

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДОВБЕНКО МАРК МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 621.225.2

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОМАШИН
ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному морському університеті.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Євдокимов Вадим Дмитрович
тимчасово не працює
(м. Одеса)

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Вичужанін Володимир Вікторович
Одеський національний політехнічний університет,
завідувач кафедри «Інформаційні технології»
(м. Одеса)

кандидат технічних наук,
Андрієнко Олексій Олегович
директор ТОВ «СВІФТ СЕРВІС»,
сервісний центр компанії “ЛІБХЕРР”
(м. Одеса)

Захист дисертації відбудеться «28» березня 2019 року о 13:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д41.060.01 в Одеському національному морському університеті за адресою: вул. Мечникова, 34, м. Одеса 65029, Україна.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці ім. проф. Г.К. Сулова Одеського національного морського університету за адресою: вул. Мечникова, 34, м. Одеса 65029, Україна

Автореферат розіслано « 26 » лютого 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.060.01
кандидат технічних наук, доцент



Акімова О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасній транспортній техніці знайшли широке застосування аксіально-поршневі гідравлічні машини (АПГ). Вони використовуються в якості самостійних комплектуючих виробів і включають функції насосів і гідромоторів. Так, в авторемонтному каталозі довідника НВКФ «Гідравліка» за 2004-2005 рр. наведені 15 галузей техніки. Аксіально-поршневі гідромашини використовуються більш ніж в 500 найменуваннях мобільної техніки, включаючи суднобудування, автомобільний транспорт, залізничні машини, авіацію та інше.

Дослідження довговічності і відмов аксіально-поршневих гідромашин на засобах транспорту дозволили встановити, що АПГ є самостійним агрегатом, що використовується для забезпечення заданого тиску робочої рідини рухомого складу і обладнання, яке забезпечує транспортні та вантажно-розвантажувальні роботи. Відмови АПГ часто призводять до виведення з експлуатації всього транспортного засобу або часткової втрати його функціональних здібностей. Ремонт гідравлічних машин в основному здійснюють на спеціалізованих по їх виготовленню заводах. Це і зрозуміло, так як ремонт вимагає застосування прецизійних верстатів, якісних матеріалів, фахівців і випробувальної техніки. Крім цього відбувається постійний процес вдосконалення аксіально-поршневих машин із застосуванням нових технологій і методів, що підвищують термін їх служби. Провідна роль тут відводиться науковим дослідженням, включаючи експериментальні лабораторії.

Незважаючи, однак, на досягнутий прогрес у підвищенні ресурсу аксіально-поршневих гідромашин, цю проблему не можна визнати остаточно вирішеною, так як постійно виникають нові завдання, що вимагають свого вирішення в сучасних умовах стрімкого розвитку транспортної техніки і забезпечення її безперебійної роботи та ефективного ремонту, особливо в експлуатаційних умовах, і по можливості поза спеціалізованих заводів. Тому актуальність обраної теми дисертаційної роботи є своєчасною і вимагає свого вирішення, тим більше, в умовах стану науки, промисловості і економіки України з нагальною потребою подолання застійних явищ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконано відповідно до науково-технічних пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942 «Про затвердження Переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень и науково-технічних розробок на період до 2020 року» сформульованого на основі Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки и техніки» від 11.07.2001 № 2623-III », а також № 516 від 18.04.2006 «Про затвердження державної програми розвитку машинобудування на 2006-2011 роки», та плану проведення науково-дослідних робіт Одеського національного морського університету в рамках держбюджетних НДР: №0113U000812 «Розробка технічних та організаційних основ підвищення ефективності функціонування транспортних засобів» (розділ 1, п. 1.2); «Підвищення ефективності судноремонту шляхом розробки технологічних методів, теоретичних основ виробництва та організаційних принципів управління» (у 2008 - розділ 1, п. 1.2; розділ 2 п. 2.2; 2009 - розділ 1, п. 1.2; 2013 – п.1.1; 1.2; 1.3); №3107 «Перспективи використання наукових

розробок, конструктивних рішень нових технологій і організаційних принципів заходів для розвитку транспорту України» (розділ 1.1); №2714 «Оцінка можливостей ефективних методів підвищення довговічності СТС, методології виробництва, управління і ремонту».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення довговічності основних вузлів аксіально-поршневих гідромашин розробкою засобів, які можна застосувати в умовах експлуатації і ремонту.

Виходячи з мети, поставлені наступні завдання дисертаційного дослідження:

- визначення основних причин відмов вузлів і деталей аксіально-поршневих гідромашин і загальний вплив на їх довговічність;
- визначити епюри зносу і закономірності надходження мастила по довжині поршнів;
- розробка засобів, що підвищують термін служби циліндро-поршневої групи гідромашин;
- вивчити пошкодження контактуючих поверхонь розподільника і блоку гідроциліндрів і розробити засоби, що підвищують довговічність цієї пари;
- вивчити пошкодження сферичних опор шатунів і запропонувати методи підвищення їх ресурсу;
- вивчити причини втрати довговічності вальниць кочення для основного валу гідромашин і запропонувати методи підвищення їх довговічності;
- на основі вивчених закономірностей розвитку ушкоджень деталей і вузлів аксіально-поршневих гідромашин визначити реально здійсненні в ремонтному виробництві та в експлуатаційних умовах методи підвищення ресурсу з подальшим впровадженням.

Об'єкт дослідження - деталі й вузли аксіально-поршневих гідромашин засобів транспорту.

Предмет дослідження - методи й засоби, що підвищують термін служби аксіально-поршневих гідромашин стосовно до умов експлуатації та ремонту.

Методи дослідження.

Аналіз наукової та виробничої літератури, особливостей розвитку пошкоджень деталей і вузлів гідромашин, розробка теоретичних передумов і на їх основі проведення експериментальних досліджень з розробкою практичних рекомендацій. Створення і застосування різних установок для досліджень на зносостійкість з одночасним впливом електромагнітних полів. Використання методів оцінки трібохарактеристик попередньо зміцнених поверхонь по навантажувальній спроможності і зносостійкості, відомих методів для визначення фізико-механічних і хімічних властивостей поверхневих шарів, а також методів оцінки ефективності зміцнення знакозмінним тертям і обробкою змінним магнітним полем в виробничих умовах і на основі експериментальних результатів та їх теоретичне пояснення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше:

- удосконалено метод змазування віддалених від торця поршня зон тертя шляхом створення поздовжніх гвинтових мікроканалок на робочих поверхнях поршнів аксіально-поршневих гідромашин;

- встановлено складний характер зносу й витоків циліндро-поршневої групи через нерівномірний притиск блоку циліндрів до поверхні розподільника, з урахуванням впливу конусності, напрацювання і положення поршнів в циліндрах аксіально-поршневих гідромашин;

- розроблено методику комбінованого фрикційно-електричного зміцнення під дією реверсивного високошвидкісного тертя й електричного струму для сталевих сферичних поверхонь блоку гідроциліндрів і розподільників аксіально-поршневих гідромашин;

- розроблено методику комбінованого зміцнення електромагнітною обробкою і подальшим нанесенням мідної плівки виборчим перенесенням для сталевих розподільників, поршнів, шатунів, підшипників кочення аксіально-поршневих гідромашин;

- отримав розвиток метод електромагнітного зміцнення для робочих поверхонь поршнів аксіально-поршневих гідромашин, в якому застосовано найбільш ефективний варіант підведення електромагнітного поля;

- отримав розвиток метод фрикційно-електричного зміцнення для сталевих розподільників аксіально-поршневих гідромашин, в якому застосовано найбільш ефективна схема пропускання електричного струму через зону фрикційного контакту;

- одержано взаємозв'язок по зміні м'якості, виділенню водню і зносу деталей аксіально-поршневих гідромашин до і після обробки електромагнітним полем;

- розроблено комплексний підхід у вирішенні питань підвищення ресурсу аксіально-поршневих гідромашин із застосуванням для основних деталей методів зміцнення знакозмінних тертям, електрофізичної та електромагнітної обробки, поліпшення умов змазування нанесенням поздовжніх мікроканалів і поглиблень на робочі поверхні основних пар тертя, що розрізняються за призначенням, матеріалу, характеристикам і режимам роботи.

Практичне значення одержаних результатів.

Аналіз зусиль, що виникають при обертанні блоку циліндрів АПГ, дозволив пояснити нерівномірне зношування сферичних поверхонь розподільників в зоні перемички області високого тиску.

Поліпшено умови змазки віддалених від торця поршня зон шляхом створення поздовжніх мікроканалів, а також пари блок-розподільник нанесенням мікропоглиблень на їх сферичні поверхні, що знижують виникнення задирів і схоплювання і підвищують строк служби на 30-40%.

Спільне застосування фрикційного зміцнення і електромагнітної обробки підвищує термін служби деталей аксіально-поршневих гідромашин в 1,8-2,5 рази без істотних виробничих витрат, що підтверджується відповідними виробничими випробуваннями.

Встановлено, що ефективність фрикційного зміцнення може бути істотно підвищена за рахунок застосування комбінованого фрикційно-електричного зміцнення з пропусканням струму між зміцнювальними дисками і сталеву деталлю. Таке комбіноване зміцнення високошвидкісним знакозмінним тертям і електричним

струмом підвищує товщину білих шарів до 250-450 мікрметрів, що дозволяє навіть використовувати заключне тонке шліфування без зниження якості зміцнених поверхонь.

Розроблені рекомендації з вибору режимів напруженості електромагнітного поля, схем електромагнітної обробки і робочих параметрів зміцнення знакозмінним тертям деталей можуть бути використані як на стадії проектування, так і на етапі експлуатації аксіально-поршневих гідромашин засобів транспорту.

