



Scientific Collection «InterConf+ »

No 57(248)

May, 2025

THE ISSUE CONTAINS:

Proceedings of the 8th International
Scientific and Practical Conference

SCIENTIFIC GOALS AND
PURPOSES IN XXI CENTURY

SEATTLE, USA

May 19–20, 2025



SEATTLE
2025

UDC 001.1

S 40 *Scientific Collection «InterConf+»*, 57(248): with the Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference «Scientific Goals and Purposes in XXI Century» (May 19-20, 2025; Seattle, USA) / comp. by LLC SPC «InterConf». Seattle: ProQuest LLC, 2025. 677 p.

ISSN 2709-4685

DOI 10.51582/interconf.19-20.05.2025

EDITOR

Anna Svoboda

Doctoral student
University of Economics;
Czech Republic
annasvobodaprague@yahoo.com

COORDINATOR

Mariia Granko

Coordination Director
LLC Scientific Publishing Center
«InterConf»; Ukraine
info@interconf.center

EDITORIAL BOARD

Dmytro Marchenko (PhD in Engineering)
Mykolayiv National Agrarian University
(MNAU); Ukraine;

Mariana Vereskliia (PhD in Pedagogy)
Lviv State University of Internal Affairs;
Ukraine

Dan Goltsman (Doctoral student)
Riga Stradiņš University;
Republic of Latvia;
goltsman.dan@inbox.lv

Katherine Richard (DSc in Law),
Hasselt University; Kingdom of Belgium
katherine.richard@protonmail.com;

Bashirov Ansar (Doctor of Medicine),
EMIH of Almaty region, Republic of Kazakhstan

Stanyslav Novak (DSc in Engineering)
University of Warsaw; Poland
novaks657@gmail.com;

Kanako Tanaka (PhD in Engineering),
Japan Science and Technology Agency; Japan;

Vagif Sultanly (DSc in Philology)
Baku State University; Republic of Azerbaijan

Davit Tchiotashvili (Doctor of Economics),
Gori State University, Georgia;

Richard Brouillet (LL.B.),
University of Ottawa; Canada;

Kamilə Əliağa qızı Əliyeva (DSc in Biology)
Baku State University; Republic of Azerbaijan

Giuli Giguashvili (Doctor of Economics),
Gori State University, Georgia;

Tamar Makasarashvili (Doctor of Economics),
Gori State University, Georgia;

Khaliana Chitadze (Doctor of Economics),
Gori State University, Georgia;

Svitlana Lykholat (PhD in Economics),
Lviv Polytechnic National University; Ukraine

Viktor Yanchenko (PhD in Pharm. Sc.),
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium»; Ukraine

Rakhmonov Aziz Bositovich (PhD in Pedagogy)
Uzbek State University of World Languages;
Republic of Uzbekistan;

Asta Marija Inkėnienė (Doctor of Pharm. Sc.),
Lithuanian University of Health Sciences,
Republic of Lithuania;

Vera Gorak (PhD in Economics)
Karlovarská Krajská Nemocnice; Czech Republic
veragorak.assist@gmail.com;

Polina Vuitsik (PhD in Economics)
Jagiellonian University; Poland
p.vuitsik.prof@gmail.com;

Alexander Schieler (PhD in Sociology),
Transilvania University of Brasov; Romania
alexanrds.schieler@protonmail.ch

George McGrown (PhD in Finance)
University of Florida; USA
mcgrown.geor@gmail.com;

Mark Alexandr Wagner (DSc. in Psychology)
University of Vienna; Austria
mw6002832@gmail.com;

Larysa Kupriianova (PhD in Medicine)
Humanitas University, Italy

Temur Narbaev (DSc in Medicine)
Tashkent Pediatric Medical Institute,
Republic of Uzbekistan;
temur1972@inbox.ru

Nataliia Mykhalitska (PhD
in Public Administration)
Lviv State University of
Internal Affairs; Ukraine

Please, cite as shown below:

1. Surname, N. & Surname, N. (2025). Title of an article. *Scientific Collection «InterConf+»*, 57(248), 21-27. <https://doi.org/10.1080/interconf...>

This issue of Scientific Collection «InterConf+» contains the materials of the International Scientific and Practical Conference. The conference provides an interdisciplinary forum for researchers, practitioners and scholars to present and discuss the most recent innovations and developments in modern science. The aim of conference is to enable academics, researchers, practitioners and college students to publish their research findings, ideas, developments, and innovations.

Scientific Collection «InterConf+» and its content are indexed in:

Index Copernicus; Google Scholar; WorldCat; OUCI (Open Ukrainian Citation Index); CrossRef;
Semantic Scholar; Mendeley; Scilit; OpenAIRE (pan-European research information system), etc.

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

 DOI 10.51582/interconf.19-20.05.2025.056

Технологія відновлення втулок блоку качаючого вузла об'ємних аксіально- поршневих гідромашин

Мельянцов Петро Тимофійович¹

¹ кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інжинірингу технічних систем;
Дніпровський державний аграрно-економічний університет; Україна

Анотація.

В роботі розглядаються питання з відновлення технічного стану латунної втулки блоку качаючого вузла аксіально-поршневих гідромашин, зношення якої впливає на об'ємні і механічні втрати в гідроагрегатах, а в технологічних процесах їх ремонту має низький коефіцієнт відновлення. Метою роботи є забезпечення максимального використання латунних втулок блоку циліндрів качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин і підвищення їх післяремонтної довговічності, шляхом розроблення ефективного технологічного процесу ремонту латунної втулки спряження «втулка блоку-поршень». Поставлена мета досягається застосуванням, для її відновлення, способу електроконтактного напикання композиції порошку, який легований бором з фінішним ультразвуковим дорнуванням поверхні. Отримані результати показали, що у відновленої втулки зменшується інтенсивність зношування на 46,8 % в порівнянні з еталонною деталлю, а розроблений технологічний процес дає можливість відновити її до номінальних розмірів, що забезпечить коефіцієнт її відновлення до 95-98 % і відповідно знизить собівартість ремонту гідроагрегатів на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

Ключові слова:

Гідростатична трансмісія
аксіально-поршнева гідромашина
качаючий вузол
втулка
гідроабразивне зношення
електроконтактне напикання
ультразвукове дорнування
зносоустійкість
технологічний процес

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

Вступ.

