

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПАВЛЮК ІВАН ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.22

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН, ЯКІ ПІДДАЮТЬСЯ
ГІДРОАБРАЗИВНОМУ ЗНОШЕННЮ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____І.В. Павлюк

Керівник роботи

Грабар І.Г.

д.т.н., професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Павлюк Іван Васильови. Підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин, які піддаються гідроабразивному зношенню.

– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі встановлено, що високоефективним напрямком у галузі відновлення та зміцнення деталей гідравлічних систем сільськогосподарської техніки є метод хімічного газофазного осадження карбідохромових покриттів та комплексних покриттів типу нікель-залізо-карбід хрому.

Відновлення деталей, що мають значне зношування (при необхідності нанесення покриття з товщиною більше 0,1мм), доцільно виконувати із застосуванням багат шарових покриттів, при цьому на початковому етапі необхідно використовувати дешеві реагенти на основі нікелю та заліза (для відновлення основної геометрії), а завершальний карбідохромовий шар (товщиною 35-45мкм), який забезпечить необхідні експлуатаційні властивості.

Стендові випробування зразків «диск – колодка» та модифікованих вузлів (гідророзподільників Р-80) підтвердили високі експлуатаційні властивості поверхонь відновлених та зміцнених із застосуванням CVD-методу металорганічних сполук, і показали, що зносостійкість сполучення «диск – колодка» з диском зі сталі 15Х (з цементацією і загартуванням до 56-58 HRC), була в 2,2 рази нижче, ніж у поєднанні з диском, зміцненим карбідом хрому (мікротвердість 18 ГПа); витік в парах «золотник – корпус», оснащених серійними золотниками (по завершенні випробувань), були у 2,7 та 1,6 рази вищими, ніж у парах із зміцненими та відновленими деталями відповідно.

Ключові слова: гідророзподільник, хімічне газове осадження, сталь, зносостійкість, гідроабразивне зношування

ANNOTATION

Pavlyuk Ivan Vasyliovy. Increasing the durability of parts of agricultural machinery that are subject to hydroabrasive wear. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is established that a highly effective direction in the field of restoration and strengthening of hydraulic systems of agricultural machinery is the method of chemical gas-phase deposition of carbidochrome coatings and complex coatings such as nickel-iron-chromium carbide.

Restoration of parts with significant wear (if necessary, a coating thicker than 0.1 mm), it is advisable to perform using multilayer coatings, with the initial stage to use cheap reagents based on nickel and iron (to restore the basic geometry), and the final carbidochrome layer (35-45 microns thick), which will provide the necessary performance properties.

Bench tests of disk-pad samples and modified units (P-80 hydraulic distributors) confirmed the high performance properties of the restored and hardened using the CVD method of organometallic compounds, and showed that the wear resistance of the disk-pad connection with a 15X steel disk with cementation and hardening to 56-58 HRC), was 2.2 times lower than in combination with a disk reinforced with chromium carbide (microhardness 18 GPa); leakage in "spool - housing" pairs equipped with serial spools (upon completion of tests) was 2.7 and 1.6 times higher than in pairs with reinforced and restored parts, respectively.

Keywords: hydrodistributor, chemical gas deposition, steel, wear resistance, hydroabrasive wear

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| РОЗДІЛ 1. УМОВИ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГСПОДАРСЬКИХ МАШИН, ЯКІ ПІДДАЮТЬСЯ ГІДРОАБРАЗИВНОМУ ЗНОШЕННЮ..... | 9 |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА І ПРОГРАМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 19 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 25 |
| ВИСНОВКИ..... | 32 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 33 |

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Конструкцію сучасних засобів механізації неможливо уявити без гідроприводу (на сьогодні основними силовими елементами, що приводять у рух робочі органи сільськогосподарської техніки, є гідромотори та гідроциліндри).

Широке застосування гідравлічних систем обумовлено не тільки підходом до проектування сільгоспмашин, що склався десятиліттями, але і реальними перевагами гідроприводу над електричними і механічними передачами.

До переваг можна віднести високу питому потужність, малі розміри, придушення вібрацій, швидкодію та високий коефіцієнт посилення, можливість безступінчастого регулювання швидкості робочих органів, надійне запобігання перевантаженням та ін.. [1, 2].