Основні методи підвищення довговічності деталей АПП пройшли апробацію в судноремонтній компанії «SIGRAN» LLC, про що свідчать відповідні акти, які підтверджують практичну цінність результатів.

Особистий внесок здобувача полягає в отриманні наукових результатів, в розробці методики досліджень, в плануванні і проведенні експериментів, в обробці, аналізі та інтерпретації отриманих результатів; в розробці та впровадженні нових методів зміцнення деталей гідромашин на судноремонтному підприємстві; і у формулюванні висновків, і в написанні дисертації.

Внесок дисертанта в роботі [2] полягає в обробці отриманих результатів вимірювань, в проведенні випробувань на зносостійкість розподільників зі сталі 38Х2МЮА в парі з блоком гідроциліндрів з бронзи БрО-12 гідромашини 210.25 на машині тертя на базі твердоміра ТШ-2. В роботах [3], [6], [10], [11], [13] здобувач приймав участь у постановці й проведенні експериментів, обробці даних вимірювань та формуванні висновків, здобувачеві належить створення лабораторних пристроїв та проведення експериментів по зміцненню розподільників гідромашин та експериментальних зразків. В роботі [4], враховуючи місце роботи на судноремонтному підприємстві, дисертанту належить особисте проведення випробувань з позитивними результатами складових плунжерів та плунжерів з гнучкою повздовжньою віссю на базі насосів зріджених газів НСГ.

Створення лабораторних пристроїв для визначення витоків гідравлічного масла по довжині плунжера, проведення експериментів, побудову епюр зносу та їх аналіз здобувач провів в роботах: [5], [15], [7], [12].

В роботі [8] дисертанту належить розрахунок загального притискового зусилля блока циліндрів до розподільника та розробка пристрою для зміцнення і проведення експериментів. В роботі [1] здобувачу належить створення лабораторних пристроїв, участь в проведенні експериментів, що дозволяють здійснювати вивчення впливу тертя на виділення водню з сталевих робочих поверхонь. Внесок у роботах [14], [15] є аналіз даних, порівняння результатів, випробування розподільників, блоку циліндрів, поршнів аксіально-поршневих гідромашин нетрадиційними методами: 1) із застосуванням поверхнево-активної речовини; 2) створення умов для виникнення вибіркового переносу; 3) застосування активних твердих змазок.

Здобувач приймав участь в розробці пристроїв у патентах: Патент №91900 Україна, МПК⁹С21В 1/04. Притир розподільників гідромашин; Патент №91907 Україна, МПК⁹С21В 7/00. Пристрій для зміцнення розподільників гідромашин.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях і семінарах: Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні інформаційні та Інноваційні технології на

транспорті (MINTT-2009)» (м. Херсон, 2009), на науково-методичній конференції «Сучасні проблеми суднової енергетики» (ОНМА, Одеса, 2005), на III Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин та обладнання» (м. Кіровоград, КНТУ, 2009), на II Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні наукові досягнення - 2007 » (м. Дніпропетровськ, 2007), на щорічних науково-технічних конференціях Одеського національного морського університету (2008-2012 рр.), на Міжнародній науково-технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та Океанотехніці» (м. Миколаїв, НУК ім. адм. Макарова, 2018).

Публікації. За результатами проведених досліджень автором опубліковано 16 наукових праць, з яких: 13 статей у наукових фахових виданнях України; 2 статті - у збірниках, зарубіжних та міжнародних видавництвах, які включено до міжнародних наукометричних баз; одна колективна монографія. Отримано 2 патенти України на винахід №91900 і 91907.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 194 сторінках друкованого тексту, складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 153 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 11 таблицями та 83 рисунками. Список використаних джерел містить 136 найменувань, з них 128 кирилицею та 8 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Введення виконано по встановленим вимогам до дисертацій і містить всі необхідні дані, що характеризують роботу по актуальності теми, мети, завдань, наукової новизни, практичної користі, структурі апробації результатів досліджень, публікацій та особистого внеску здобувача.

Перший розділ присвячено літературному огляду робіт в області надійності машин. Розглянуто вплив різних пошкоджень на довговічність виробів машинобудування, включаючи транспортну техніку. Зроблено аналіз літературних джерел і досягнутих результатів, які показують необхідність розвитку подальших досліджень стосовно до гідравлічних насосів і моторів, прецизійні пари і вузли яких виводяться з експлуатації в основному з причин збільшення зазорів і внаслідок цього - до великих витоків. Показано, що в 15 областях техніки, включаючи транспортну, знайшли широке застосування гідравлічні машини. Причому, значна їх частина, для яких за різними джерелами в середньому становить близько 60% регульованого і не регульованого виконання, відводиться аксіально-поршневім насосам і моторам. Як доказ в розділі наведена зведена таблиця, в якій показані основні характеристики різних типів гідронасосів і моторів різних провідних фірм. При цьому робочі вузли аксіально-поршневих гідромашин мають різну експлуатаційну довговічність. Як об'єкт для досліджень обрано аксіально-поршнева гідромашина 210.25.12.20 (за новим позначенням 410.112.00), яка була заснована Одеським заводом «Будгідравліка» з багатосерійним виробництвом. Схематично ця гідромашина зображена на рис. 1, де показані її деталі і вузли, що піддаються вивченню на предмет

розробки на науковій основі методів і засобів підвищення їх довговічності. Слід зазначити, що ця модель гідромашини та по аналогії з нею цілий конструктивний ряд знайшла широке застосування в автодорожній, залізничній, сільськогосподарській, авіаційній і в інших виробках техніці. Робиться висновок про актуальність проблеми розробки науково обґрунтованих методів і засобів підвищення експлуатаційної довговічності гідромашин, підвищення зносостійкості та ресурсу їх деталей та вузлів у технологіях ремонту.

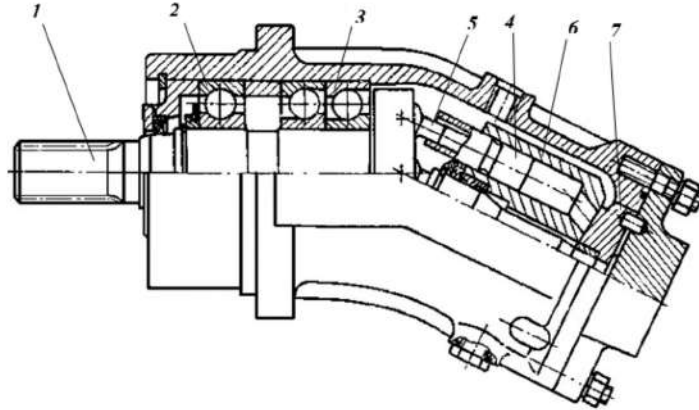


Рис. 1 Аксіально-поршнева гідромашина та її основні вузли: 1 - вал; 2, 3 - підшипники; 4 - поршень; 5 - шатун; 6 - блок циліндрів; 7 - розподільник;

Другий розділ присвячений дослідженням зносу і витоків в циліндро-поршневих парах аксіально-поршневих гідромашин, що містить чотири підрозділи. У першому підрозділі розглянуті епюри зносу циліндро-поршневих пар аксіально-поршневих гідромашин. У другому підрозділі визначаються витоків в прецизійних плунжерних парах і розглянуті деякі реальні шляхи їх зниження. Третій підрозділ присвячений питанням підвищення експлуатаційної довговічності плунжерних пар з урахуванням можливостей ремонту. У четвертому підрозділі представлені результати досліджень, спрямовані на зниження зносу і витоків в прецизійних парах шляхом використання вставок і конструктивних змін.

Вимірювання зносу поршнів і отворів в блоках після 1500 годин роботи гідромашини показали нерівномірність їх зносу по довжині отвору. Епюри зносу представлені на рис. 2.

Вони дозволили визначити необхідні для розрахунків коефіцієнти конусності, β_1 ; β_2 в залежності від зношеності пари і положення поршня в циліндрі. З табл. 1 видно, що ці коефіцієнти не є постійними, що відображається на витоків, величини яких визначали за відомими формулами для різних зон.

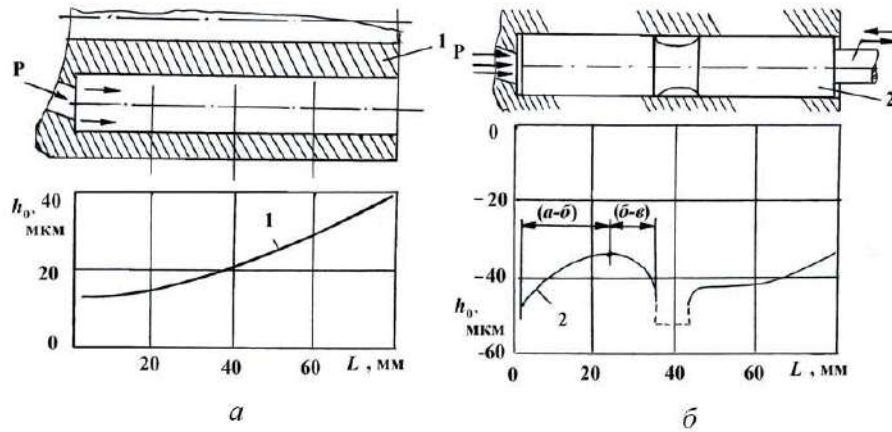


Рис. 2. Епюри зношення поршня й циліндра після 1500 год роботи (16 МПа, масло АМГ-10, 2,1 м/с): а – зношення отвору в блоці (крива 1); б – зношення поршня (крива 2); 1 – блок циліндрів, БрО-12; 2 – поршень 38Х2МЮА; (а-б) і (б-в) – зони на епюрі зношення поршня.