В гідростатичних трансмісіях мобільних машин широко застосовуються об'ємні аксіально-поршневі гідромашини, в яких основним робочим органом являється качаючий вузол, що включає блок циліндрів з поршнями, які перекачують задані об'єми робочої рідини, в залежності від кута нахилу люльки керування робочим об'ємом, із зони низького тиску до зони високого, забезпечуючи необхідну подачу гідронасоса [1].

Є явним, що на подачу аксіально-поршневого насоса буде впливати не тільки положення люльки його качаючого вузла, яке задає об'ємну подачу насоса, а також і технічний стан деталей спряження «втулка блоку-поршень», структурні параметри яких змінюються в умовах експлуатації, що сприяє зростанню зазору і відповідно об'ємним втратам робочої рідини, які впливають на працездатність агрегату.

Наведений в роботі [2] аналіз технічного стану об'ємних гідромашин, що потрапили до ремонту, показав, що близько 12% гідромашин втратили працездатність із-за зношення деталей з'єднання «втулка блоку-поршень», при цьому, на качаючий вузол гідронасоса припадає – 7,34 % відмов, а гідромотора – 4,32%.

Дана статистична оцінка не в повній мірі відображає функціональну залежність між зміною структурних параметрів деталей спряження «втулка блоку-поршень» і втратою працездатності аксіально-поршневої гідромашини, так як в її качаючому вузлі існують інші спряження, які також впливають, як на об'ємні так і механічні втрати, що обумовлює ресурсні і раптові відмови гідравлічної трансмісії. Дана робоча гіпотеза підтверджується також в роботах [3, 4].

Більш детально розглянуто зміну структурних параметрів технічного стану деталей з'єднання «втулка блоку – поршень» качаючого вузла аксіальних об'ємних гідроагрегатів в роботі [5], де автори відмічають, що зношення втулки і поршня проходить не рівномірно, із-за появи перекидного моменту на п'яті поршня, який і обумовлює його положення в втулці з перекосом. В результаті зношення деталей зростає зазор в спряженні і відповідно об'ємні втрати рідини, а ексцентричне положення поршня приводить до зростання механічних втрат в результаті зростання контактної площі між деталями з умовами граничного і сухого тертя.

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

Відновлення працездатності об'ємних гідромашин здійснюється на спеціалізованих сервісних підприємствах, які займаються їх ремонтом [6], що пояснюється наявністю необхідної технологічної оснастки та обладнання для реалізації спеціальних операцій технологічних процесів з їх ремонту.

Унікальність технологічних процесів пояснюється конструктивною складністю гідромашин, для забезпечення якості ремонту яких в роботі [7], автори рекомендують обов'язковим впровадження технології їх передремонтного діагностування, для визначення технічного стану деталей спряжень качаючого вузла за сумарними об'ємними втратами через дренажні отвори в корпусах гідроагрегатів, що потребує застосування додаткових організаційних та технічних рішень для його реалізації.

На сервісних підприємствах, для відновлення деталей і відповідно посадки в спряженнях качаючих вузлів, широко застосовується метод вільних ремонтних розмірів, який характеризується притиранням робочих поверхонь деталей до видалення слідів зносу [2].

Даний метод являється ефективним для деталей з не значним зношенням робочих поверхонь, а для деталей з значним зношенням, для відновлення посадки в з'єднанні може бути проведена заміна однієї з деталей на нову, що приводить до зростання коефіцієнта вибраковки деталей та зростання собівартості ремонту гідроагрегату, за рахунок застосування нових деталей.

Втілення цього методу визначається незначними трудовими витратами, однак відновлені агрегати не відпрацьовують міжремонтний ресурс, а у ремонтного фонду, що надходить на сервісне підприємство, до 30-35 % деталей відправляються в утиль.

Однією із основних причин, які суттєво впливають на ремонтпридатність об'ємних агрегатів, являється технічний стан деталей спряження «втулка блоку – поршень», зміна якого суттєво впливає на об'ємні і механічні втрати в насосних вузлах гідромашин [8].

У роботі [9], автори радять використовувати для ремонту латунних втулок сполучення «втулка блоку-поршень» електроіскрове наплавлення, що гарантує потрібні фізико-

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

механічні характеристики відновленої поверхні деталі.

Застосування даного методу ускладнюється із-за не рівномірного зношення втулки по всій довжині, відновити які з використанням технологій, притаманних електроіскровому наплавленню, технологічно надзвичайно важко і економічно не доцільно.

Ефективнішим способом відновлення латунних деталей є метод порошкової металургії. Він базується на об'ємному просоченні розплаву міді у зношену поверхню деталі, поміщену в спеціальну прес-форму, з подальшою механічною обробкою [10].

Реалізація даного способу передбачає об'ємне нагрівання деталі, яке є типовим для методів порошкової металургії, і змінює фізико-механічні властивості деталі в цілому.

Запобігти таким недолікам можна завдяки розробленню ефективних способів відновлення деталей спряження «втулка блоку – поршень» качаючих вузлів гідроагрегатів, до їх номінальних розмірів з забезпеченням фізико-механічних властивостей робочих поверхонь.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Наявність складного руху поршня (зворотно-поступальний рух вздовж осі циліндра, обертальний рух в втулці блоку, пов'язаний з конструктивним з'єднання поршня з п'ятою) в процесі роботи гідромашини обумовлює зміни структурних параметрів технічного стану деталей спряження, які впливають на об'ємні та механічні втрати і в цілому, на повний коефіцієнт корисної дії трансмісії [6, 8].

