_{зс}, \quad (9)$$

де  $\xi_{зс}$  – коефіцієнт звуження щілини;

$V$  - швидкість течії робочої рідини:

$$\xi_{зс} = \frac{(1 - B_2/B_1)}{2}, \quad (10)$$

Тоді сумарну величину втрат тиску можна представити в наступному вигляді:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (11)$$

де  $\Delta P_1$  – втрати тиску в щілині;

$\Delta P_2$  – втрати тиску в торцевій частині щілини;

Виражаючи  $\Delta P_1$  та  $\Delta P_2$  через витрату робочої рідини отримаємо рівняння



витрати рідини:

$$Q^2 + \frac{24 \cdot B_2^2 \cdot W \cdot \nu \cdot L}{B_1^3 \cdot \xi_{36}} \cdot Q = \frac{2B_2^2 \cdot W^2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot \xi_{36}}, \quad (12)$$

де  $W$  – ширина щілини;  $L$  – довжина щілини;  $\nu$  – кінематична в'язкість робочої рідини.

*Авторська розробка*

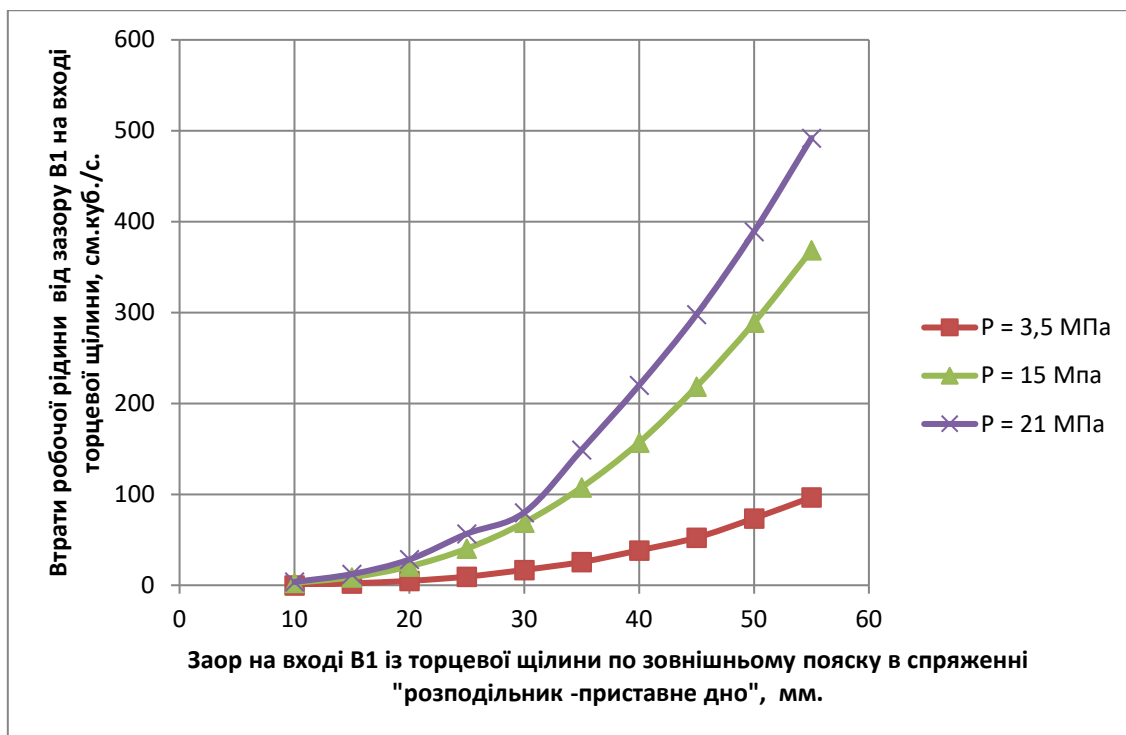
Розрахунок витрат робочої рідини, що обумовлені зазором на вході  $B_1$  та виході  $B_2$  із щілини спряження «розподільник – приставне дно» виконувався по наступним даним: зазор на виході з щілини  $B_1 = 0...30$  мкм; зазор на вході  $B_2 = 0...60$  мкм; довжина щілини  $L = 4$  мм ширина щілини  $W = 1$  мм; густина робочої рідини  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнт динамічної в'язкості  $\nu = 12 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; перепад тиску робочої рідини  $\Delta P = 3,5; 15,0; 21,0$  МПа.

Результати розрахунку представлені в (таблиця 2) та графічно на (рисунок 17).