Розрахунок тиску і витоків по довжині поршня у втулці було проведено за відомими формулами з умовним кільцевим зазором:

$$Q = \frac{\pi d_0 h_0^3 \Delta p}{12 \nu \rho \ell} \frac{2(1+k)^2}{2+k} \pm \frac{\pi d_0 h_0 v_n (1+k)}{2+k},$$

де $\pi d_0 = W$ – ширина щілини, м;

h_0 – висота зазору при концентричному розташуванні плунжера в отворі, м;

ℓ – довжина щілини у напрямку витоків, м;

v_n – швидкість плунжера, м/с;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ – щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Δp – перепад тиску від входу до виходу з щілини на даній ділянці, Па;

k – коефіцієнт конусності.

Таблиця 1

Вплив зношеності пари і положення плунжера в циліндрі на коефіцієнти конусності, β_1 і β_2

№	Зони на поршні	k_1, k_2, β_1 и β_2 для положень L , мм			
		60	45	30	15
1	k_1 для зони (а-б)	-0,18	-0,13	-0,10	-0,04
2	k_2 для зони (б-в)	+0,10	+0,13	+0,18	+0,22
3	$\beta_1 = \frac{(1+k_1)^2}{(2+k_1)}$ для зони (а-б)	0,37	0,40	0,43	0,47
4	$\beta_2 = \frac{(1+k_2)^2}{(2+k_2)}$ для зони (б-в)	0,57	0,60	0,64	0,67

При цьому встановлено, що на величину витоків істотно впливає до 60% фрикційна складова, яка залежить від напрямку руху, епюр зносу контртіл і може збільшуватися або знижуватися по зонах вимірювання. Так, на рис. 3 показані результати визначення витоків з використанням спеціального сконструйованого пристосування. Як видно, найбільший знос (крива 3) має місце в зонах віддалених від торця плунжера, де виточки мінімальні (криві 1, 2).

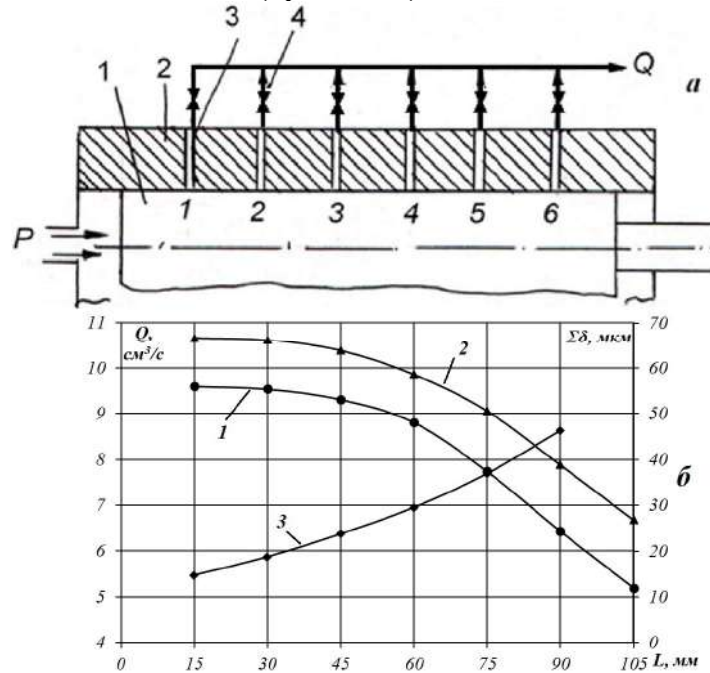


Рис. 3. Пристрій (а) і результат (б) визначення витоків і сумарного зношення по всій довжині плунжера L (масло АМГ-10; 80°C ; 16 МПа; пара сталь 38Х2МЮА-бронза БрО-12): а – пристрій для визначення витоків по зонах 1-6; б – результати експериментів; Криві: 1 – виточки в статичі; зазор – 10 μm ; 2 – виточки в динаміці; 200 год.; 2,1 м/с; амплітуда чи хід плунжера – 5 мм; 3 – сумарне зношення пари плунжер-втулка по всій довжині L

У цих же зонах інтенсифікуються процеси захоплення і задирки, що призводять до заклинювання поршнів в експлуатаційних умовах рис. 4.

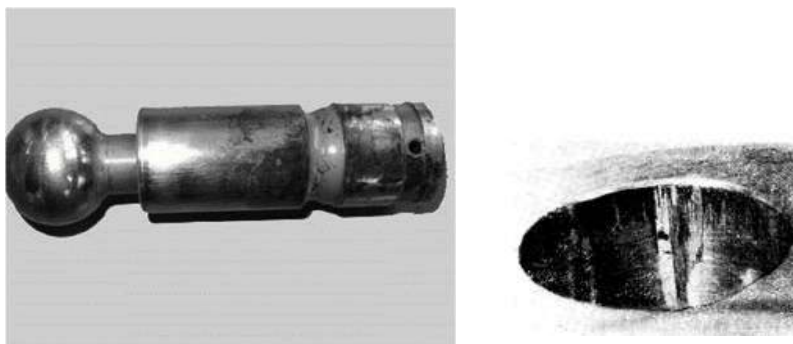


Рис. 4. Зони задирок на поршнях і в гідроциліндрах аксіально-поршневої гідромашини 210.25

Враховуючи викладене, було прийнято для дослідження декілька варіантів. Це оснащення поршня спеціальними кільцями з твердого змащення і застосування не поперечних канавок, а поздовжніх, що пропонувалося вперше. На рис. 5 наведені експериментальні дані, що показують вплив активної вставки з твердого змащення на знос пари по зонах. Крива 2 показує багаторазове зменшення зносу пари в зонах «голодування» рідкого мастила завдяки наявності твердого змащення в порівнянні з кривою 1, що відповідає роботі цієї ж пари, але без твердого змащення.

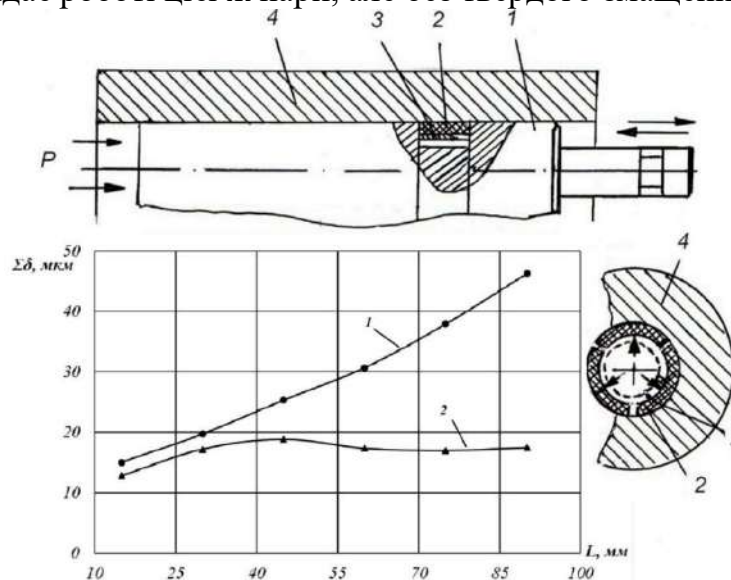


Рис. 5. Вплив вставки з твердої змазки на зношення пари по зонах: 1 – плунжер; 2 – кільце (сегменти) з твердої змазки; 3 – плоска розтискна пружина; 4 – втулка з бронзи. Криві: 1 – сумарне зношення без рухомої вставки; 2 – сумарне зношення по довжині плунжера за 200 год. роботи пари плунжер-втулка зі вставкою.

Аналізуючи витіки в циліндро-поршневій парі по її довжині було запропоновано робити відведення невеликого обсягу масла із зони підвищеного його тиску і витоків і по мікроканавкам направляти його до протилежних ділянок поршня. На рис. 6(а) показані такі поздовжні канавки, а на рис. 6(б) досягнутий результат по зниженню зносу робочих поверхонь.

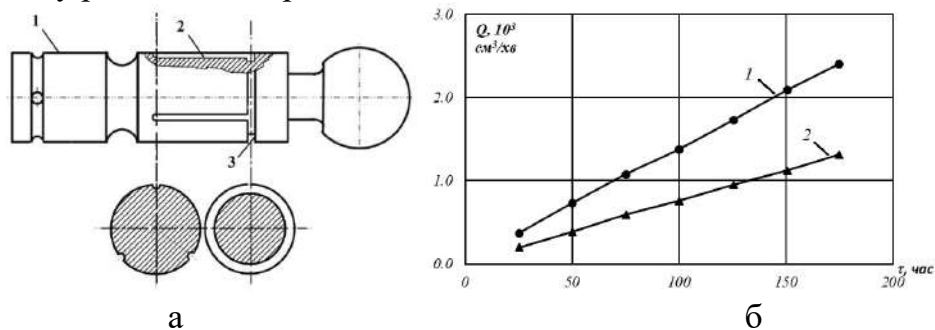


Рис. 6. а) Принципова конструкція поршня з поздовжніми канавками: 1 – поршень; 2 – канавки; 3 – кільцева проточка; б) вплив канавок за рис. 6(а) і тривалості роботи пари на сумарні витіки (тиск 16 МПа; температура забрудненого масла для підвищеного зносу пари 80° С). Криві: 1 – поршень без канавок; 2 – поршень з канавками.