Поряд із викладеними перевагами, гідравлічний привід має й певні недоліки. Основним і найбільш значущим є низька довговічність серійно випускаємих в Україні складальних одиниць, таких як гідравлічні розподільники, гідроциліндри, гідромотори та гідронасоси, клапани та ін.

Якщо проаналізувати дані щодо несправностей складальних одиниць гідравлічних систем можна зробити наступний висновок: до вузлів, що визначають довговічність гідроприводу в цілому, відносяться гідронасоси, гідромотори, гідророзподільники та гідроциліндри. При цьому розподіл несправностей усередині системи виглядає так: відмови насосів та моторів від 11 до 20 %; відмови гідророзподільних пристроїв від 15 до 30%; відмови силових циліндрів від 7 до 10% [4-7].

У зв'язку з цим ефективність застосування гідрофікованих машин залежить від можливості забезпечення дешевого та якісного технічного сервісу, що неможливе без наявності якісних запасних частин.

Питання забезпеченості запасними частинами є серйозною проблемою України. Запасні частини для вітчизняної техніки часто вибракуються при

виконанні складальних робіт через низьку якість. З іншого боку, вони можуть забезпечити ресурс вузлів, відповідного ресурсу зарубіжних аналогів.

Нові запасні частини для імпортої техніки коштують дуже дорого. Це пов'язано з високою вартістю деталей та низькою забезпеченістю сільськогосподарських майстерень та ремонтно-технічних підприємств необхідною номенклатурою.

Ситуація, що склалася, вимагає створення та впровадження в ремонтне виробництво високоефективних процесів відновлення та зміцнення деталей, які не тільки вирішують проблему забезпеченості техніки дешевими запасними частинами, а й дозволяють підвищити надійність вузлів гідроприводу в цілому [10].

Мета та завдання дослідження Мета роботи полягала в розробці наукових та технологічних основ застосування методу хімічної газофазної металізації (CVD) для отримання зносостійких покриттів із задалегідь заданими властивостями на підкладках із вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей.

Завдання досліджень:

1. Обґрунтувати можливість застосування CVD-покриттів для відновлення та зміцнення деталей гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

2. Створити універсальну енергоефективну та екологічно безпечну технологію відновлення та зміцнення деталей гідравлічних систем, що мають зношування поверхні до 0,25 мм.

Об'єкт дослідження – процес хімічної газофазної металізації для отримання зносостійких покриттів.

Предмет дослідження – закономірності впливу режимів хімічної газофазної металізації на зносостійкість покриттів із задалегідь заданими властивостями на підкладках із вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувалися загальноприйняті принципи та теорії, що застосовуються при вирішенні науково-дослідних та виробничих завдань. При збиранні інформації та обробці отриманих результатів використовувалися класичні методи статистики. Вимірювання виконувались із застосуванням сучасних методів та атестованих засобів контролю.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Павлюк І.В.** Умови роботи деталей сільськогосподарських машин, які піддаються гідроабразивному зношенню. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 39-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 216-220.

2. Савченко В., Шклярчук Ю., **Павлюк І.**, Літвінець В., Новицький О., Бугайчук В. Механізми мікролегування конструкційних сталей бором. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції *«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. С. 37.

3. Савченко В. М., Сутковий О. В., Шлярчук Ю. П., Некрашевич Д. Ю., **Павлюк І. В.** Способи плазмового поверхневого зміцнення. Збірник тез доповідей XXII Міжнародної наукової конференції *"Сучасні проблеми землеробської механіки"* присвячену 121-річчю з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 16–18 жовтня 2021 року, м Ніжин. Ніжин. 2021. С. 217-220.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє запропонований спосіб підвищення надійності елементів гіроприводу.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 34 сторінки комп'ютерного тексту, містить 8 рисунків.

РОЗДІЛ 1

УМОВИ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГСПОДАРСЬКИХ МАШИН, ЯКІ ПІДДАЮТЬСЯ ГІДРОАБРАЗИВНОМУ ЗНОШЕННЮ

Сучасна сільськогосподарська техніка оснащена гідрофікованими агрегатами та системами, які служать для управління навісними, напівнавісними та причіпними знаряддями. При цьому довговічність зазначених систем визначає економічні показники експлуатації сільгоспмашин загалом, оскільки більшість відмов техніки відбувається через несправності їх компонентів.

Найпоширенішими та найскладнішими агрегатами гідравлічних систем сучасних машин є насоси з апаратурою автоматичного регулювання продуктивності, а також гідравлічні циліндри, гідромотори та елементи управління у вигляді розподільних та регулюючих пристроїв [1-10].