**Таблиця 2- Значення витрат робочої рідини, обумовлених зазором у сполученні «розподільник-приставне дно»**

Значення зазору $B_1$ та на виході $B_2$ із щілини, мкм		Значення витрат робочої рідини см <sup>3</sup> /с в залежності від тиску		
$B_1$	$B_2$	$\Delta P = 3,5$ МПа	$\Delta P = 15$ МПа	$\Delta P = 21$ МПа
10	5	-	2,6	3,6
15	7,5	2,1	8,8	12,3
20	10	4,8	20,7	28,3
25	12,5	9,5	40,3	56,6
30	15	16,9	68,9	80,0
35	17,5	25,6	107,8	149,0
40	20	38,4	157,0	220,0
45	22,5	52,4	218,6	298,0
50	25	73,6	289,0	389,0
55	27,5	96,7	368,5	492,0

*Авторська розробка*



**Рисунок 17 – Залежність втрат робочої рідини від зазору на вході В<sub>1</sub> з торцевої щілини по зовнішньому пояску в спряженні «розподільник – приставне дно»**

*Авторська розробка*

Аналіз отриманих результатів показує, що при значеннях зазору на вході В<sub>1</sub> = 40 мкм та на виході В<sub>2</sub> = 20 мкм втрати робочої рідини досягають 225 см<sup>3</sup>. Раніше в роботі [1] було відмічено, що це значення втрат робочої рідини вважається граничним, із-за неможливості роботи гідроприводу в номінальному режимі.

Звідси являється очевидним, що знос деталей спряження «розподільник-приставне дно» обумовлює значні об'ємні втрати робочої рідини в гідромашинах, а значення зазору, що призводить до витрат робочої рідини рівним 225 см<sup>3</sup> можна вважати як граничне.

Однак отримане значення структурного параметру, зазору на вході В<sub>1</sub> та на виході В<sub>2</sub> із торцевої щілини спряження «розподільник-приставне дно», не можна залишити в отриманому вигляді, постільки невідомо, які втрати робочої рідини будуть обумовлюватися даним зазором в реальних умовах.



Таким чином проведені аналітичні дослідження показують, що при значеннях зазору в спряженні «розподільник-приставне дно» на вході  $V_1 = 40$  мкм та на виході  $V_2 = 20$  мкм втрати робочої рідини досягають  $225 \text{ см}^3$ , при яких системи керування робочим об'ємом не в змозі відслідкувати заданий режим роботи, так як насос підживлення повністю працює на компенсацію об'ємних втрат і не забезпечує необхідний тиск в системі керування.

### **1.3 Оцінка ремонтпридатності деталей торцевого розподілення рідини аксіально-поршневої гідромашини**

Під час експлуатації гідравлічних трансмісій зміни структурних параметрів деталей качаючого вузла призводять до зниження об'ємного та загального коефіцієнта корисної дії агрегатів із-за зростання об'ємних втрат. У гідроприводах трансмісій ГСТ-90, ГСТ-112 та інших аксіально-поршневих гідромашин 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 - ШХ15 твердість 56–62 HRC) показує, що його зношення виникає у зонах контакту з приставним дном, найбільше вздовж твірної розподільних вікон біля перемичок.

Приставне дно (матеріал ЛМЦ КНС 58-3-15-15-1, твердість 200 НВ) зношується у зонах контакту з розподільником, що зумовлює схожий характер зношення обох деталей та їх вид – гідроабразивний з елементами ерозійних каналів.

На ремонтних підприємствах відновлення працездатного стану деталей торцевого розподілення робочої рідини здійснюється із застосуванням способу вільних ремонтних розмірів, що ґрунтується на послідовному виконанні операцій чорнового та чистового притирання на спеціалізованих притиральних плитах. Реалізація зазначеного способу забезпечує видалення продуктів і слідів



зношення з робочих поверхонь деталей, а також відновлення їх геометричної точності за показником площинності з граничним відхиленням не більше 0,002 мм.

До негативних наслідків відновлення деталей таким способом слід віднести зменшення товщини (висоти) деталей, що впливає на розмірний ланцюг качаючого вузла, при складанні гідроагрегату, і не завжди дозволяє дотримати технічні допуски на інтегральний зазор в качаючому вузлі гідромашини, із-за глибини слідів гідроабразивного та ерозійного зношень. Особливо це стосується для деталей з значним зношенням робочих поверхонь деталей, яке характеризується глибиною гідроабразивних та ерозійних каналів.

За конструктивними особливостями, для сталюого розподільника (рисунок б), критерієм для застосування даного способу відновлення являється розмір граничної товщини (висоти) при виготовленні деталі, згідно робочого креслення, що суттєво спрощує технологію відновлення працездатності деталі, але при цьому, значно збільшується трудомісткість притиральних операцій для деталей зі значним зношенням і відповідно виникають складності з формування геометричного ланцюга розміщення деталей качаючого вузла гідромашини при її складанні.

Застосування способу вільних ремонтних розмірів, для відновлення приставного dna притиральними операціями, обмежується його конструктивними особливостями (рисунок 10), до яких слід віднести розміри висоти виступів опорних робочих поясів (основний і периферійний) на поверхні деталі.

Основний робочий пояс забезпечує герметичність потоку робочої рідини, при розподіленні її через серповидні вікна між зонами високого і низького тисків при роботі гідроагрегатів.