Слід зазначити, що виготовлення таких мікроканалок на поршнях легко здійснити в невеликих ремонтних майстернях і навіть на борту судна. Таким чином, за результатами досліджень показаний складний характер епюр зносу цих пар і встановлено вплив їх конусності, часу роботи на витоків в залежності від перетинів по довжині поршня або його положення в циліндрі. Проведено дослідження зносу і витоків циліндропоршневих пар аксіально-поршневих гідромашин. У зонах, віддалених від торця поршня спостерігаються задираки і схоплювання, що свідчить про недостатнє змащення робочих поверхонь. Теоретично і експериментально встановлено, що шляхом створення невеликих поздовжніх і кільцевих каналок на поршні виникає можливість поліпшити умови змащування, і тим самим, підняти зносостійкість циліндропоршневих пар. Показано, що замість каналок для подачі рідкого мастила можуть бути застосовані рухливі вставки з твердого змащення, які за рахунок свого комбінованого складу забезпечують високу довговічність циліндропоршневих пар навіть при умовах вкрай обмеженого надходження рідкого мастила в важко навантажених зонах тертя. Встановлено, що невелике деформування осі жорсткого сталевго плунжера за рахунок термічних напруг та інших причин призводить до заклинювання пари при малих зазорах і навіть до обривів хвостовиків, що особливо спостерігається в прецизійних парах насосів зріджених газів. Шляхом застосування складових, а не цілісних плунжерів заклинювання через викривлення осі повністю ліквідується.

Третій розділ присвячений проблемі підвищення довговічності пари блок-розподільник аксіально-поршневих гідромашин. Він складається з чотирьох підрозділів, в яких наведено аналіз роботи пари блок-розподільник, розглянута можливість підвищення довговічності розподільників гідромашин знакозмінних фрикційним зміцненням, а також, як варіант нової технології, - знакозмінним шліфуванням, що зміцнює абразивними кругами натомість фрикційних дисків (третій підрозділ). У четвертому підрозділі приділено увагу питанню підвищення довговічності розподільників і блоку циліндрів шляхом нанесення спеціальних мікроканалок на їх робочі поверхні.

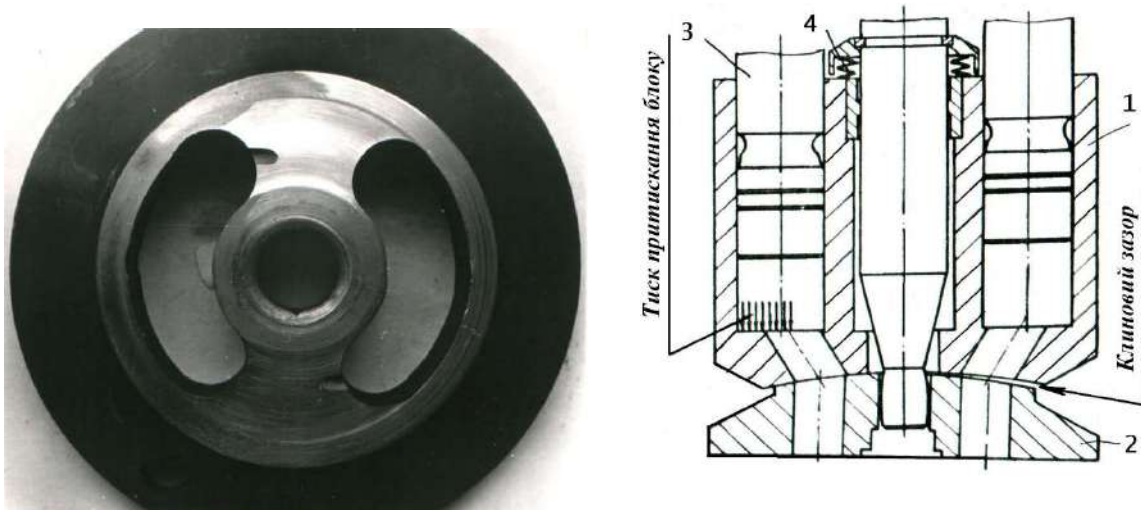


Рис. 7. Знос сфери розподільника в зоні високого тиску

Аналіз відмов при роботі пари блок циліндрів-розподільник аксіально-поршневих гідромашин становить 45-50% від відмов всіх складових системи і залежить не тільки від умов експлуатації, але й від використання гідромашин в режимі насоса або гідромотора. При цьому через нерівномірний притиск блоку циліндрів до поверхні розподільника відбувається не тільки віджимання блоку в області зливу, а й нерівномірний знос поверхні розподільника, як показано на рис. 7.

Були розраховані зусилля притиску блоку до розподільника, які в залежності від його положення при обертанні приймають зусилля від $11,5p$ до $147p$, де p - тиск в МПа. При робочому тиску 16-20 МПа масла в системі докладене зусилля може досягати миттєвих значень близько 4000 Н. Такі умови роботи призводять до зносу пари, незважаючи на виготовлення розподільника зі сталі 38Х2МЮА із застосуванням термічної обробки і азотування, а блоку циліндрів з високо олов'янистої бронзи БрО-12. Для підвищення довговічності або зносостійкості розподільника були вивчені можливості фрикційного і абразивної зміцнювальної обробки з проведенням відповідних досліджень безпосередньо на заводських деталях.

Зміцнення на високих швидкостях здійснювалося на кількох варіантах установок, схеми деяких, показані на рис. 8. Для отримання високої твердості робочої сферичної поверхні розподільника порядку $12 \cdot 10^3$ МПа було досить 20-40 секунд машинного часу (див. рис. 9) з отриманням білого шару глибиною до 120 мкм. Зміною режимів з використанням оливо, що містять вуглець, можна значно до 2-3 разів збільшити цю товщину.

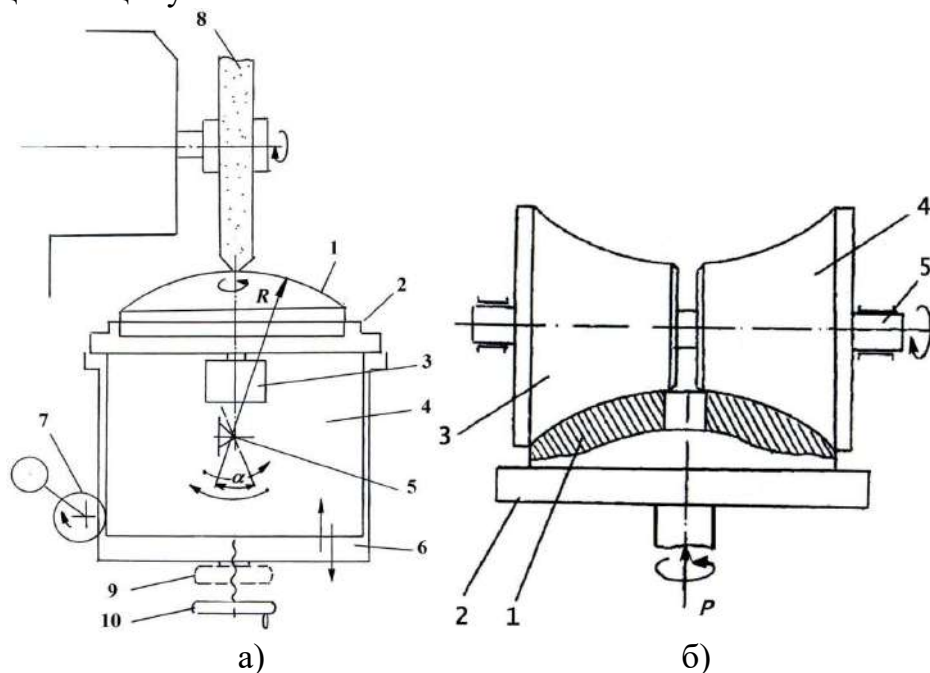


Рис. 8. а) Схематичний пристрій зміцнювального пристосування: 1 – розподільник; 2 – патрон; 3 – мотор-редуктор для обертання патрона з розподільником; 4 – плато; 5 – вісь хитання плато; 6 – супорт; 7 – механізм хитання плато навколо осі 5; 8 – шліфувальний круг; 9 – динамометр; 10 – маховик супорта; б) Пристрій для зміцнення розподільників: 1 – розподільник; 2 – шайба верстата; 3, 4 – профільні зміцнювальні диски; 5 – вісь

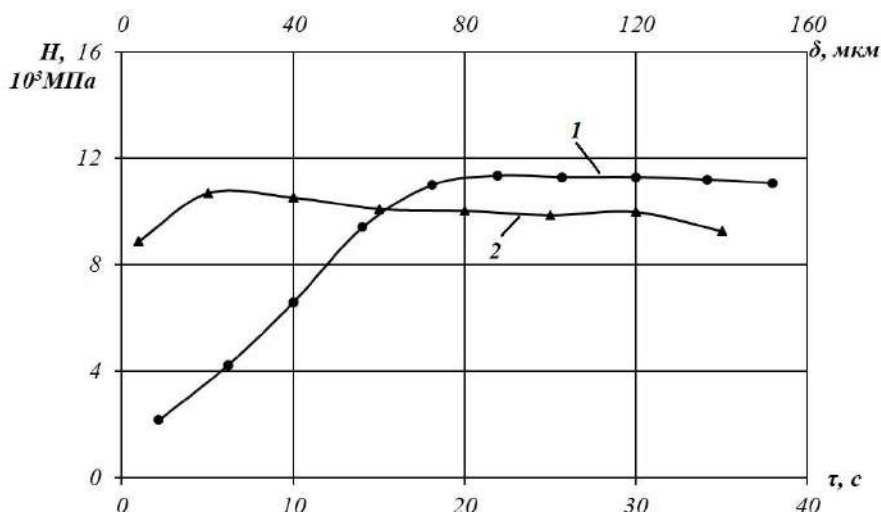


Рис. 9. Вплив фрикційного зміцнення на мікротвердість (80 м/с; масло АМГ-10; навантаження 200 Н; сталь 38Х2МЮА): 1 – залежно від часу впливу; 2 – зміцнення по глибині від поверхні δ при $\tau = 30$ секунд

Встановлено, що крім твердості таке зміцнення призводить до зростання всіх триботехнічних властивостей не тільки поверхні розподільника, але й блоку циліндрів, що з нею контактує. Аналогічні закономірності, але тільки в дещо меншій мірі були встановлені і при використанні зміцнювального шліфування. Однак при обов'язковій умові застосувань кілька затупленого абразивного круга. На рис. 10 показано вплив попереднього затуплення абразивних зерен круга на зміцнювальний ефект.