Особливі умови роботи деталей спряження «втулка блоку-поршень» і експлуатація об'ємних гідромашин на забруднених робочих рідинах, обумовлює гідроабразивне зношення їх робочих поверхонь, яке має більші зношення по краях у втулки та в середній частині у поршня, що підтверджується в роботах [11, 12].

Стохастичне розміщення слідів гідроабразивного зношення значно ускладнює технологічний процес відновлення деталей, особливо втулки блоку, яка виготовлена із матеріалу ЛМцСКА 58-2-2-1-1 (ТУ 48-21-356-74) і характеризується більшим зношенням ніж поршень, виготовлений зі сталі 50ХФА (ТУ 14-1-950-74), що приводить до вибраковки деталей в процесі ремонту. В зв'язку з цим, являється актуальним розроблення

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

технологічного процесу відновлення латунної втулки блоку качаючого вузла гідромашини до номінальних розмірів, що значно підвищить показник її технологічної ремонтпридатності.

Метою роботи є – забезпечення максимального використання латунних втулок блоку циліндрів качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин і підвищення їх післяремонтної довговічності, шляхом розроблення ефективного технологічного процесу ремонту втулки спряження «втулка блоку-поршень».

Постановка задачі. Поставлена мета досягається вирішенням наступних завдань: визначити найбільш ефективний спосіб відновлення, що відповідає, як технологічним так і економічним вимогам; провести кореляційний аналіз хімічного складу композиції порошку для відновлення латунної деталі методом електроконтактного напикання; обґрунтувати оптимальні значення параметрів режиму електроконтактного напикання на основі кореляційного аналізу їх впливу на фізико-механічні характеристики відновленої поверхні деталі; виконати лабораторні випробування, спрямовані на виявлення функціональних залежностей між запропонованою композицією порошку та режимами його напикання, і фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі; розробити загальний технологічний процес відновлення втулки блоку.

Викладення основного матеріалу.

Із аналізу наявних методів відновлення деталей «втулка блоку – поршень» качаючого вузла аксіально-поршневих гідромашин випливає, що існуючі ручні та механізовані способи напикання (наприклад, електроіскрове), особливо для втулки блоку, технологічно дуже складно реалізувати.

Крім того, процес відновлення ускладнюється наявністю нерівномірного зношення робочих поверхонь деталей спряження «втулка блоку – поршень» (рисунки 1).

Такий характер зношення деталей в з'єднанні, обумовлюється складним рухом поршня (зворотно – поступовий, обертовий), та наявності перекидного моменту, який виникає в результаті руху п'яти плунжера по похилій опорі.

Максимальне зношення поршня спостерігається в 2-му і 3-му його перерізах і досягає максимального значення 4...8 мкм, що пояснюється ексцентричним положенням поршня у втулці із-за наявності перекидного моменту.

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

Втулка блока зношується в містах контакту з поршнем. Максимальний знос втулки виявлено в 1-му і 4-му перерізах, який досягає 30...35 мкм.

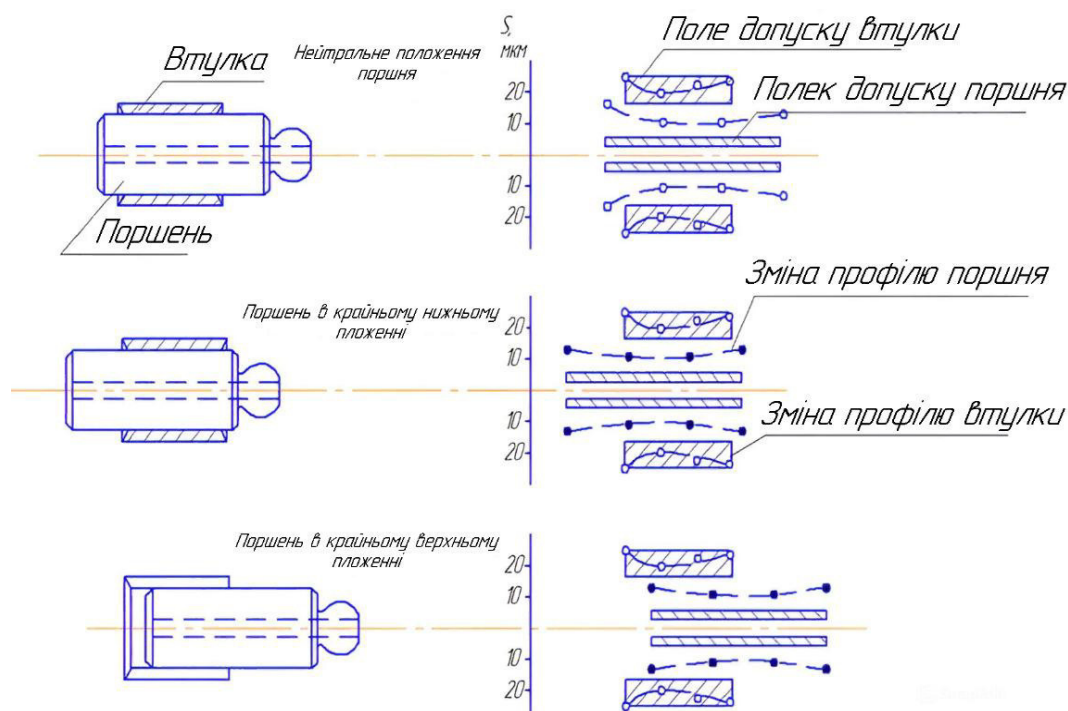


Рисунок 1

Характер зношення деталей спряження «втулка блока – поршень»

Зношення деталей спряження «втулка блоку – поршень» в процесі експлуатації обумовлює збільшення зазору в парах тертя. Середнє значення зазору досягає – 24,48 мкм, при середньоквадратичному відхиленні – 10,14 мкм, а максимальний зазор досягає – 48 мкм.