Незважаючи на різноманіття конструктивних рішень і специфічні особливості кожного з вузлів, гідравлічні агрегати мають схожі конструктивні елементи, які визначають їх довговічність і працездатність. Аналіз статистики відмов свідчить про те, що найбільше несправностей гідроприводу пов'язане з порушенням працездатності прецизійних пар експлуатованих агрегатів та елементів ущільнення гідроциліндрів.

До прецизійних пар відносяться різноманітні по конструкції та функціональності рухливі спряження, виконані з дотриманням високої точності геометричних параметрів. Ці спряження виконують функції чутливих елементів у механізмах автоматичного регулювання тиску та витрати рідини, а також витіснювальних елементів у силових пристроях.

Основними вимогами, що пред'являються прецизійним парам і визначають їх працездатність, є висока стабільність малих сил тертя і хороша герметичність, тобто наявність мінімальних витоків робочої рідини, що не змінюються в процесі роботи, через зазори між деталями. Ці вимоги забезпечуються високою якістю поверхонь спряжених елементів.

Деталі пар виготовляються з точністю від 2-го класу та вище, з чистотою поверхні не гірше 8-го класу чистоти. Залежно від призначення пари та геометричних розмірів її деталей, діаметральний зазор у спряженні може перебувати в межах від 2 мкм до десятків мікрометрів. Прецизійні пари, що найчастіше зустрічаються в гідравлічних агрегатах сільськогосподарської техніки, мають зазори близько 10-15 мкм.

Чистота робочих поверхонь типових прецизійних деталей гідравлічних систем та стандартні допуски на відхилення їх поверхонь від закладеної геометричної форми представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики робочих поверхонь типових прецизійних деталей гідравлічних систем

| Тип деталей | Клас чистоти робочої поверхні | Відхилення геометрії |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Гільзи | 10 | Овальність и конусоподібність < 0,005 |
| Плоскі золотники | 10-12 | Максимальна вигнутість 0,004 |
| Корпуса гідроблоків | 7 | Овальність и конусоподібність < 0,015 |
| Золотники, плунжери, дроселі | 11-12 | Не циліндричність < 0,005 |

Довговічність пар визначається здатністю їх робочих поверхонь протистояти пошкодженням. Під ушкодженнями, виникаючі у процесі роботи зміни мікрогеометрії і шорсткості поверхонь і навіть зміни у структурі матеріалу деталей.

Дослідження причин зношування робочих поверхонь прецизійних пар, виконані в Україні та за кордоном, вказують на гідравлічне защемлення, облітерацію (зарощування поляризованими молекулами робочої рідини та забруднюють її частинками зазорів у спряженні), різні види механічного зношування. По кожній із причин окремо можна відзначити наступне.

Гідравлічне защемлення, тобто збільшення сил тертя в парах через притискання деталей неврівноваженою радіальною силою до однієї сторони, що виникає через нерівномірний розподіл тиску рідини в кільцевому зазорі спряження. Це пов'язані з геометричними формами деталей, тобто з конструктивними особливостями. Дані недоліки повинні проявлятися при випробуваннях та усуватися у процесі проектування та виготовлення агрегатів.

Облітерація призводить до незначного підвищення опору відносному переміщенню і може істотно позначитися на довговічності вузла загалом. Вона, як складний процес, може прискорити механічне зношування за рахунок підвищення кількості абразивних частинок у зоні контакту.

Механічне зношування, що протікає у спряженні, можна розділити на кілька видів: абразивне, ерозійно-кавітаційне, корозійно-механічне, схоплювання, втомне.

Абразивне зношування протікає в результаті руйнування спряжених поверхонь деталей, що труться за рахунок зрізання і пластичного деформування мікронерівностей поверхні сторонніми частинками високої твердості, що містяться в робочій рідині гідросистем. Потрапляючи в зазори спряження, вони значно збільшують сили тертя та інтенсивність зношування поверхонь.

Для зменшення інтенсивності абразивного зношування в поєднаннях вузлів гідроприводу необхідно знизити рівень впливу абразивних частинок на робочі поверхні деталей, що можливо реалізувати за рахунок збільшення якості фільтрації (очищення) масла і підвищення мікротвердості робочих поверхонь елементів, що сполучаються [1-3].