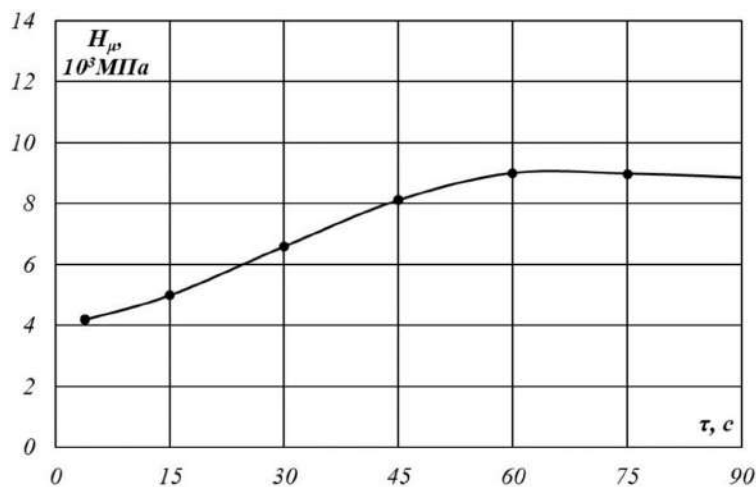


Рис. 10. Вплив часу попереднього затуплення круга на зміцнення поверхні сталі 38Х2МЮА (шліфувальний круг 24А25СМ6К; швидкість 35 м/с; час обробки – 5 с; глибина врізання 0,08 мм; охолодження індустриальною оливою)

Крім зміцнення тертям або шліфуванням були проведені дослідження триботехнічних властивостей пари блок-розподільник шляхом нанесення на їх поверхні мікроканалов, що перевірялося на заводських гідромашинах 210.25 на

спеціально виготовленому стенді з рекуперацією енергії при тиску масла АМГ-10 рівним 16 МПа. Конструкція і вигляд цього стенду викладені в дисертації. Узагальнення даних таких випробувань наведені на рис. 11.

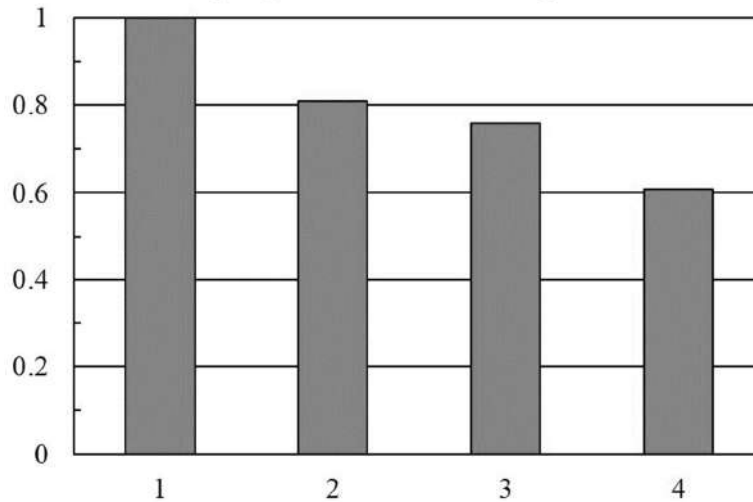


Рис. 11. Вплив канавок на сферичних поверхнях блоку циліндрів і розподільника на відносне зношення при випробуванні гідромашини 210.25 (масло АМГ-10; 16 МПа; 2000 об/хв). 1 – зношення заводської пари, прийняте за одиницю; 2 – заглиблення нанесені тільки на розподільнику; 3 – заглиблення тільки на блоці; 4 – заглиблення на блоці й розподільнику

За результатами досліджень, наведених в третьому розділі були зроблені висновки. Аналіз зусиль, що виникають при обертанні блоку гідроциліндрів аксіально-поршневих гідромашин, показує їх нерівномірність в залежності від проходження отворів циліндрів над вікнами розподільників. Нерівномірність тиску масла викликає віджимання блоку від розподільника з боку вікна зливу з утворенням клину. В області нагнітання знос розподільника найбільший, що призводить до його підвищеного зносу. Зменшити знос розподільника і блоку циліндрів можна застосуванням високошвидкісного фрикційного знакозмінного методу зміцнення, а також шляхом нанесення поглиблень або канавок на контактуючі поверхні. Поставлено перспективне завдання розробки і використання інших технологій для підвищення зносостійкості контактуючих поверхонь розподільника і блоку гідроциліндрів аксіально-поршневих гідромашин.

У четвертому розділі розглянуто можливості підвищення довговічності деталей аксіально-поршневих гідромашин електрофізичних методом. Вона складається з чотирьох підрозділів. У першому підрозділі наведені результати проведених досліджень, спрямованих на підвищення довговічності сферичних опор шатунів і поршнів гідромашин електромагнітної обробкою, а в другому - використання цього методу для зміцнення розподільників, в третьому - підшипників кочення, що входять до складу конструкцій аксіально-поршневих гідромашин. У четвертому підрозділі викладені результати досліджень з оцінки деяких механічних властивостей робочих поверхонь під впливом електромагнітної обробки і показано взаємозв'язок довговічності деталей гідромашин з процесом виділення водню з робочих поверхонь.

В аксіально-поршневих гідромашинах шатуни поршнів грають виключно важливу роль, так як є ланками, які здійснюють передачу силового навантаження між шайбою з валом гідромашини та поршнями блоку циліндрів. Вони працюють в складних умовах навантаження, особливо їх кульові опори. На частку шатунів припадає близько 20% відмов у гідромашинах, що працюють в режимі насосів. І близько 30% відмов при експлуатації гідромашин як гидромоторов. Як правило, поршні і шатуни є нероз'ємні з'єднання. Тому вивчення їх дефектоутворення з метою підвищення довговічності утруднено. Мабуть з цієї причини досліджень в цій галузі вкрай мало.

Були досліджені можливості електромагнітного поля для підвищення терміну служби робочих поверхонь шатунів. Для цього розроблено та застосовано декілька схем пристосувань, показаних на рис. 12. Внаслідок експериментів було встановлено, що схеми зміцнення володіють різною ефективністю, що видно по рис. 13. Так застосування схеми на рис. 12(в) дає найкращий результат на рис. 14 і збільшує довговічність близько двох разів.

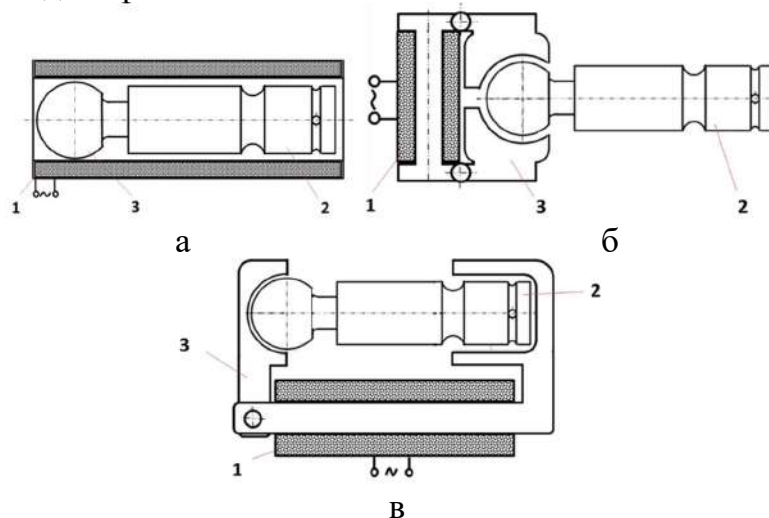


Рис. 12. Різноманітні схеми магнітної обробки поршнів в зборі: а - схема обробки сфери шатуна; б - схема обробки сфери шатуна; в - схема обробки сфер шатуна і робочої частини поршня.

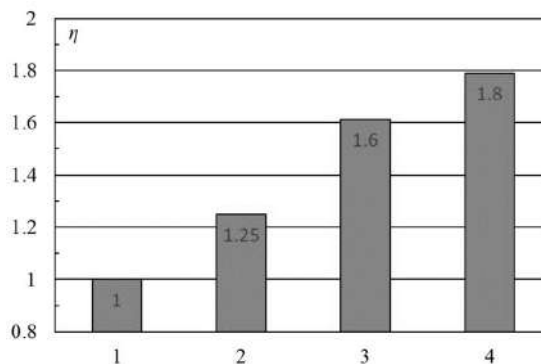


Рис. 13. – Вплив електромагнітної обробки на відносну довговічність сфери шатуна:

1 - за одиницю прийнята зносостійкість заводський сфери шатуна без магнітної обробки; 2 - зміцненого за схемою рис. 12(а); 3 - зміцненого за схемою рис. 12(б); 4 - зміцненого за схемою рис. 12(в).