Для відновлення втулки блоку, виготовленої зі сплаву ЛМцСКА 58-2-2-1-1 (ТУ 48-21-356-74) – ливарної латуні, що включає в себе: 58% міді (Cu), 2% марганцю (Mn), 2% свинцю (Pb), 1% кремнію (Si), 1% алюмінію (Al), та залишок – цинк (Zn), на нашу думку, буде доцільно застосувати електромеханічний метод, одним із варіантів якого є електроконтактне напікання композицій порошкових матеріалів.

Застосування цього методу забезпечує можливість нанесення шару реставраційного матеріалу з відмінним зчепленням,

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

зводючи до мінімуму термічні зміни та гарантуючи відповідні фізико-механічні характеристики відновленої поверхні деталі.

Для відновлення робочої поверхні втулки запропонованим способом необхідно підібрати склад композиції порошку, який добре сумісний із основним металом деталі, забезпечує хорошу адгезію, відновлює зносостійкість та міцність, зберігає антикорозійні властивості.

В відповідності до хімічного складу матеріалу деталі і умов її роботи на першому етапі досліджень рекомендується наступний склад відновлювального порошку: Мідь (Cu) – 40-50% (основа, сумісність з латунню); Цинк (Zn) – 10-15% (для зниження температури плавлення); Нікель (Ni) – 10-15% (для зміцнення, формування боридів); Алюміній (Al) – 2-4% (для формування дрібнозернистої структури); Кремній (Si) – 1-2% (для зміцнення зерен); Марганець (Mn) – 1-2% (для поліпшення спікання); Бор (B) – 0,5-1,5 (для формування твердих фаз, збільшення зносостійкості).

Такий склад порошку гарантує добре зчеплення з вихідним матеріалом. Він також характеризується високою стійкістю до корозії та механічною міцністю і опором до стирання.

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 (таблиця 1).

Таблиця 1

Вхідні дані для кореляційного аналізу

Номер варіанту	Хімічний та відсотковий склад порошку						
	Cu (%)	Zn (%)	Ni (%)	Al (%)	Si (%)	Mn (%)	B (%)
Варіант 1 (базовий)	40	10	10	2,0	1,0	1,0	0,5
Варіант 2 (Ni ↑, Al ↑, B ↑)	45	12	12	3,0	1,5	1,5	1,0
Варіант 3 (B ↑, Ni ↑, Al ↑)	50	15	15	4,0	2,0	2,0	1,5
Варіант 4 (Al ↑, B ↓)	42	11	11	2,5	1,2	1,2	0,8
Варіант 5 (Al ↑, Mn ↑)	48	13	14	3,5	1,8	1,8	1,2

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

Для вибору оптимального складу порошкових сумішей, що використовуються для відновлення втулок поршневих з'єднань, було проведено кореляційний аналіз впливу окремих хімічних елементів на два ключові експлуатаційні показники: твердість і зносостійкість (таблиця 2).

Таблиця 2
Коефіцієнти кореляції (r) між складом порошкової суміші та властивостями поверхні

№ з/п	Хімічний елемент	Кореляція з твердістю	Кореляція із зносостійкістю
1	Cu	+0,99	-0,98
2	Zn	+0,98	-0,98
3	Ni	+0,99	-0,97
4	Al	+0,99	-0,99
5	Si	+0,99	-0,98
6	Mn	+0,99	-0,98
7	B	+0,99	-0,99

Найсильніший вплив на підвищення твердості має вміст алюмінію ($r = + 0,99$) та кремнію ($r = + 0,99$), які стабілізують дрібнозернисту структуру відновленого шару, та бору ($r = + 0,99$), який утворює тверді інтерметалідні фази – бориди нікелю (Ni_3B , Ni_2B), моноборид міді (CuB), які мають надзвичайно високу твердість ($HV > 1000$), високу термічну та хімічну стабільність і зносостійкість. Бориди рівномірно диспергуються у м'якішій матриці ($Cu-Zn-Al$) і діють як мікробар'єри, що знижують мікрозношування, на що вказує коефіцієнт кореляції B ($r = - 0,99$).

Результати кореляційного аналізу впливу хімічного складу порошку, що напікається на поверхню втулки, на фізико-механічні властивості відновленої поверхні наведено в (таблиці 3).

Таблиця 3
Показники фізико-механічних властивостей відновленої поверхні в залежності від хімічного складу порошку

Варіант	Хімічний та відсотковий склад порошку							Твердість, HV	Мікрозносостійкість ($F \cdot 10^{-12}$), мм ³ /Нм
	Cu (%)	Zn (%)	Ni (%)	Al (%)	Si (%)	Mn (%)	B (%)		
1	40	10	10	2,0	1,0	1,0	0,5	180	2,5
2	45	12	12	3,0	1,5	1,5	1,0	200	2,1

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

Продовження табл. 3

3	50	15	15	4,0	2,0	2,0	1,5	220	1,8
4	42	11	11	2,5	1,2	1,2	0,8	190	2,3
5	48	13	14	3,5	1,8	1,8	1,2	210	2,0

Аналіз результатів, наведених в (таблиці 3) показує, що найефективнішим складом композиції порошку для електроконтактного напикання можна вважати варіант № 3, який має наступний хімічний склад: Cu – 50%; Zn – 15%; Ni – 15%; Al – 4,0%; Si – 2,0%; Mn – 2,0%; В – 1,5%, і формує ідеальний баланс механічної міцності з триботехнічними характеристиками. Для даного варіанту буде максимальним показник твердості (HV 220), що забезпечує стійкість до деформації та втоми відновленої втулки. Найменша інтенсивність зношування ($1,8 \cdot 10^{-12}$ мм³/Нм), що вказує на найкращу експлуатаційну довговічність. Кореляція (Ni–HV, $r = + 0,99$), підтверджує, що Ni істотно впливає на твердість. Кореляція (В – зносостійкість, $r = - 0,99$), показує, що при збільшенні вмісту бору зменшується зношування. Варіант № 3 є найкращим з погляду комплексного підвищення твердості та зносостійкості. Його доцільно використовувати для відновлення втулок в умовах високого навантаження та інтенсивного тертя.