Ерозійно-кавітаційне зношування відбувається за рахунок ударів про поверхню деталей твердих частинок, частинок рідини або газу, що мають високу кінетичну енергію, внаслідок цього впливу відбувається вимивання та вириг окремих мікрооб'ємів матеріалу. Зниження рівня ерозійно-кавітаційного зношування можна досягти тими самими засобами, що й абразивного [1; 5].

Корозійно-механічне зношування це процес руйнування поверхні під дією двох факторів: хімічної взаємодії матеріалу із середовищем та тертя. Воно характеризується утворенням на поверхні деталей оксидних плівок і хімічних сполук, які при механічній взаємодії поверхонь, що труться, руйнуються, приводячи до зміни мікрогеометрії, тобто руйнування поверхні є наслідком двох одночасно або поперемінно протікаючих процесів – корозії та абразивного зношування [10; 13].

Схоплювання – це процес руйнування поверхонь пов'язаний з перевищенням питомого тиску на фактичних ділянках контакту деталей, що сполучаються, над межею плинності матеріалу. При цьому відбувається утворення металевих зв'язків між елементами спряжених поверхонь [2]. Руйнування цих зв'язків супроводжується вириванням частинок металу з менш твердої поверхні та налипанням на спряжену. Частки, що налипли, в результаті наклепу, мають більшу твердість, ніж основний матеріал і пришвидшують процес зношування.

Виключити схоплювання в прецизійних парах і значно знизити корозійно-механічне зношування можна за рахунок підвищення мікротвердості робочих поверхонь з урахуванням підбору триботехнічно сумісних матеріалів для спряжених поверхонь [1; 8].

Втомне зношування пов'язане з багаторазовим деформуванням мікрооб'ємів поверхневого шару деталей. У роботах [9; 10] показано, що перші цикли змінної напружень провокують виникнення зони пластичної деформації. Надалі, при багаторазовій повторюваності, це напруження веде до утворення зон з деформованими кристалічними ґратами (зон наклепу). Дефекти решітки та сторонні включення є концентраторами напружень і призводять, зі збільшенням кількості циклів навантажень, до порушення зв'язків між атомами і виникнення мікротріщин.

Мікротріщини надалі розростаються, об'єднуються в одну загальну, що призводить до поверхневого вищерблювання.

Основними методами зниження інтенсивності втомного зношування є: підвищення якості обробки спряжених поверхонь, зниження контактних напружень і підвищення поверхневої твердості деталей.

З перелічених вище видів зношування, що служать причиною руйнування поверхонь прецизійних пар, найбільш інтенсивно протікає абразивне. Такі дані були опубліковані у матеріалах досліджень компанії Caterpillar® (США). З цього джерела випливає, що основною причиною активації механізмів руйнування високоточних поверхонь є наявність забруднень у робочій рідині.

Одними з найбільш навантажених вузлів гідроприводу сільськогосподарських машин є гідроциліндри робочого обладнання, при цьому технічний стан зазначених вузлів визначає не лише екологічність та ефективність експлуатації техніки, а й ресурс усіх агрегатів приводу загалом. Це пов'язано з тим, що штоки гідроциліндрів, маючи значний хід та взаємодіючи періодично із зовнішнім середовищем, сприяють проникненню забруднень у робочу рідину [1].

Порушення працездатності гідроциліндрів пов'язане з впливом на них різноманітних факторів, що призводять до зношування, деформацій, корозії або інших видів пошкодження робочих поверхонь спряжених деталей. У роботах [1-8] встановлено, що близько 70% несправностей пов'язано з впливом на робочі поверхні абразивних частинок, які, перебуваючи у робочій рідині або проникаючи у гідроциліндр через ущільнювачі, каталізують процес зношування. При цьому основні відмови агрегатів є наслідком виникнення рисок на робочих поверхнях штоків, різноманітних пошкоджень ущільнювальних елементів та зношування направляючих втулок.

Великий вплив на довговічність ущільнень має стан напрямних втулок. Знос цих елементів конструкції призводить до збільшення деформацій ущільнень у процесі роботи, що сприяє швидкій втомі матеріалу та інтенсифікує процес виникнення залишкових деформацій. Крім того, зсув центру штока щодо центру ущільнень призводить до збільшення контактного тиску і викликає різке

збільшення швидкості зношування з одного боку плюс розгерметизацію з іншого.

Не менш значуща і чистота поверхні штока. Наявність дефектів, слідів корозії та абразивного зношування на поверхні значно прискорює процес руйнування ущільнень.