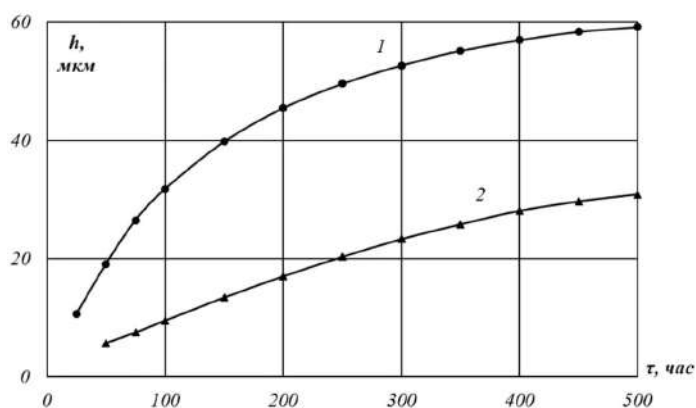


Рис. 14 – Знос сфери шатуна: 1 - опора виготовлена за заводською технологією; 2 - опора додатково зміцнена магнітної обробкою по рис. 12(в) ($2 \cdot 10^5$ А/м; 10 хвилин).

Аналіз показав, що на частку підшипників кочення аксіально-поршневих гідромашин припадає близько 10% відмов і в основному через зниження їх довговічності або втомної контактної міцності, зносу поверхонь. Якщо ж в маслі присутні абразив, то відмови вище через абразивний знос, а не від зниження контактної довговічності. Для проведення досліджень були сконструйовані пристосування, які дозволили зміцнювати підшипники безпосередньо в динаміці деформування з замкнутими магнітними полями. На рис. 15 наведені результати досліджень щодо впливу обробки магнітним полем на знос кульок. По кривим 2, 3 видно ефект зміцнення навіть при випробуваннях з ударним навантаженням. Застосування змінного поля дає великий позитивний ефект, ніж постійне. Аналогічні результати були отримані при визначенні втомної міцності елементів підшипників валу АПГ.

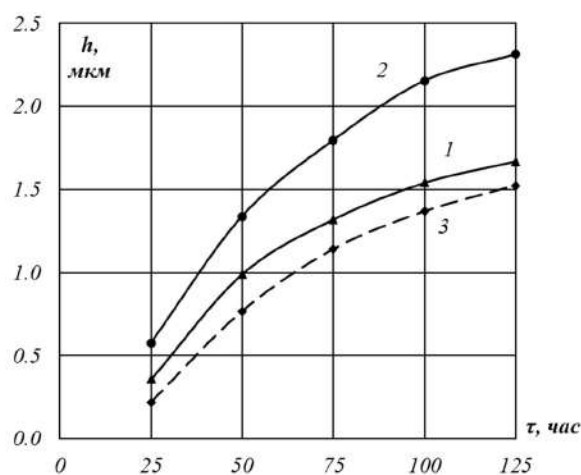


Рис. 15. Вплив обробки магнітним полем на зношення кульок ШХ15 у маслі АМГ-10: 1 – без обробки магнітним полем при спокійному навантаженні; 2 – зношення при ударному навантаженні без обробки магнітним полем; 3 – зношення при ударному навантаженні після обробки магнітним полем

Отримані ефекти були пояснені на основі явища водневого зношування при експериментальному визначенні обсягу водню, який виділяється в процесі роботи деталей і після зняття магнітного поля із залученням різних методів досліджень. Узагальнюючі результати, отримані на реальних деталях гідромашин, а також на лабораторних зразках, приведені в табл. 4.1 (див. стор. 125). В результаті показано, що підвищення довговічності деталей аксіально-поршневих гідромашин може бути здійснено шляхом використання електрофізичного методу зміцнення - електромагнітної обробкою. Встановлено, що довговічність сферичних опор шатунів і поршнів гідромашин може бути збільшена до декількох разів залежно від обраної схеми електромагнітного впливу. Зміцнення магнітної обробкою сталевих розподільників гідромашин істотно збільшує зносостійкість їх сферичних поверхонь і навантажувальну здатність в парі з блоком гідроциліндрів. Комбінована обробка розподільників шляхом магнітного зміцнення з нанесенням мідної плівки виборчим перенесенням з нівелюванням впливу водню здатна в кілька разів підвищити їх довговічність. Встановлено, що пропускання електромагнітного поля в динамічних умовах через підшипники кочення підвищує їх зносостійкість і втомну міцність до декількох разів. У відносних одиницях представлені підсумкові дані, що показують взаємозв'язок маятникової твердості, виділення водню і довговічності для всіх випробуваних деталей аксіально-поршневих гідромашин. Коефіцієнт поліпшення зносостійкості лежить в межах 1,2-2,5 рази через 30 годин після припинення магнітного впливу і від 1,5 до 2,8 разів після 100 годин. Особливо високий ефект - до 8 разів встановлений для підшипників кочення із застосуванням комбінованої зміцнювальної обробки.

П'ятий розділ присвячений можливостям використання комбінованого фрикційно-електричного методу зміцнення для підвищення довговічності деталей гідромашин. Він складається з двох підрозділів. У першому показано вплив фрикційного зміцнення і способу пропускання електричного струму на негативний ефект реверсивного тертя. У другому підрозділі розглянуто вплив температурного чинника від пропускання електричного струму на утворення білих шарів. Позитивні результати по зміцненню деталей аксіально-поршневих машин із застосуванням високошвидкісного фрикційного методу зміцнення, включаючи генерування знакозмінних деформацій, здавалося б, виключали подальше їх вдосконалення через використання багатьох резервів. Однак наявність експериментальних установок, певного досвіду і аналіз літератури дозволили зробити висновок про можливе подальше вдосконалення методу фрикційного зміцнення шляхом створення фактично нового методу фрикційно-електричного з метою отримання більш товстих білих шарів до 450 мкм. Перш за все, вирішувалося питання про спосіб пропускання електричного струму через деталь і фрикційні сталеві диски, а також про вплив одного тільки електричного струму без деформування на зміцнювальний ефект. Були розглянуті різні варіанти пропускання електричного струму через фрикційні диски, які показані на рис. 16.

Варіант підведення струму по рис. 16(в) виявився найбільш ефективним за створенням білих шарів, їх товщині і твердості. Отримані експериментальні дані представлені в табл. 2, де зношення незміцнених зразків, випробуваних при

односторонньому терті, прийнято за 100%. Схема зміцнення впливає на зношення зразків після реверсивного тертя, зменшуючи його в 3,0; 6,5 і 15 разів відповідно для схем рис. 16 (а, б, в). Менший ефект був отриманий при порівнянні зношень зразків після одностороннього тертя відносини (1,8; 3,3 і 3,5).

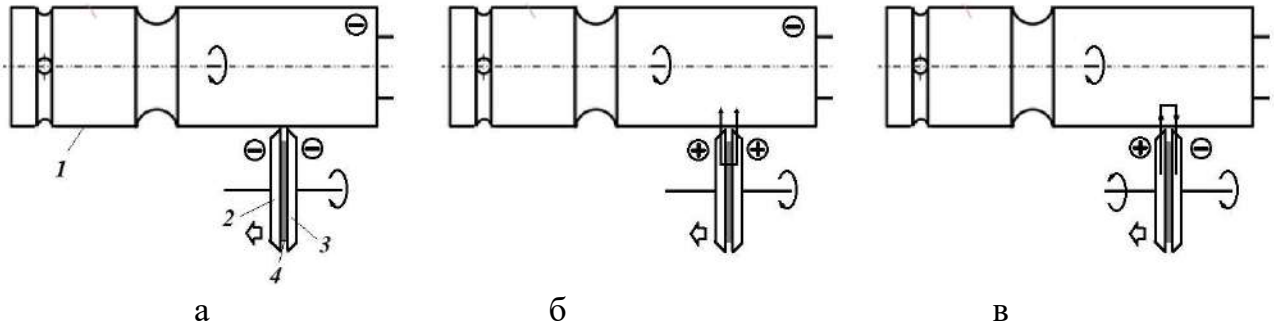


Рис. 16. Схеми комбінованих методів зміцнення: а - фрикційними дисками без пропускання струму; б - фрикційними дисками з пропусканням струму безпосередньо від дисків у заземлену деталь; в - фрикційними дисками з пропусканням струму в проміжку між ними через ізольовану деталь; 1 - деталь; 2, 3 - фрикційні сталеві диски; 4 - ізолятор; швидкість 70 м / с; тиск 600 Н; час зміцнення – 15 с; струм постійний 5В; 50А.

Таблиця 2

Вплив способів зміцнення на відношення зношень зразків Q_p/Q_o і зниження зношення при реверсивному (n_p) та односторонньому (n_o) терті в порівнянні із зразками зі сталі 38Х2МЮА

	Без зміцнення	Випробування за схемами		
		рис. 16 а	рис. 16 б	рис.16 в
Q_p/Q_o	2,40	1,45	1,25	0,90
n_p	-	3,0	6,5	15
n_o	-	1,8	3,3	3,5

Розділ шостий присвячений практичним використанням результатів досліджень, який складається з двох підрозділів. У першому підрозділі розглянуті перспективи практичного використання комбінованого фрикційно-електричного методу зміцнення для підвищення довговічності аксіально-поршневих гідромашин і проведені серії експериментів. Матеріал розподільників і блоку циліндрів був різний: заводський з азотованої сталі 38Х2МЮА, а також загартованої сталі 40Х з комбінованим зміцненням. Результати проведених експериментів наведені в таб. 3. Порівняльний аналіз нетрадиційних шляхів підвищення експлуатаційних характеристик аксіально-поршневих гідромашин з урахуванням можливостей ремонту наводиться у другому підрозділі. Встановлено, що найбільш простими в застосуванні методами, що підвищують ефективність роботи вузлів тертя аксіально-поршневих гідромашин, є такі як: використання поверхнево-активних домішок до

гідравлічного масла; створення умов прояву вибіркового перенесення з утворенням на сталевих деталях тонкої плівки міді; застосування рухливих вставок з активних твердих матеріалів, що змащують поверхню.