Для електроконтактного напикання композиції порошку, 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).

Для проведення електроконтактного напикання необхідно врахувати такі ключові параметри процесу: струм 10 – 15 кА (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 взаємозв'язків між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні наводиться на (рисунок 2).

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

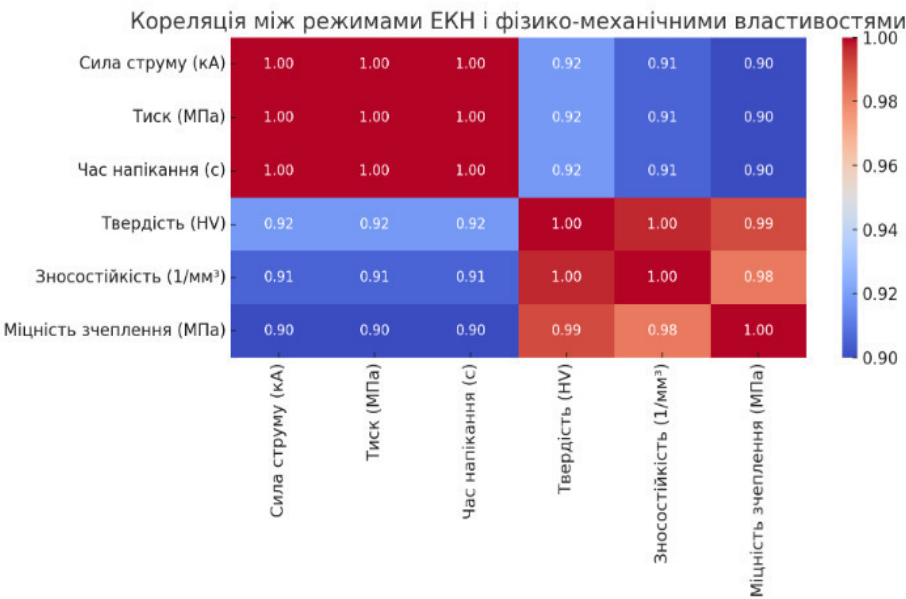


Рисунок 2
Кореляційна матриця взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напікання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі

З якісного аналізу кореляційної матриці (рисунок 2) видно, що сила струму сильно корелює з твердістю (0,99), чим більший струм тим вища температура і краще спікання. Вона також впливає на зносостійкість і міцність зчеплення. Тиск найбільше впливає на міцність зчеплення (0,99), бо забезпечує хороший контакт і металургійне зчеплення. Час напікання має позитивний вплив на всі властивості, особливо на твердість і зносостійкість. Основні параметри режиму електроконтактного напікання композиції порошку наводяться в (таблиці 4).

Таблиця 4
Оптимальні режими електроконтактного напікання втулки з мідно-нікелевого порошку з бором

Параметр	Рекомендовані значення	Обґрунтування
Сила струму	10-14 кА	Забезпечує температуру 750-850 °С для активного спікання і боридоутворення

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

Продовження табл. 4

Тиск	20-30 МПа	Оптимальний для максимального зчеплення з деталлю
Час дії струму, сек.	1 - 5 (залежно від товщини шару)	Достатній для повного формування металургійного зв'язку, без перегріву
Швидкість охолодження	Повільне, повітряне	Для уникнення мікротріщин
Фракція порошку	40-100 мкм	Забезпечує щільне укладання і якісне ущільнення
Проміжний шар	Мідно-графітна паста	Підвищує електропровідність і адгезію

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

Втулки відновлювались за наступною технологією: підготовка поверхні - очищення, знежирення; забезпечення шорсткості посадкової поверхні втулки перед напіканням; обробка тонким прошарком мідно-графітної пасту внутрішньої поверхні втулки для покращення електропровідності; укладка технологічної втулки виготовленої з порошкової композиції легованої бором; електронатктне напікання; механічна обробка - напівчистова розточка, чистова розточка, тонке хонінгування; ультразвукове дорнування.

Випробування для пари тертя «втулка блоку - поршень» проводили за типом «ролик-колодка» на машині тертя 2070 СМТ-1. Мастильний матеріал - олія гідравлічна МГЕ-46В за ТУ 38.0013472000, режим мащення - граничне тертя.

Триботехнічні випробування для пар тертя проводилися в три етапи: притирання, припрацювання та тривалі зносні випробування.

Притирання пар тертя проводилося за частоти обертання «ролика» $n = 380 \text{ хв}^{-1}$, навантаження на «колодку» $P = 0,1 \text{ МПа}$. Тривалість випробувань 40 хв. Випробування пар тертя на припрацювання проводилися за частотою обертання «ролика» $n = 380 \text{ хв}^{-1}$. При цьому, поступово збільшувалося навантаження на «колодку» P з кроком $0,1 \text{ МПа}$ і визначалося максимальне передзадирне навантаження $P_{м.п.}$, при якому починалося заїдання зразків. Після цього проводилося розвантаження пар тертя з кроком $0,1 \text{ МПа}$ і визначалося оптимальне навантаження $P_{оп}$, коли

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

коефіцієнт тертя був мінімальний f_{min} . Результати досліджуваних пар тертя при припрацюванні представлені у (таблиці 5).