Периферійний опорний пояс (допоміжний), обмежується діаметральним розміром приставного dna і має обґрунтований конструктивний розмір за шириною. Він розвантажує роботу деталей спряження «розподільник – приставне дно», забезпечуючи паралельність їх робочих поверхонь, що служить



основою для наявності мастильної плівки між їх робочими поверхнями і формування умов рідинного тертя між ними. Значну роль при цьому, відіграють серповидні лунки, які розміщуються по колу периферійного поясу і виконують функції гідростатичного підшипника, за рахунок постійної наявності в замкнутому просторі лунок робочої рідини, яка знаходиться в корпусі гідромашини під дренажним тиском.

Відновлення приставного dna притиранням робочої поверхні до слідів видалення зношення, приводить до зменшення висоти опорних робочих поясів деталі і одночасно до зменшення геометричних розмірів серповидних лунок на периферійному поясі, що впливає на умови роботи робочих поверхонь деталей через зміну товщини мастильної плівки, із-за погіршення ефективності роботи гідростатичних підшипників в результаті зменшення площі поверхні лунок.

Є явним, що реалізація способу вільних ремонтних розмірів для приставного dna буде обмежуватись геометричним розміром висоти опорних поясів робочих поверхонь деталей, через яку одночасно будуть змінюватись розміри серповидних лунок, які суттєво впливають на роботу пари тертя. Дана робоча гіпотеза також розглядається в роботі [11].

Автори рекомендують для визначення кількісної оцінки деталей, які доцільно відновлювати способом вільних ремонтних розмірів з застосуванням притиральних операцій, оцінювати ремонтпридатність приставного dna орієнтуючись на кількісну оцінку глибини гідроабразивних і ерозійних каналів.

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

$$P_p = 1 - \frac{(\delta_{\max} + |\Delta|)}{B_n} \cdot 100 \% \quad (13)$$

де  $P_p$  - відносний діагностичний показник ремонтпридатності, %;

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



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

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

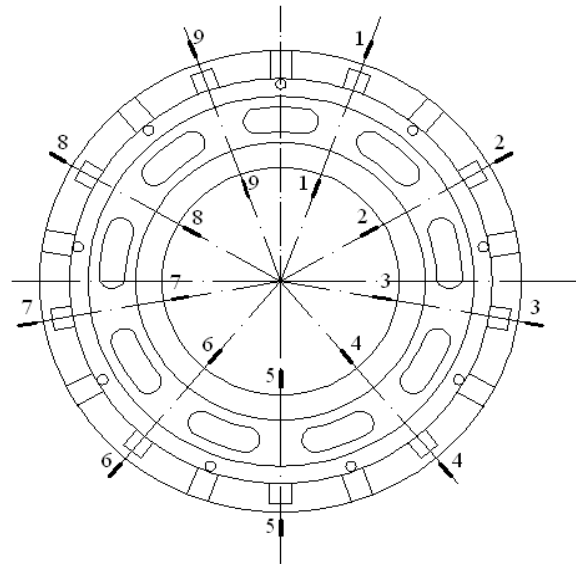
### *Авторська розробка*

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  $B_n = 7,9 \text{ мм}$  [2].

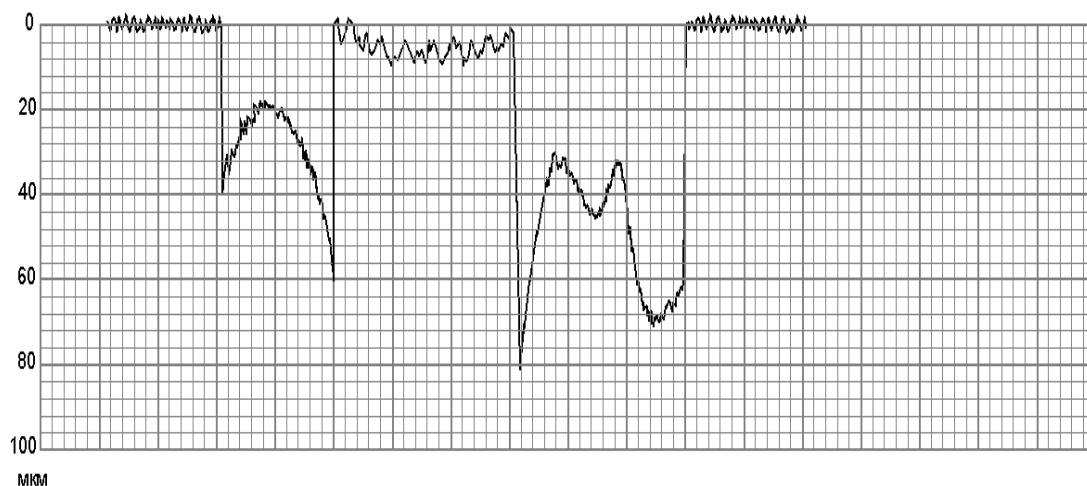
Вимірювання приставного дна проводиться за допомогою магнітної стійки та індикаторної головки часового типу з похибкою 1 мкм відповідно до схеми, наведеної на (рисунок 18), з подальшим визначенням відносного показника максимальної неплоскості робочої поверхні деталі ( $\Delta$ ), який прийmemo рівним  $\Delta = 0,25 \text{ мм}$ .