Таблиця 3

Вплив виду обробки і матеріалів сферичних поверхонь блока циліндрів і розподільника гідромашини 210.25 на їх зношення

№№ п/п	Пара тертя	Знос блоку циліндрів, мкм	Знос розпо- дільника, мкм
1	Заводська: блок циліндрів з бронзи БрО12; розподільник з азотованої сталі 38Х2МЮА	8	5
2	Блок циліндрів з бронзи БрО12; розподільник із сталі 40Х гартованої і зміцненої комбінованою обробкою з наступним тонким шліфуванням	4	3
3	Блок циліндрів сталевий із гартованої сталі 40Х із зміцненням комбінованим методом і наступним тонким шліфуванням, розподільник сталевий із сталі 40Х, загартований і зміцнений	5	3
4	Блок циліндрів з бронзи БрО12, розподільник із сталі 40Х, зміцнений комбінованим методом	3	2
5	Блок циліндрів із сталі 40Х після гартування і зміцнення розподільник з бронзи БрО12	2	3

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дисертаційного дослідження одержані нові теоретичні узагальнення і практичні результати, що дозволяють вирішувати наукові проблеми, пов'язані з удосконаленням методів і засобів підвищення зносостійкості і ресурсу деталей, вузлів, агрегатів засобів транспорту в технологіях ремонту, на стадіях проектування, виробництва і експлуатації. Головні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Об'єктом досліджень обрані аксіально-поршневі гідромашини, які широко застосовуються в транспортній техніці. Їх надійність найчастіше визначає не тільки функціональність засобів транспорту, а й їх безаварійність і безпеку. Незважаючи на досконалість існуючих конструкцій АПГ, існують питання, які потребують вирішення з метою підвищення їх терміну служби, що зумовило напрям досліджень.

2. В результаті проведених досліджень нерівномірного зносу і витоків циліндро-поршневих пар і сферичних поверхонь блоку циліндрів АПГ, для підвищення терміну їх служби вперше запропоновано використання мікроканалок і мікропоглиблень порядку 100-400 мкм, виконаних на робочій поверхні, що зменшує знос на 30-40%.

3. Зменшити знос розподільника і блоку циліндрів на 30% можна застосуванням високошвидкісного фрикційного знакозмінного методу зміцнення за допомогою запропонованого в дисертації спеціального пристрою, що утворює суцільні білі шари товщиною до 90-120 мкм.

4. Отримав розвиток метод електромагнітного зміцнення, що дозволив в 1,8-2,5 разів підвищити довговічність сферичних опор шатунів, циліндричних поверхонь поршнів, сталевих розподільників і підшипників кочення АПП залежно від обраної схеми електромагнітної дії, напруженості поля, його змінності, тривалості, часу витримки після припинення дії, що може бути використано на виробництві. Вперше запропоновано комбінована обробка розподільників шляхом магнітного зміцнення з нанесенням мідної плівки виборчим перенесенням з нівелюванням впливу водню. Встановлено, що пропускання електромагнітного поля в динамічних умовах через підшипники кочення підвищує їх зносостійкість і втомну міцність до декількох разів.

5. Для підвищення довговічності сферичних поверхонь сталевих розподільників, блоку циліндрів і поршнів запропоновано новий метод комбінованого знакозмінного фрикційно-електричного зміцнення з пропусканням постійного струму між ізольованими зміцнювальними дисками через зону контакту поверхні, що обробляється і приводить до створення білих шарів з підвищеною товщиною до 250-350 мкм. Такий метод дозволяє зменшити знос пари блок-розподільник на 30%.

Для здійснення досліджень застосовувалися оригінальні методи, установки і пристосування. Отримані в дисертаційному дослідженні теоретичні та практичні результати, методи підвищення довговічності аксіально-поршневіх гідромашин мають відповідний рівень обґрунтованості. Особливу цінність результати досліджень представляють для підвищення ефективності роботи підприємств технічного сервісу різних галузей транспортного машинобудування та іншої техніки, що мають аксіально-поршневі насоси і мотори. Результати роботи узяті до застосування на судноремонті підприємстві «SIGRAN» LLC та впроваджено в навчальний процес кафедри ТО і РС Національного Морського Університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Макаренко А.С. К вопросу выбора методики исследований для изучения процесса выделения водорода с поверхности трения / А.С. Макаренко, М.Н. Довбенко, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. – 2007. – Вип.4. – С. 55-68.

2. Евдокимов В.Д. Повышение триботехнических характеристик пары трения гидромашин блок-распределитель путем применения комбинированной упрочняющей обработки / В.Д. Евдокимов, А.С. Макаренко, М.Н. Довбенко // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. – 2008. – Вип.1. – С. 101-107.

3. Довбенко М.Н. Влияние направления сдвиговых деформаций и движения детали на распределение температуры в зоне контакта при трении и шлифовании /

М.Н. Довбенко, А.Н. Евдокимова, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – 2008. – Вып.3. – С. 86-94.

4. Довбенко М.Н. Некоторые возможности повышения надежности работы прецизионных плунжерных пар гидравлических устройств / М.Н. Довбенко, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – 2009. – Вып. 1. – С. 106-110.

5. Довбенко М.Н. Определение утечек и износа в прецизионных плунжерных парах и возможности их снижения / М.Н. Довбенко, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – 2009. – Вып. 2. – С. 27-32.

6. Евдокимова А.Н. Упрочнение стальных распределителей гидромашин абразивным шлифованием / А.Н. Евдокимова, М.Н. Довбенко, А.С. Макаренко // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одесса: ДиолПринт, 2010. – Вып. 1. – С. 96-100.

7. Довбенко М.Н. Оценка влияния эпюр износа цилиндропоршневой пары аксиально-поршневых гидромашин на утечки масла / М.Н. Довбенко, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одесса: ДиолПринт, 2010. – Вып. 2. – С. 35-42.

8. Довбенко М.Н., Анализ работы и повышение долговечности пары трения блок-распределитель аксиально-поршневых гидромашин / М.Н. Довбенко, А.Н. Евдокимова, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одесса: ДиолПринт, 2010. – Вып. 3. – С. 71-80.

9. Евдокимов В.Д. Повышение износостойкости сферических опор шатунов и поршней гидромашин электромагнитной обработкой / В.Д. Евдокимов, М.Н. Довбенко // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одесса: ДиолПринт, 2011. – Вып. 1. – С. 31-38.

10. Довбенко М. Н. Влияние скорости скольжения и знакопеременности трения на внутренние напряжения в стали / М.Н. Довбенко, А.Н. Евдокимова, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одесса: ДиолПринт, 2012. – Вып. 1. – С. 33-38.

11. Евдокимова А.Н. Совместное влияние электрического тока и фрикционной обработки на упрочнение стали / А.Н. Евдокимова, М.Н. Довбенко // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одесса: ДиолПринт, 2013. – Вып. 1. – С. 33-38.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. Довбенко М.Н. Влияние износа на утечки в плунжерных парах и пути их снижения / М.Н. Довбенко, В.Д. Евдокимов // Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2009)» 25-27 травня 2009 року. – Херсон: Видатництво ХДМІ, 2009. – Т.4. - С. 66-68.

13. Yevdokimova, A. Alternating Friction Effects on Internal Stress of the First Kind / Alla Yevdokimova, Mark Dovbenko // Motorization and Power Industry in Agriculture. - Lublin: MOTROL. – 2009.- V.11. – С. 209-213

Наукові праці, в яких опубліковані додаткові наукові результати дисертації:

14. Довбенко М.Н. Разработка нетрадиционных путей повышения эксплуатационных характеристик аксиально-поршневых гидромашин с учетом

возможностей ремонта / М.Н. Довбенко, В.Д. Евдокимов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Прикладная механика – Харьков, 2014. – 5/7 (71) 2014. – С. 31-36.

15. Довбенко М.Н. Повышение эксплуатационной долговечности плунжерных пар с учетом возможности ремонта / М.Н. Довбенко, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. – Одесса: ДиолПринт, 2009. – Вип. 3. – С. 9-13.

16. Патент №91900 Україна, МПК⁹С21В 1/04. Притир розподільників гідромашин / В.Д. Євдокимов, О.С. Макаренко, М.М. Довбенко: Заявл. 15.09.2008, Опубл. 10.09.2010, Бюл. №17, 2010 р.

17. Патент № 91907 Україна, МПК⁹С21В 7/00. Пристрій для зміцнення розподільників гідромашин / А. М. Євдокимова, М. М. Довбенко: Заявл. 20.10.2008, Опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17, 2010 р.

18. Евдокимов В.Д. Повышение долговечности аксиально-поршневых гидромашин: [монография] / В.Д. Евдокимов, М.Н. Довбенко. – Одесса: Интерпринт, 2013. – 144 с.