Таблиця 5
Результати випробувань на припрацювання для пари тертя
«втулка блоку-поршень»

Пара тертя	Показник		
	$P_{м.п.},$ МПа	$P_{оп.},$ МПа	Коефіцієнт тертя, f_{min}
Еталонна пара: «втулка (латунь ЛМцСКА-58-2-2-1-1 - поршень (сталь 50ХФА)»	31,0	23,0	0,016
Пара: «втулка (електроконтактне напикання порошку з бором - поршень (сталь 50ХФА)»	37,8	26,9	0,013
Пара: «втулка (електроконтактне напикання порошку з бором, ультразвукове дорнування поверхні - поршень (сталь 50ХФА)»	40,5	28,5	0,011

На (рисунок 3) наводяться гістограми середніх значень максимальних передзадирних і оптимальних навантажень для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя, у яких латунна втулка відновлена електроконтактним напиканням порошку легованого бором з послідуною механічною обробкою, фінішною операцією якої є ультразвукове дорнування.

Аналіз отриманих результатів показав, що для «еталонної» пари «втулка (латунь ЛМцСКА-58-2-2-1-1) - поршень (сталь 50ХФА)» несуча здатність становить - 23 МПа, що в 1,17 рази менше в порівнянні з відновленою втулкою електроконтактним напиканням порошку легованого бором, що пояснюється утворенням надтвердих фаз - боридів (NiB, Ni₃B). Їх наявність суттєво змінює фізико-механічні характеристики відновленого шару, утворюючи дрібнодисперсні включення у мідно-нікелевій матриці, які виступають як зерна зміцнення, перешкоджаючи пластичній деформації, та сприяють стабілізації структури, обмежуючи ріст зерен при охолодженні.

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

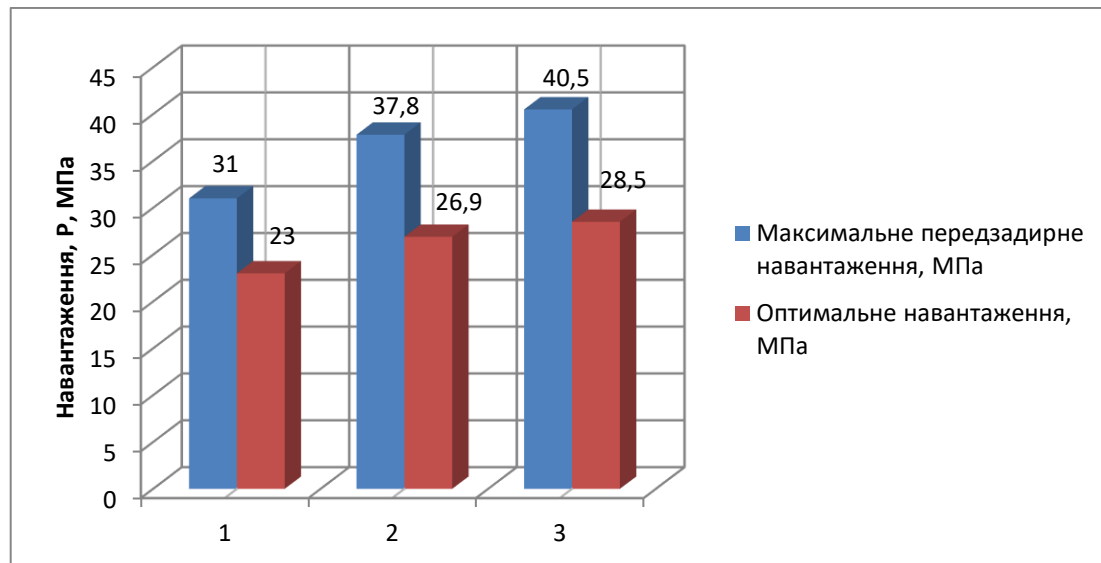


Рисунок 3

Середнє значення максимальних передзадирних і оптимальних навантажень для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя: 1 – «еталонна» пара «втулка (латунь ЛМцСКА-58-2-2-1-1) – поршень (сталь 50ХФА)»; 2 – «втулка (електроконтактне напикання порошку з бором – поршень (сталь 50ХФА)»; 3 – «втулка (електроконтактне напикання порошку з бором, ультразвукове дорнування поверхні – поршень (сталь 50ХФА)»

Несуча здатність пари – «втулка (електроконтактне напикання порошку з бором, ультразвукове дорнування поверхні – поршень (сталь 50ХФА)» в 1,24 рази більше в порівнянні з «еталонною» парою, та в 1,06 рази для відновленої втулки напиканням порошком легованого бором, що пояснюється підвищенням мікротвердості через наклеп, формуванням залишкових стискуючих напружень, що підвищує межу витривалості, та зниженням шорсткості поверхні і відповідно контактних напружень.

Значення мінімальних коефіцієнтів тертя для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя, що відповідають оптимальному навантаженню представлені на (рисунку 4).

Аналіз гістограм наведених на (рисунку 4) показав, що коефіцієнт тертя «еталонної» пари більший на 18,8 % в порівнянні з відновленою втулкою електроконтактним напиканням порошку легованого бором, який утворює дисперсний зміцнений шар з кращою гладкістю і підвищеною твердістю (через фази NiB), що знижує механічне зчеплення мікронерівностей.