**Рисунок 18 – Схема вимірювання неплоскості деталі ( $\Delta$ )**

*Авторська розробка*

3 профілограми поперечного перерізу зношеної робочої поверхні приставного дна (рисунок 19) визначають максимальну глибину каналу ( $\delta_{\max}$ ), яка становить  $\delta_{\max} = 82 \text{ мкм}$ .



**Рисунок 19 – Профілограма поперечного перерізу зношеного приставного дна для визначення глибини каналу ( $\delta_{\max}$ )**

*Авторська розробка*

Підставивши отримані значення у формулу (13), 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 та 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:

$$P_p = 1 - \frac{(\delta_{\max} + |\Delta| + H)}{B_n} \cdot 100 \% \quad , \quad (14)$$

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

*Авторська розробка*

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.

#### **1.4 Технологія ремонту приставного дна спряження «розподільник-приставне дно» качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини**

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 [4].

В роботі [12], 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 ущільнююючих 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 послідувальною її механічною обробкою [13].

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.

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.

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

В роботі [14], 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 ШХ15. 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.

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.



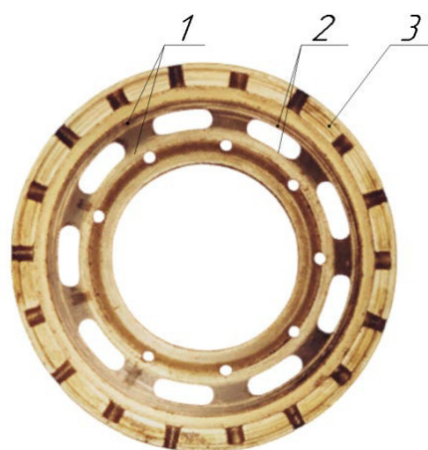
Із проведеного аналізу існуючих способів відновлення деталей торцевого розподілення потоку робочої рідини в качаючому вузлі аксіально-поршневих гідромашин гідростатичних трансмісій (ГСТ-90, ГСТ-112 та ін.) впливає, що робоча поверхня латунного приставного дна, яку потрібно відновляти, має значну площу (поверхня деталі відновлюється по всьому замкнутому круговому контуру ущільнюючих поясків), 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 краях 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 20).

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.

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.



**Рисунок 20 - Характерні поверхні зношення приставного дна:**  
*1- гідроабразивне зношення ущільнюючого пояску по зовнішньому і внутрішньому поясках; 2 – зношення кромek серповидних вікон; 3 – гідроабразивне зношення опорного (периферійного) пояску по всій круговій поверхні*

*Авторська розробка*

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.

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% - (покрщує корозійну стійкість); Кремній (Si): 1-2% - (сприяє термічній стабільності); Марганець (Mn): 1-2% - (покрщує 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.

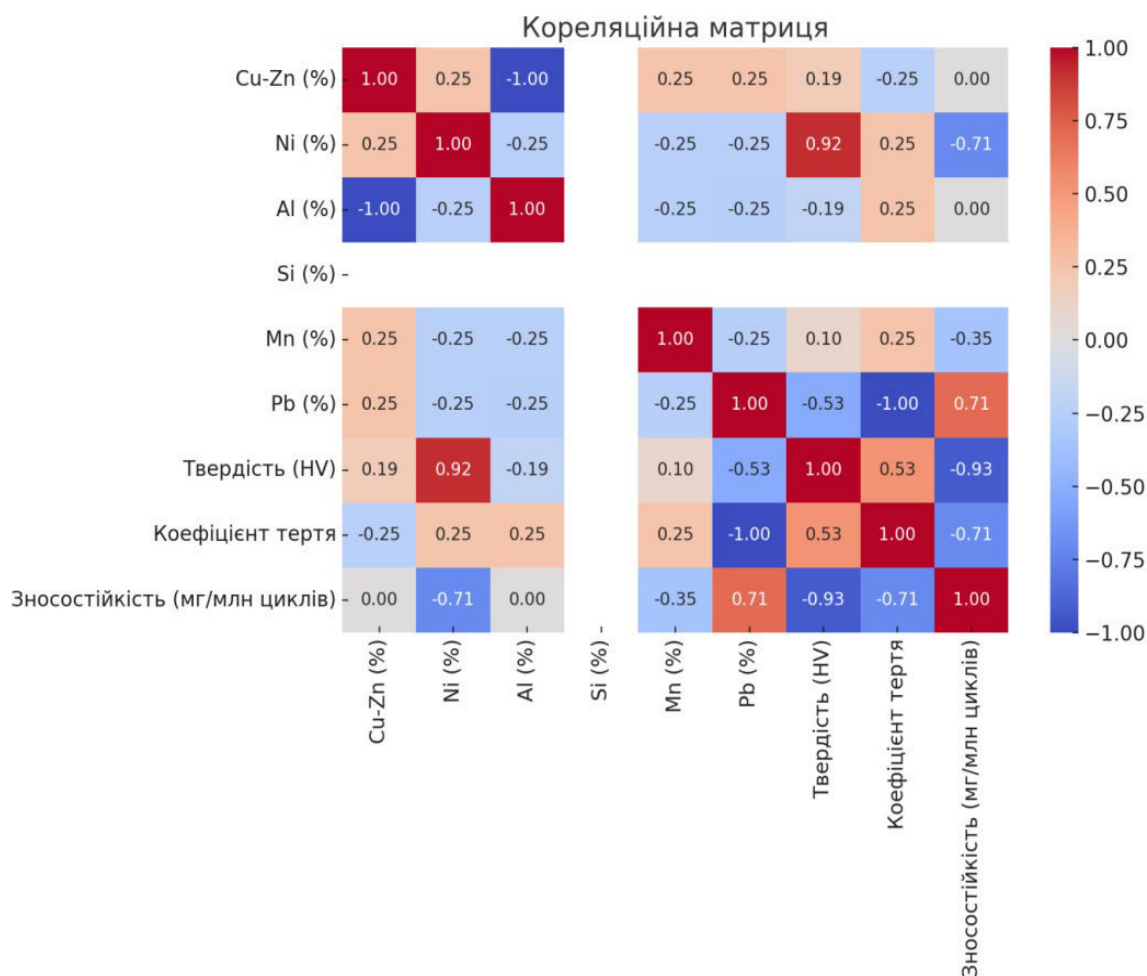
Для проведення кореляційного аналізу впливу масових часток хімічних елементів у порошковій суміші на фізико-механічні властивості відновленої поверхні, сформуємо таблицю даних з умовних значень масової частки компонентів і відповідних властивостей покриттів (таблиця 3).