АНОТАЦІЯ

Довбенко М.М. Підвищення ресурсу аксіально-поршневих гідромашин засобів транспорту. Кваліфікована наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». - Одеський Національний Морський Університет, Одеса, 2019

Дисертація присвячена підвищенню довговічності основних вузлів аксіально-поршневих гідромашин, розробці засобів, які можна застосувати в умовах експлуатації і ремонту. Проведено огляд специфіки аксіально-поршневих насосів і моторів і їх відповідальність при роботі як силових засобів різноманітних машин і механізмів засобів транспорту. Прагнення підвищення їх надійності з нагальною потребою обґрунтування й вирішення наявних проблем приводить до висновку про вибір актуального напрямку досліджень.

В роботі визначаються основні причини відмов вузлів і деталей аксіально-поршневих гідромашин і загальний вплив на їх довговічність. Проведено дослідження зносу і витоків циліндропоршневих пар аксіально-поршневих гідромашин. Показано складний характер зносу цих пар і встановлено вплив їхньої конусності, часу роботи на виток в залежності від перетинів по довжині поршня або його положення в циліндрі. Отримані епюри зносу і закономірності надходження масла по довжині поршнів. Вперше теоретично й експериментально встановлено, що шляхом створення невеликих поздовжніх і кільцевих канавок на поршні виникає можливість поліпшити умови змазки і тим самим підняти зносостійкість циліндропоршневих пар.

Проведено аналіз зусиль, що виникають при обертанні блоку гідроциліндрів аксіально-поршневих гідромашин, який показує їх нерівномірність залежно від проходження отворів циліндрів над вікнами розподільників. На ділянці нагнітання притискне зусилля розподільника найбільше, що призводить до його підвищеного зносу. Зменшити зношення розподільника і блоку циліндрів можна застосуванням високошвидкісного фрикційного знакозмінного методу зміцнення, а також шляхом

нанесення заглиблень або канавок на контактуючі поверхні.

Для підвищення довговічності деталей аксіально-поршневих гідромашин запропоновано використання електрофізичного методу зміцнення – електромагнітної обробкою. Роздроблено ряд практичних рекомендацій для призначення режимів зміцнення: напруженість поля, його змінність, тривалість, час витримки після припинення дії, що може використано на виробництві. Встановлено, що довговічність сферичних опор шатунів і поршнів гідромашин може бути збільшена до декількох разів залежно від обраної схеми електромагнітної дії. В роботі вперше запропоновано комбінована обробка розподільників шляхом магнітного зміцнення з нанесенням мідної плівки виборчим перенесенням з нівелюванням впливу водню, яка здатна в кілька разів підвищити довговічність пар тертя. Встановлено, що пропускання електромагнітного поля в динамічних умовах через підшипники кочення підвищує їх зносостійкість і втомну міцність до декількох разів. Однак необхідно чітко визначати режими зміцнення, оскільки можна отримати й негативний ефект. У відносних одиницях представлені підсумкові дані, що показують взаємозв'язок маятникової твердості, виділення водню й зносостійкості для всіх випробуваних пар тертя ковзання й кочення аксіально-поршневих гідромашин. Коефіцієнт підвищення довговічності лежить у межах 1,2-2,5 рази через 30 годин після припинення магнітної дії і від 1,5 до 2,8 разів після 100 годин. Особливо високий ефект – до 8 разів – встановлений для вальниць кочення із застосуванням комбінованої зміцнювальної обробки.

Вперше запропонована комбінована дія високошвидкісного тертя й електричного струму, яка приводить до більшого зміцнювального ефекту поверхневих шарів, ніж без струму. При комбінованому зміцненні знакозмінне тертя ефективніше, ніж односпрямоване, що проявляється в більш високій мікротвердості поверхневих шарів, товщині білих шарів та їх зносостійкості. Підведення електричного струму між двома фрикційними дисками з різною полярністю через ізольовану деталь викликає більш високий зміцнювальний ефект, ніж підведення електричного струму від дисків з однією полярністю вглиб деталі. При цьому досягається підвищена товщина білих шарів до 450 мкм, їх твердість, зносостійкість і нівелювання негативного ефекту реверсу. Отримана товщина білих шарів дозволяє застосовувати після зміцнення тонке шліфування для отримання необхідної геометрії та шорсткості робочих поверхонь деталей машин. Дослідження комбінованого фрикційно-електричного методу зміцнення необхідно продовжити з метою виявлення нових закономірностей і його можливостей практичного застосування.

Отримані в дисертаційному дослідженні теоретичні та практичні результати, методи підвищення довговічності аксіально-поршневих гідромашин мають відповідний рівень обґрунтованості, що було отримано за рахунок: коректного використання сучасних наукових методів досліджень; логічною послідовністю проведеного дослідження, заснованих на сучасних підходах і коректному плануванні і проведенні експериментів, аналізу отриманих вимірювань. Достовірність експериментальних даних забезпечувалась використанням сучасних вимірювальних комплексів та високою точністю вимірювальних приладів (максимальна похибка по експериментальним результатам не перевищувала близько 5%). Достовірність отриманих наукових результатів досягалася за необхідне повторення експериментів

із застосуванням факторного методу планування Фішера та статистичних методів аналізу і обробки спостережень за критерієм Стюдента, а також двохфакторного дисперсійного аналізу і методу латинського квадрата першого порядку.

Ключові слова: зміцнення, магнітна обробка, знос, витoki, вплив водню, надійність, шліфування, білі шари, коефіцієнт конусності, довговічність, поршні, гідромашина, фрикційно-електричний метод.

ABSTRACT

M.M. Dovbenko. Increase in service life of axial-piston hydraulic machines of vehicles. Qualified scientific paper with manuscript copyright.

Thesis for PhD in Technical Sciences by speciality 05.22.20 "Operation and maintenance of vehicles". – Odessa National Maritime University, Odessa, 2019

The thesis is devoted to improving the durability of the basic units of axial-piston hydraulic machines, the development of tools that can be applied in the context of operation and maintenance. The specifics of axial-piston pumps and motors have been reviewed, as well as their responsibility in operation both as power tools of various machines, and mechanisms of vehicles. The intention to increase their reliability together with the urgent need to explain and solve the existing problems leads us to the conclusion that the line of research is of immediate interest.

The paper identifies the main causes for failures of units and parts of axial-piston hydraulic machines, and the overall impact on their longevity. The study of wear and leakage of cylinder block sets of axial-piston hydraulic machines has been conducted. A complex character of wear of these sets has been demonstrated, and the influence of their taper, hours of operation on leaks, depending on the cross-sections along the length of the piston or its position in the cylinder has been identified. The wear plots and patterns of the lubricant receipt along the length of the pistons have been received. For the first time it has been established theoretically and experimentally that by creating small longitudinal and ring microgrooves on the piston, it becomes possible to improve lubrication conditions, thus increasing the wear resistance of cylinder-piston pairs.

The analysis of the forces generated by the rotation of the cylinder block of axial-piston hydraulic machines has been conducted, which shows their uneven character depending on the passage of the cylinder bores above the valve plate slots. In the delivery port the valve plate clamping force is the greatest, which leads to its increased wear. The machine schematic has been developed that allows for strengthening through abrasive grinding of the spherical surfaces of valve plate of axial-piston hydraulic machines.

To enhance durability of parts of the axial-piston hydraulic machines it is proposed to use the electrophysical method of strengthening – an electromagnetic treatment. A number of practical recommendations for the appointment of strengthening modes has been developed: field strength, its variability, duration, time of exposure after the termination that can be used in manufacturing. It has been established that the durability of the spherical supports of connecting rods and pistons of hydraulic machines can be increased up to several times depending on the selected scheme of the electromagnetic effect. The paper proposes at first a combined treatment of the valve plate by magnetic hardening with the application of a copper film through selective transfer with the leveling of hydrogen influence, which can increase the

durability of friction pairs several times. It has been established that the transmission of electromagnetic field in dynamic conditions via antifriction bearings increases their wear resistance and fatigue strength up to several times. However, it is necessary to clearly determine the modes of strengthening, since it is possible to obtain a negative effect as well. Summary data showing the relationship of the pendulum hardness, hydrogen evolution and durability (wear resistance) for all tested pairs of sliding friction and rolling of axial-piston hydraulic machines have been presented in relative units. The step-up ratio of durability is in the range of 1.2 - 2.5 times 30 hours after the termination of magnetic effect, and 1.5 - 2.8 times 100 hours after it. A particularly high effect – up to 8 times – has been noticed for ball bearings with the use of combined hardening treatment.

The combined action of high-speed friction and electric current has been proposed for the first time, which leads to a greater reinforcing effect of the surface layers than without the current. With the combined strengthening, alternating friction is more effective than with unidirectional one, which is manifested in higher microhardness of the surface layers, the thickness of white layers and their wear resistance. The supply of electric current between two friction discs with different polarity to an isolated part causes a higher strengthening effect than the supply of electric current from the disks with one polarity into the part depth. With that we have achieved the increased thickness of white layers up to 450 μm , their hardness, wear resistance and the reduction of the reverse negative effect. The resulting thickness of white layers allows to apply fine grinding after strengthening to obtain the necessary geometry and roughness of working surfaces of the machine parts. The study of the combined friction-electric method of strengthening must be continued to identify new patterns and opportunities of its practical application.

The reliability of experimental data was ensured by using modern measuring complexes and high precision of measuring instruments (the maximum error by the experimental results did not exceed 5 %). The reliability of the obtained scientific results was achieved by repetition of the experiments using the factorial method of planning and statistical methods of analysis and observations processing under Student's t-test, two-factor analysis of variance and the Latin square of the first order.

Key words: strengthening, magnetic treatment, wear, leaks, hydrogen influence, reliability, grinding, white layers, taper ratio, durability, pistons, hydraulic machine, friction-electric method.