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

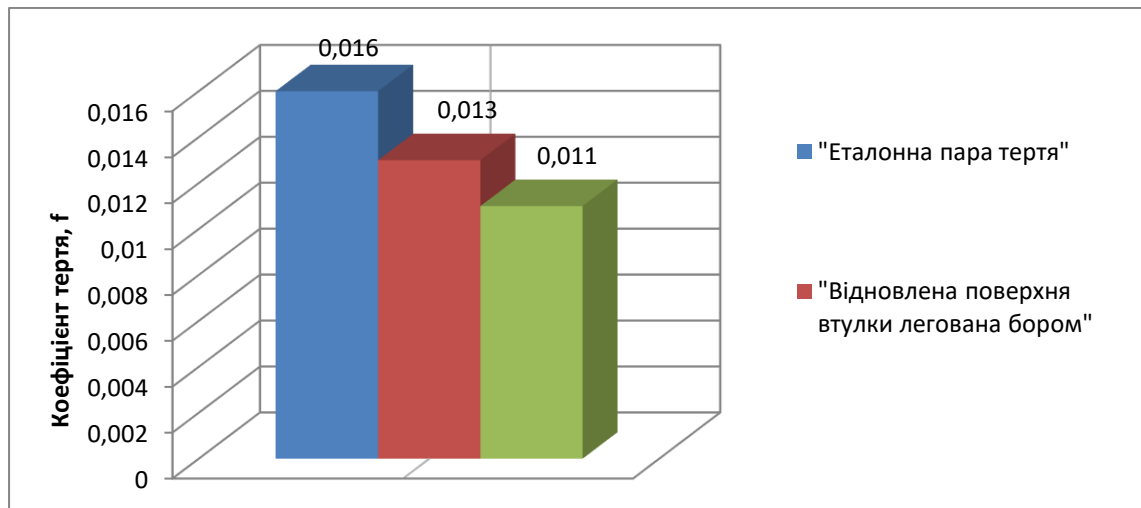


Рисунок 4

Значення мінімальних коефіцієнтів тертя для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя

Коефіцієнт тертя для пари – «втулка (електроконтактне напікання порошку з бором, ультразвукове дорнування поверхні – поршень (сталь 50ХФА)» на 31,3% менший в порівнянні з «еталонною» парою, та на 15,4% – для відновленої втулки напіканням порошком легованого бором, що пояснюється покращенням мікрогеометрії поверхні – зменшуються мікрозубці та хвилястість, створюється зміцнений тонкий шар із залишковими стискуючими напруженнями, що також зменшує реальну площу контакту при мікрорухах.

Тривалі зносні випробування пар тертя, проводилися на частоті обертання «ролика» $n = 380 \text{ хв}^{-1}$ при оптимальному навантаженні $P_{оп}$. Тривалість випробувань становила 8 годин.

Результати порівняння інтенсивності зношування для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя представлені на (рисунку 5).

Результати тривалих випробувань на зношення пари тертя «втулка блоку-поршень» (рисунк 5), показали, що при оптимальному навантаженні фактор зношування для «еталонної» пари на 34,4% більше фактора зношування для пари, де втулка відновлена з застосуванням порошку легованого бором, який формує тверді зміцнені фази (NiB), які зменшують механічне руйнування матеріалу під час тертя. Застосування

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

ультразвукового дорнування в якості фінішної операції для обробки відновленого шару втулки легованого бором, додатково створює поверхневий зміцнений шар із низькою шорсткістю та стискаючими напруженнями, що зменшує інтенсивність зношування на 46,8 % у порівнянні з «еталонною» парою тертя.

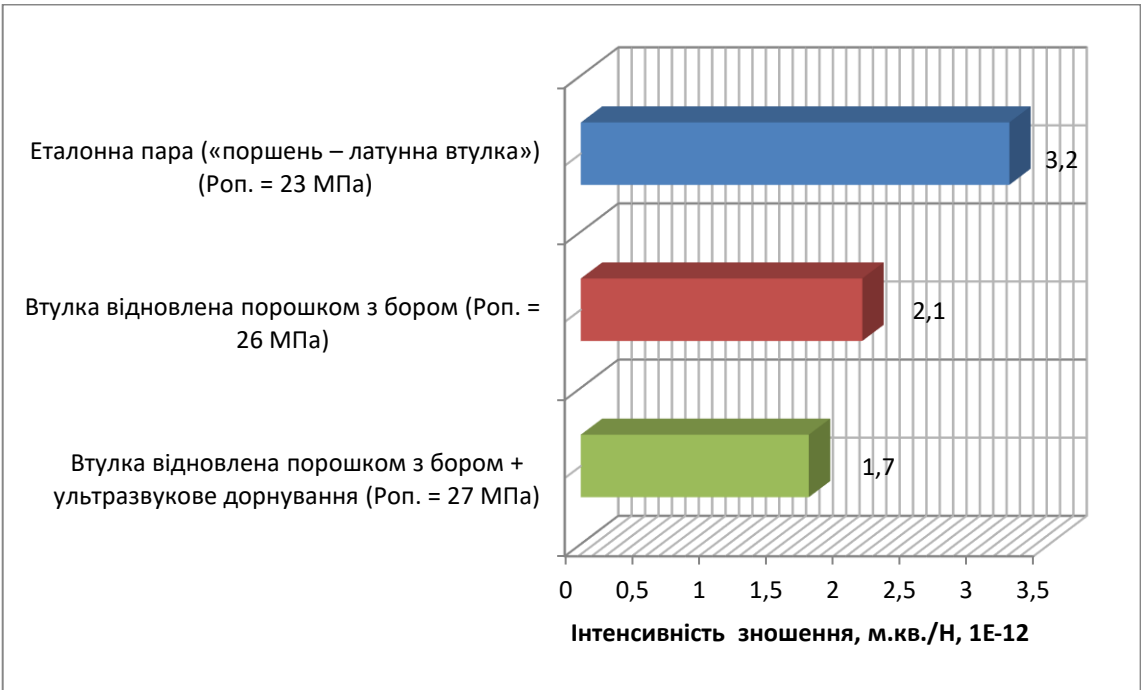


Рисунок 5

Значення інтенсивності зношування за фактором зносу для «еталонних» та «експериментальних» пар тертя

На основі обґрунтованого способу відновлення латунної втулки блоку качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини розроблено технологічний процес її відновлення. План основних операцій відновлення втулки блоку наведено в (таблиці 6).