**Таблиця 3 - 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 (рисунок 21).



**Рисунок 21 - Кореляційна матриця між складом порошку і властивостями відновленого шару**

*Авторська розробка*

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.

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  $\approx$  13–15%, Mn  $\approx$  1,5–2%, 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.

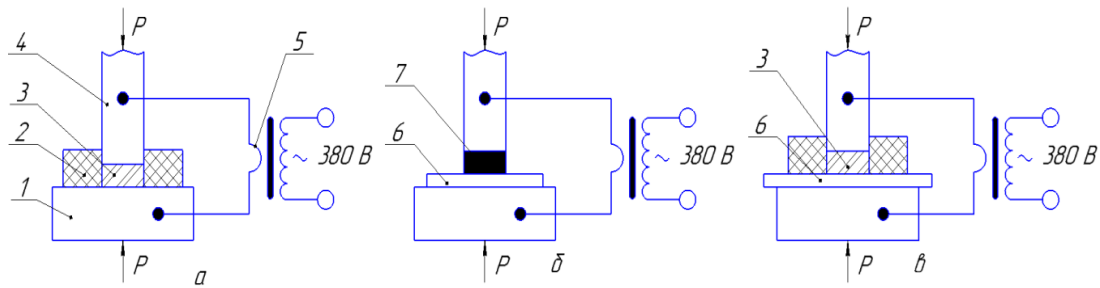
З урахуванням результатів проведеного кореляційного аналізу наводяться рекомендовані склади порошкової суміші для пріоритетних експлуатаційних властивостей деталі - зносостійкість та низьке тертя (таблиця 4).

**Таблиця 4 - 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*

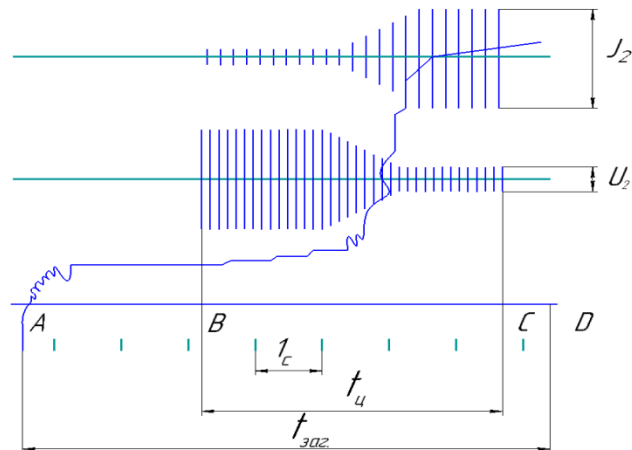
Важливим фактором, який забезпечить якість відновлення деталі електроконтактним способом являються режими, які застосовуються при електроконтактному спіканні порошку. Фізика процесу застосування електроконтактного способу пояснюється схемою спікання і наварки порошків (рисунок 22) [15].



**Рисунок 22 - 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;  $P$  – зусилля стискування**

Джерело [15]

Процес спікання порошку в компактне тіло і його наварка на деталь з використанням методу електроконтактної наварки характеризується трьома стадіями (рисунок 23.) [15].



**Рисунок 23 - Осцилограма зміни вторинного струму  $I_2$ , напруги  $U_2$  і осадки  $h$  пресовки в процесі електроконтактного спікання при загальному циклі  $t_{заг.}$**

Джерело [15]

На першій стадії холодного пресування (дільниця АВ) шихта



підготовлюється до послідуєчого пропускання через неї електричного струму і проходить стабілізація її електричного опору.