З метою збільшення ресурсу ущільнень гідроциліндрів необхідно застосовувати при їх виробництві якісні матеріали та максимально знизити швидкість зношування поверхонь напрямних втулок та штоків.

Аналіз робіт, присвячених дослідженням процесу руйнування деталей гідроциліндрів, свідчить про те, що основною причиною руйнування поверхонь штоків та направляючих втулок є абразивне, корозійно-механічне та втомне зношування. При цьому найінтенсивніше протікає процес абразивного зношування. Основними причинами активації процесу абразивного зношування є підвищена запиленість повітря, забруднення робочої рідини та недостатня поверхнева твердість деталей.

До забруднень можна віднести будь-які сторонні речовини, що потрапили в гідравлічну систему. Ці речовини можна умовно поділити на два типи: механічні (тверді частинки) та хімічні.

При цьому слід зазначити, що забруднення робочої рідини відбувається на всіх стадіях її існування, починаючи від виготовлення та фасування на нафтопереробних заводах і закінчуючи гідробаком машини або трактора. За існуючими стандартами забрудненість рідин, які поставляється для транспортних машин, може становити до 0,005 % за вагою, тобто досягати значення 40 мг/л, гранулометричний склад забруднень технічними умовами не регламентується.

Забруднення рідини при її транспортуванні, зберіганні, проведенні технічного обслуговування, а також при експлуатації сільськогосподарської техніки призводить до того, що вміст твердих частинок у робочому середовищі досягає 0,04% по відношенню до маси вже через 300-1000 мото-годин. Розміри

частинок, що забруднюють робочу рідину, визначаються тонкістю фільтрації [5, 6, 7].

Очевидно, що основна частина сторонніх частинок потрапляє в гідравлічну систему при експлуатації техніки. Це пов'язано з тим, що сільськогосподарські машини, під час роботи, переміщаються великими ділянками ріллі, у суху погоду машини часто перебувають у хмарі пилу. Ступінь забруднення повітря пилом становить 0,05–1,2 г/м³ при оранці, 0,8–2,5 г/м³ при сівбі, та близько 2,1 г/м³ при виконанні транспортних робіт. Частинки пилу осідають на штоках гідроциліндрів, а також проникають в систему через сапун (у роботах [7; 8] представлена інформація про те, що при роботі техніки в бак гідросистеми надходить близько 0,3 м³ повітря на годину). Отже, саме ці частинки пилу, що у повітрі, є основним джерелом забруднень.

Мінералогічний склад зразків пилу, взятої в Житомирській області (таблиця 1.2), показує, що її компонентами, які мають максимальне значення мікротвердості, є кварц і оксид алюмінію. При попаданні в зазор рухомого сполучення ці компоненти значно інтенсифікують процес зношування, так як поверхнева твердість більшості деталей не перевищує 7500 МПа (значення мікротвердості для азотованої сталі) [6; 7; 10].

Таблиця 1.2 – Мінералогічний склад зразків пилу, взятого в Житомирській області

| Складова | Вміст, % | Мікротвердість, МПа |
|----------------|----------|---------------------|
| Кварц | 79 | 105 00-11 300 |
| Оксид алюміній | 11 | 21 000 |
| Оксид зліва | 11 | 9 000 |
| Оксид магнію | 1 | 9 080-11 250 |
| Оксид кальцію | 1 | 6 045 |

Дослідженню впливу зазначених забруднень на довговічність деталей і вузлів гідроприводу присвячено багато робіт вітчизняних та зарубіжних вчених [5; 9; 12], а також виробників гідрофікованих машин (наприклад, компанії Caterpillar). Усі ці роботи констатують той факт, що основні ушкодження робочих поверхонь деталей гідравлічних систем сільськогосподарської техніки відбуваються під дією абразивної маси. При цьому абразивні частинки, близькі за розміром до зазору в парі, призводять до локальних пошкоджень поверхонь деталей дряпанням і мікрорізанням. Ті частинки, розмір яких значно менший за радіальний зазор спряження, провокують активацію гідроабразивного зношування [7; 11; 12].

На рис. 1.1 представлений зовнішній вигляд зношених поверхонь деталей гідроприводу. Очевидно, що робочі поверхні схильні до корозії, а також порізані безліччю поздовжніх борозен і подряпин – слідів абразивного зношування.