Таблиця 6

Маршрутна карта відновлення втулки блоку			
№	Етап операції	Зміст операції	Параметри
1	Підготовка зношеної поверхні основної втулки	Очищення, знежирення, абразивне шорсткування	Ra 2,5–5 мкм, знежирення (бензин, синтетичні мийні засоби)

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

Продовження табл. 6

2	Хімічна активація	Протравлення внутрішньої поверхні, обробка поверхні мідно-графітною пастою	5% HNO ₃ або HCl, 30 с, промивання, сушка, нанесення пасти
3	Підготовка технологічної порошкової втулки	Перевірка розмірів: Øвн. = 19–20 мм, Øзовн. = 22 мм	Зазор з основною втулкою: 0,05–0,1 мм
4	Центрування втулки	Встановлення втулки в отвір основної деталі	Симетричне позиціонування, фіксація притиском
5	Електроконтактне напикання	Однотимчасне подання струму і тиску через контакти	I = 10–14 кА; U = 2,5–3,2 В; t = 2,5–3,5 с; P = 20–30 МПа
6	Охолодження	Плавне зниження температури	Охолодження до ≤200 °С (повітряне)
7	Механічна обробка	Розточування чорнове та чистове, хонінгування	Точність: Ø, допуск на круглість/конусність ≤ 0,002 мм
8	Ультразвукове дорнування	Обробка внутрішньої поверхні для зміцнення	Частота: 20–25 кГц; тиск: 50–100 Н;
9	Контроль якості	Вимірювання, аналіз шорсткості, мікротвердості	Шорсткість Ra ≤ 0,4; твердість HV 180–250

До технічних та технологічних особливостей розробленого процесу слід віднести: виготовлення технологічної втулки заданих розмірів з композиції порошку легованого бором, що застосовується для відновлення основної втулки; перед установкою технологічної втулки обробити поверхню основної втулки тонким прошарком мідно-графітної пасти для покращення електропровідності поверхні втулки; застосування ультразвукового дорнування в якості фінішної операції.

Висновки.

Зміна структурних параметрів технічного стану деталей спряження «втулка блоку – поршень» впливає на об'ємні і механічні втрати в качаючих вузлах гідромашин, що обумовлює необхідність розроблення ефективних способів їх відновлення в умовах спеціалізованих ремонтних підрозділів.

На основі аналізу характеру та виду зношення робочої поверхні латунної втулки блоку, а також максимальних його величин, рекомендується застосувати для її відновлення спосіб електроконтактного напикання технологічних втулок виготовлених з композицій порошку легованих бором, який має

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

технологічні і економічні переваги у порівнянні з альтернативними методами відновлення втулок, виготовлених з латуні.

Результати кореляційного аналізу хімічного складу композиції порошку, який напікається на зношену поверхню втулки, показали, що найефективнішим складом, який формує ідеальний баланс механічної міцності та триботехнічних характеристик, являється наступний склад: Cu – 50%; Zn – 15%; Ni – 15%; Al – 4,0%; Si – 2,0%; Mn – 2,0%; B – 1,5%.

Аналіз кореляційної матриці взаємозв'язку між параметрами процесу електроконтактного напикання та фізико-механічними властивостями відновленої поверхні деталі показав, що оптимальним режимом є наступний: сила струму – 14-15 кА, тиск – 20-30 МПа, напруга – 2,5-3,2 В; час дії струму – 1-5 сек. в залежності від товщини нарощуваного шару.

Мінімальний коефіцієнт тертя «еталонної» пари більший на 18,8 %, в порівнянні зі втулкою відновленою порошком з включенням бору, в результаті утворення дисперсного зміцненого шару з кращою гладкістю і підвищеною твердістю (через фази NiB), і на 31,3% для пари – «втулка (електроконтактне напикання порошку з бором, ультразвукове дорнування поверхні – поршень (сталь 50ХФА)», за рахунок покращення мікрорельєфу поверхні та створенням зміцненого тонкого шару із залишковими стискаючими напруженнями.

Використання ультразвукового дорнування в якості фінішної операції для обробки відновленого шару втулки легованого бором, створює поверхневий зміцнений шар із низькою шорсткістю та стискаючими напруженнями, що додатково зменшує інтенсивність зношування на 46,8 % у порівнянні з «еталонною» парю.

Розроблений технологічний процес відновлення латунної втулки блоку качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини дає можливість відновити її до номінальних розмірів, що забезпечить коефіцієнт її відновлення до 95-98 % і відповідно знизить собівартість ремонту гідроагрегатів на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

References:

- [1] Melyantsov P. T. (2024). Ensuring the reliability of axial-piston units of hydraulic transmissions in the process of their repair by

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

- constructive measures. International Scientific Periodical Journal «Modern engineering and innovative technologies», <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit.32.1>, 20–28, DOI: 10.30890/2567-5273.2024-32-00-086.
- [2] 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.
- [3] Черейский П. М. Влияние износа на работу гидропривода трансмиссии / П. М. Черейский, П. Т. Мельянцов // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. № 3. С. 63–64.
- [4] 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.
- [5] Черейский П. М. Параметры технического состояния плунжерной пары гидропривода / П. М. Черейский, П. Т. Мельянцов // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. № 2. С.46–49.
- [6] 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.
- [7] 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 perspektywę rozwoju» – Warszawa: «Diamond trading tour», 2017. S 44–49.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Мельянцов П. Т. Технологія підвищення довговічності аксіально-поршневих агрегатів об'ємного гідроприводу / П. Т. Мельянцов, О. В. Дмитренко // Zbiór artykułow naukowych. «Inzynieria i technologia. Osiagniecia naukowe, rozwoj, propozicje na rok 2015» –

GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

- Warszawa: «Diamond trading tour». 2015. S. 47-50
- [11] 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. Meliantsov, 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/swj_24-00-001. DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-001.
- [12] 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.