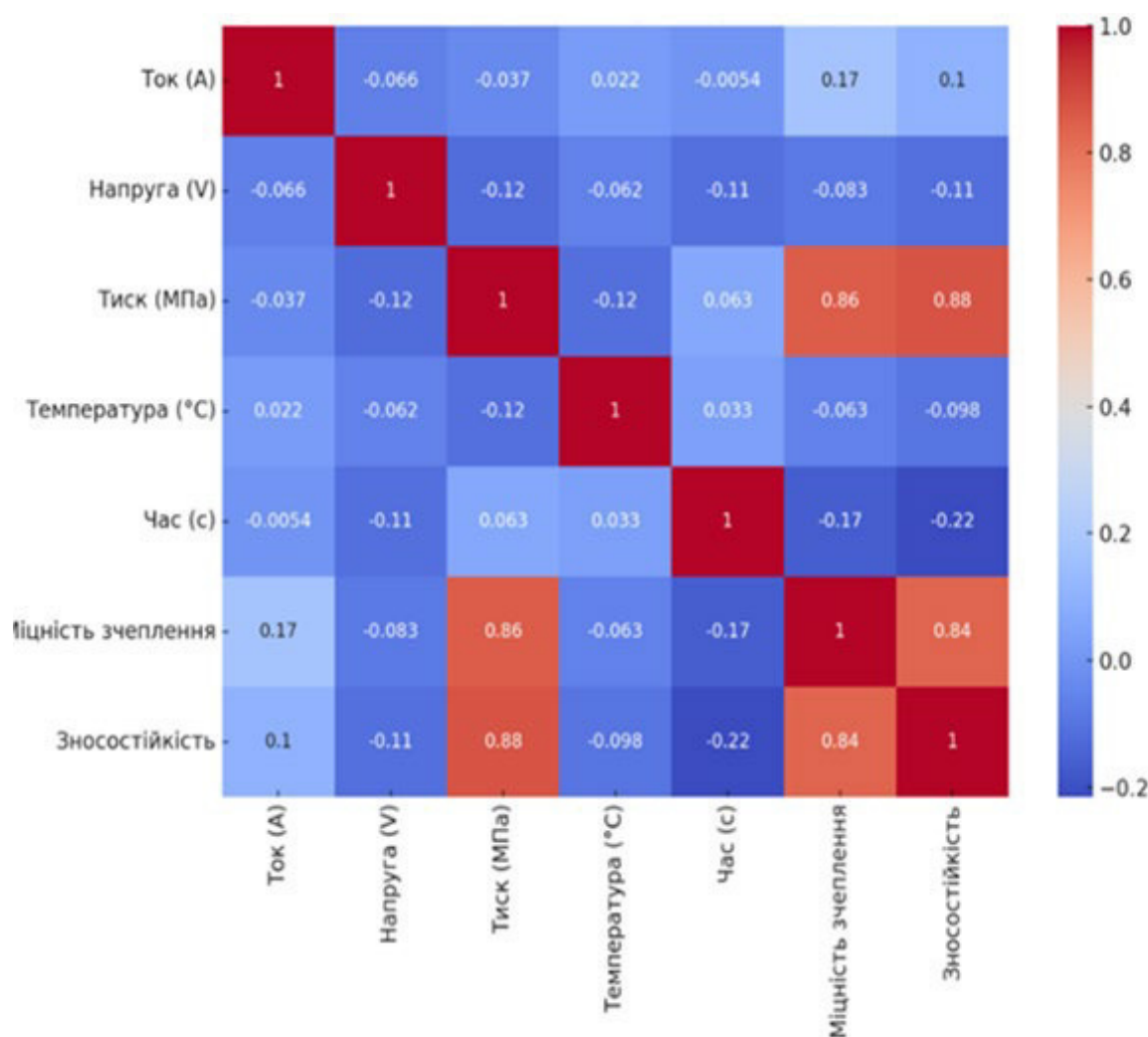
Друга стадія (дільниця BC) характеризується протіканням імпульсів електричного струму через порошок, який знаходиться під тиском. При цьому, струмопровідні контакти частиць та їх приконтактні об'єми швидко нагріваються, активно протікають процеси рекристалізації, захоплення, зварювання в мікроконтактах 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 24).

З якісного аналізу кореляційної матриці (рисунок 24) 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 24 - 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 5).

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.

Деталі відновлювались за наступною технологією: підготовка поверхні – очищення, знежирення, та механічна обробка зношених ділянок; укладка деталі



**Таблиця 5 - Основні параметри режиму електроконтактного напикання 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*

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 розмірів в відповідності до робочих креслень.

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 напиканні 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 6).

**Таблиця 6 - 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 (таблиця 6) 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 (таблиці 7).