Зі сказаного вище випливає, що основним завданням при розробці заходів щодо підвищення довговічності деталей гідроприводу є зниження інтенсивності абразивного зношування в спряженнях. Це завдання може бути вирішена підвищенням рівня очищення робочої рідини, а також збільшення стійкості поверхонь деталей до впливу абразивної маси.



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд зношених поверхонь деталей гідросистеми

Дослідженню інтенсивності абразивного та гідроабразивного зношування присвячено безліч робіт українських та зарубіжних вчених. У роботах В.М. Кащеєва, В.В. Ауліна, В.І. Дворука, В.А. Кислика, М.М. Тененбаум, В.М. Ткачова проведений аналіз впливу різних факторів на абразивне зношування спряжених деталей. І.В. Крагельським та його учнями встановлено взаємозв'язок інтенсивності зношування при терті з мікрогеометрією та фізико-механічними властивостями поверхонь.

У дослідженнях, виконаних М.М. Хрущовим із співробітниками, і навіть М.А. Бабичовим, І.В. Крагельським, Б.І. Костецьким та ін., детально вивчені види зношування робочих поверхонь під впливом твердих абразивних частинок та встановлено, що стійкість деталей до абразивного зношування залежить від співвідношення поверхневої твердості деталі та абразиву.

З зазначених вище робіт випливає, що при збільшенні твердості матеріалу деталі до значень, близьких до твердості абразивних частинок, дію частинки на поверхню набуває вигляду пружного відтискання. При цьому мікрорізання та дряпання не спостерігається, а зношування є наслідком багатоциклової втоми матеріалу.

За даними, опублікованими у роботах М.М. Хрущова, мінімізація абразивного зношування можна досягти рахунок підвищення поверхневої твердості спряжених деталей до 17 000 МПа і більше.

Отримані під час аналізу літературних джерел дані мають фундаментальний характер здійснення цілеспрямованої діяльності у сфері зміцнення поверхонь тертя, проте їх застосування щодо надійності деталей гідравлічних систем сільськогосподарської техніки, експлуатованої у специфічних умовах, викликає певні сумніви. Цей випадок вимагає додаткового вивчення із застосуванням творчого підходу у питанні використання вже встановлених уявлень про вплив тих чи інших факторів на інтенсивність зношування деталей. Тут необхідно враховувати функціональну роль пар тертя, особливості техніки та умов її роботи. Велике значення набуває накопичений з

часом досвід з дослідження гідравлічних агрегатів сільськогосподарської техніки, що вийшли з ладу, а також систематизація більш уразливих елементів систем за ознакою, що визначає види відмов та їх причини.

Величезна робота у галузі аналізу умов експлуатації деталей гідравлічних систем сільськогосподарської техніки та визначення основних критеріїв, що впливають на їх довговічність, проведена М.М. Єрохіним, С.П. Казанцевим, В.В. Козирєвим, Г.А. Борисовим, К.А. Ачкасова, В.П. Вегерой, В.Є. Черкуном та іншими вченими.

Висновки по розділу

З вище зазначених робіт можна зробити висновок про необхідність комплексного підходу до вирішення питання підвищення довговічності деталей гідравлічних систем, який має включати інженерні, агрономічні, технологічні і конструкторські шляхи вирішення питання [6]. При цьому найперспективнішими є інженерні та технологічні напрямки, які можуть дозволити отримати задану довговічність за рахунок створення поверхонь із заданими фізичними та механічними властивостями та максимально знизити вплив зовнішніх факторів на працездатність агрегатів.

Сьогодні гостро постає питання необхідності впровадження у виробництво найбільш раціональних способів модифікування поверхонь, які дозволять отримати необхідні значення твердості та корозійної стійкості з мінімальними витратами на реалізацію технологічного процесу.