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

Показник	Нова деталь (ЛМЦСКА 58-2-2-1-1)	Відновлена поверхня (спечений шар)
Швидкість зношування, мм <sup>3</sup> /(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)

*Авторська розробка*

Для отримання достовірної оцінки щодо післяремонтної довговічності відновленого приставного дна проводяться стендові випробовування аксіально-поршневіх гідромашин згідно методик рекомендованих в роботі [17].

Відновлене латунне приставне дно працює в парі тертя з розподільником, виготовленим зі сталі ШХ15 або 12ХФ1 (ДСТУ 4543:2006). За результатами припрацювання для досліджуваних пар тертя визначили: максимальне передзадирне навантаження  $P_{m.n.}$ , при якому спостерігалось різке зростання температури, моменту і коефіцієнта тертя, а також мінімальний коефіцієнт тертя  $f_{min}$  і відповідне йому оптимальне навантаження  $P_{on.}$ . Результати наводяться в (таблиці 8).

**Таблиця 8 - Результати випробувань на припрацювання для пари тертя «розподільник-приставне дно»**

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

*Авторська розробка*

Середні значення максимальних передзадирних, оптимальних навантажень



для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя, у яких латунне приставне дно відновлене електроконтактним напіканням порошку представлені на (рисунок 25).



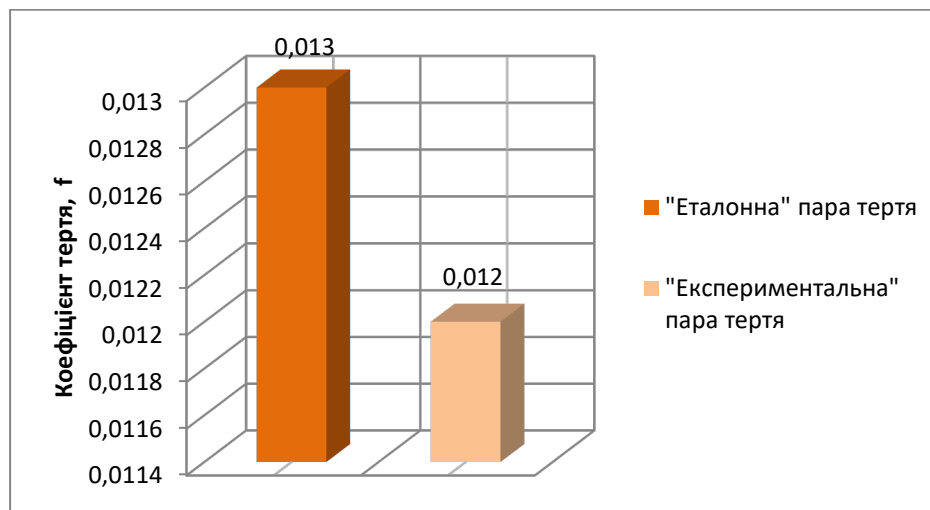
**Рисунок 25 - Середнє значення максимальних передзадирних і оптимальних навантажень для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя**

*Авторська розробка*

Аналіз гістограм наведених на (рисунок 25) показав, що для пари тертя «розподільник-приставне дно» несуча здатність «еталонної» пари становить - 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 (рисунок 26).

Аналіз гістограм наведених на (рисунок 26) 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



**Рисунок 26 - Значення мінімальних коефіцієнтів тертя для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя**

*Авторська розробка*

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 відновлення деталі. План операцій відновлення приставного дна качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини наведено в (таблиці 9).

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



Таблиця 9 - План операцій відновлення приставного дна

Номер	Найменування операції	Вміст операції
05	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 напикання 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 поясків 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.

Зношення робочих поверхонь деталей спряження «розподільник приставне дно» значною мірою спричиняється гідроабразивним зносом і доповнюється ерозійним, в результаті наявності швидкісних потоків рідини між зонами



високого і низького тиску.

Максимальний знос поверхонь відбувається повздовж твірних серповидних отворів, із-за дії на них хвильових ударів, обумовлених перенесенням замкнених об'ємів оливи із зон високих тисків до низьких; Як структурний параметр, що контролює технічний стан з'єднання для розподілу потоків оливи слід використовувати розмір зазору відповідно до входу  $V_1$  і виходу  $V_2$  з конусної щілини для зовнішніх поясів і відповідно  $V'_1$  та  $V'_2$  для внутрішніх поясів.

Отримання дійсної оцінки зміни структурних параметрів технічного стану деталей спряження «розподільник – приставне дно» показало, що на її основі формується клиноподібний зазор, що виникає внаслідок зношення робочих поверхонь спряження і який за кількісною оцінкою відноситься до капілярних щілин, в яких протікання рідини підпорядковується загальним законам гідравліки.

Запропонований метод оцінювання ремонтпридатності приставного дна розроблюється на основі виявлення функціональної залежності між максимальною глибиною гідроабразивних та ерозійних каналів на робочій поверхні деталі та її параметрами неплоскості і товщини (висоти), що визначаються за робочим кресленням. Врахування цих параметрів дозволяє підвищити точність визначення ремонтпридатності деталі і уникнути необґрунтованих витрат на їх ремонт і одночасно збільшити ремонтний фонд аксіально-поршневих гідромашин на 30% за рахунок деталей, що раніше необґрунтовано відбраковувались.