РОЗДІЛ 2

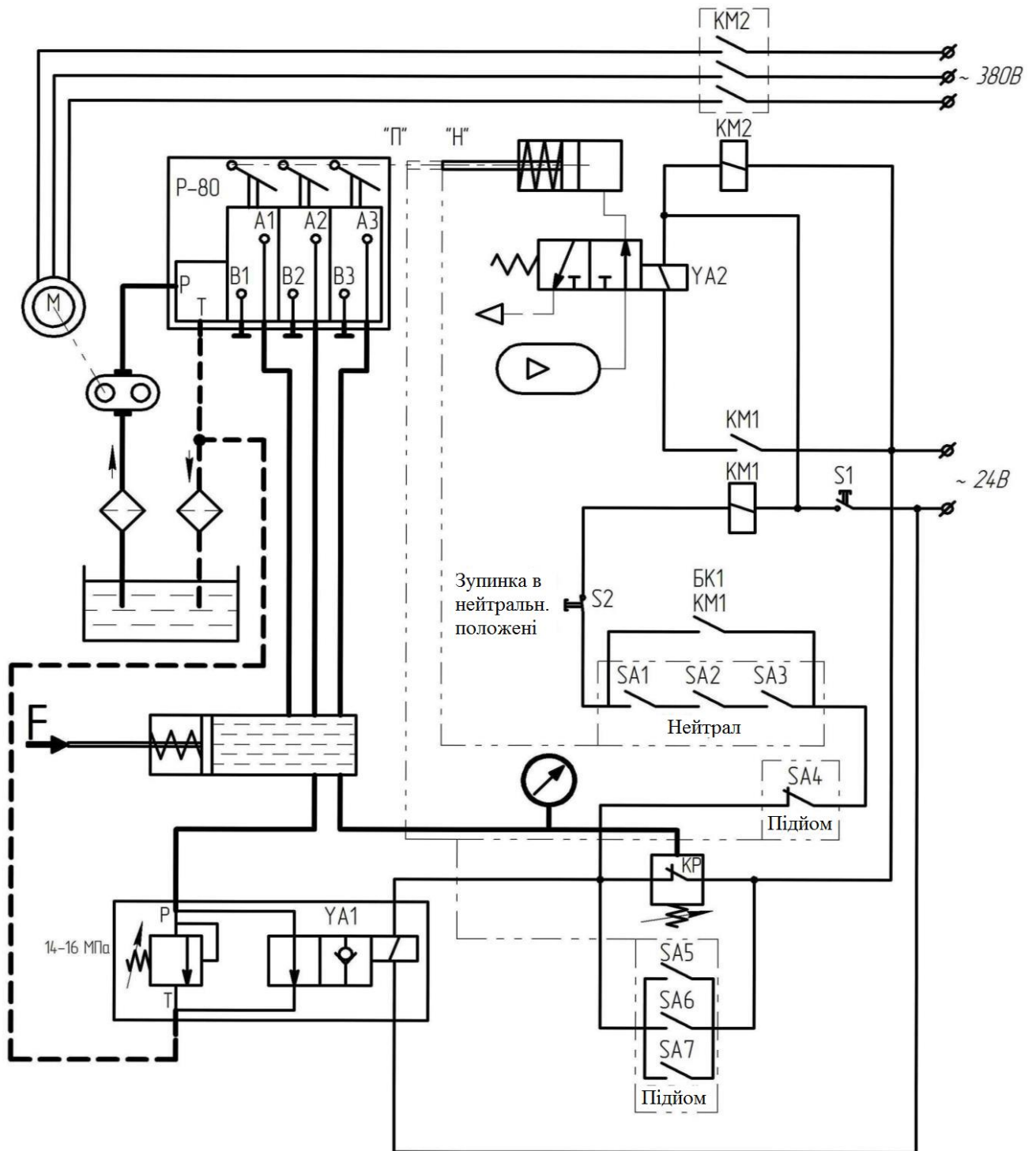
МЕТОДИКА І ПРОГРАМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою прискорених стендових випробувань є оцінка довговічності та стабільності характеристик гідророзподільників Р-80, які були встановлені серійні, відновлені та зміцнені золотники.

Випробування проводилися на гідромеханічному стенді. Об'єктами досліджень виступали три види золотників: відновлені CVD-методом, зміцнені CVD-методом та серійні. При цьому відновлені золотники мали на поверхнях поясів карбідохромове покриття із загальною товщиною до 300 мкм, зміцнені покриття мали до 60 мкм, а серійні були виготовлені за класичною технологією. Дані золотники встановлювалися в нові корпуси розподільників Р-80-3/1-222 відповідно до технічних вимог. Радіальний зазор у поєднанні становив від 5-15 мкм, шорсткість поверхні паски $Ra = 0,16$ мкм.