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.

З врахуванням 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.

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.

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.

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.

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

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



## Verweise / References

### Chapter 1.

1. 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.
2. Parts Manual Series 90 100 cc Axial Piston Pump (Sauer-Danfoss) [Електронний ресурс] : детальні креслення, вибух-схеми, специфікація деталей розбірки. - PV Global, 2012. - Режим доступу: [https://www.pv-global.com/manuals/series90\\_pump.pdf](https://www.pv-global.com/manuals/series90_pump.pdf) (дата звернення: 12.10.2025).
3. 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.
4. 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.
5. Мельянцов П. Т., Лосіков О. М., Сидоренко В. К. Технологія ремонту ресурсолімітуючих деталей спряжень качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин // *Modern engineering and innovative technologies*. – 2025. – Вип. 38, ч. 1. – С. 15–37. – ISSN 2567-5273. – DOI: 10.30890/2567-5273.2025-38-01-022.
6. Спосіб відновлення роботоздатності аксіально-поршневої гідромашини



- Патент на корисну модель №91345 Україна, МПК F04B1/20; заяв. 28.02.2012; опубл.25.06.2014, Бюл.№12, Мельянцов П. Т. Кириленко О. І. Черних Т. В. Мельянцов А. П. Царанков Є. В.
7. 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.
  8. Melyantsov P. T. Substitution of controlling structural parameters of the technical condition of parts of the pluggage pair of axial-piston hydraulic machines for repair production conditions // *Intellektuelles Kapital – die Grundlage für innovative Entwicklung: Innovative Technologien, Informatik, Sicherheitssysteme, Physik und Mathematik. Монографічна серія «Europäische Wissenschaft».* Кн. 38, ч. 2. – Карлсруе, Німеччина: ScientificWorld-NetAkhatAV, 2025. – С. 6–47.
  9. Мельянцов П. Т., Лосіков О. М. Вплив торцевого зазору качаючого вузла насоса підживлення гідроприводу трансмісії ГСТ-90 на сумарні об'ємні втрати // *Металлургическая и горная промышленность. - Днепропетровск, 2015. - № 7. - С. 174-177.*
  10. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. – М., Машиностроение,1974. 606 с.
  11. Мельянцов П. Т., Лосіков О. М., Кириленко О. І., Черних Т. В., Сидоренко В. К. Спосіб визначення ремонтнопридатності деталей торцевого розподілення аксіально-поршневої гідромашини : пат. 115658 Україна : МПК F16H 39/02 (2006.01), G01N 3/56, G01N 19/08, G01B 21/02; № u201610831; заявл. 28.10.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.
  12. 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.
  13. Мельянцов П. Т. Технологія підвищення довговічності аксіально-поршневих агрегатів об'ємного гідроприводу / П.Т. Мельянцов, О. В. Дмитренко // *Zbior artykulow naukowych. «Inzynieria i technologia. Osiagniecia naukowe, rozwoj,*



- propozycje na rok 2015» - Warszawa: «Diamond trading tour». 2015. S. 47-50
14. Мельянцов П. Т. Характер та вид спрацювання деталей спряжень качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин / П. Т. Мельянцов, В. Р. Плєскач // Zbiór raportów naukowych «Nauka I Utworzenie XXI Stulecia: Teoria, Praktyka, Innowacje» – Opole: «Diamond trading tour», 2013. S. 67-70.
15. Технології відновлення і зміцнення деталей електрообладнання з використанням композиційних матеріалів : монографія / М. М. Заблудський [та ін.]. - К. : НУБіП України, 2022. 268 с.
16. 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 rezensowanych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej «Inżynieria i technologia. Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2017" – Zakopane: «Diamond trading tour», 2017. S 27-33.

## Chapter 2.

1. la Monaca, A., Murray, J. W., Liao, Z., Speidel, A., Robles-Linares, J. A., Axinte, D. A., Hardy, M. C., & Clare, A. T. (2021). Surface integrity in metal machining - Part II: Functional performance. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 164, 103718. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2021.103718>
2. Panchuk, M., Szkodo, M. Shlapak, Sheketa V, Pryszyazhnyk P, Stanislawski, A. (2025) Manufacturing techniques of elastomeric nanocellulose composites. In: Sabu Thomas, P.K.Mohamed, Jaehwan Kim, Milanta Tom Elastomeric Nanocellulose Composites. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18608-0.00024-3>
3. Singh, V., Bansal, A., Singla, A.K. *et al.* Corrosion behavior of as-sprayed VC-CuNiCr based coatings developed by high-velocity oxygen fuel process. *J. Cent. South Univ.* **31**, 1385–1397 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11771-024-5645-0>
4. Ma, L., Fu, S., Li, J. *et al.* Combining laser biomimetic surface microtextured and PTFE solid lubricant for improved friction property of Ti6Al4V. *Sci Rep* **15**, 10457