Конструкція виготовленого стенду дозволяє проводити випробування в рівних умовах для кожної з трьох секцій гідравлічного розподільника. Робота стенду побудована за наступним принципом: включення золотників у режим «підйом» і витримка, при цьому під час витримки тиск у системі підвищується до спрацювання автоповернення, після чого золотники переводять у нейтральне положення; потім включення в положення «опускання» та витримка (з підйомом тиску в системі та спрацюванням автоповернення). Далі цикл повторюється. Схема стенду представлена рис. 2.1.

Для збільшення швидкості зношування пар «золотник – корпус» в робочу рідину (масло МГ-15-В) додавалася кварцовий пил з розмірами зерна 5-20 мкм (70 %) і 30-40 мкм (30 %). Використання саме цієї абразивної добавки обумовлюється тим, що пил від ґрунту, що складається в основному з мікрочастинок кварцу і глинозему, є основним із механічних забруднювачів робочої рідини гідросистем тракторів та інших гідрофікованих машин [6].



Умовні позначення

- | | | | |
|---|---------------------------|---------|----------------------------|
| — | Гідравлічна подаюча лінія | - - - | Гідравлічна зливна лінія |
| — | Пневматична подаюча лінія | - - - | Пневматична випускна лінія |
| — | Електрична лінія | - - - - | Механічний зв'язок |

YA1 - Запобіжний клапан з електрокерованим байпасом (нормальне відкриття)

YA2 - Повітряний клапан (нормального закриття). КР - реле тиску. Р-80 - гідророзподільвач.

"П" і "Н" - Положення "Підйом" і "Нейтральне" розподільвача відповідно.

Рис. 2.1. Схема стенда.

Вміст абразивного пилю робочої рідини становив 1 г/л. Для підтримки абразивних частинок у зваженому стані проводилося безперервне перемішування гідравлічної оливи.

Оцінка технічного стану та зносостійкості спряження «золотник – корпус» проводилася по витoku робочої рідини через зазор, а також вимірюванням геометричних розмірів деталей досліджуваних спряжень (температура гідравлічної оливи 50...60 °С).

Вимірювання отворів корпусу та золотника виконувались перед початковим складанням розподільника та після завершення повного циклу випробувань.

Отвори колодязів корпусу обмірювалися із застосуванням важільного нутроміра (ціна поділу 0,002 мм), розміри паски золотника контролювалися оптичним мікрометром з ціною поділу 0,001 мм, при цьому розмір кожного з поясків визначався у двох площинах.

Випробування на довговічність проводилися згідно з двома планами проведення спостережень:

- план (N) для гідроциліндра загалом, на випробування поставлено N виробів; спостереження ведуться до виникнення відмови та граничного стану всіх виробів. Вироби, що відмовили, не ремонтуються і не замінюються новими;

- план (T) для деталей, що сполучаються з циліндром, тобто спостереження проводяться протягом часу T, а ущільнювальні манжети, що втратили герметичність, замінюються справними.

Робота виконувалася за п'ять кроків:

1. Складання методики виконання досліджень та плану спостережень.
2. Виконання мікрометражу деталей досліджуваних спряжень, складання експериментальних вузлів, контроль складання та маркування.

3. Проведення у процесі експлуатаційних випробувань спостереження за експериментальними вузлами і навіть виконання проміжного контролю зношування деталей.

4. Розбирання експериментальних вузлів після закінчення випробувань та виконання кінцевого мікрометражу деталей.

5. Фіксування первинних даних, отриманих у ході випробувань, їх оцінка та складання відповідних висновків.

Метою випробувань є виявлення показників довговічності для гідророзподільників та гідроциліндрів сільськогосподарської техніки, відновлених та зміцнених із застосуванням CVD-методу МОС в умовах рядової експлуатації.

Всі етапи досліджень базуються на стандарти, які регламентують правила приймання та методи контролю деталей гідроциліндрів при проведенні типових, приймально-здавальних та періодичних випробувань, а також встановлюють методи планування випробувань в оцінці показників надійності та довговічності.

Очищення, зміна робочої рідини, фільтруючих елементів, промивання гідросистеми та технічне обслуговування гідроциліндра проводилися через періоди часу, відповідні інструкції заводу-виробника з урахуванням коригувальних коефіцієнтів. Проміжний мікрометраж відбувався під час чергового технічного обслуговування (ТО).

Обґрунтування необхідного мінімального числа експериментальних вузлів ґрунтується на рекомендаціях РД-50-690-89, де викладено принципи збору та статистичної обробки отриманої інформації, наведено методики планування експлуатаційних спостережень при оцінці довговічності виробів.

Даний документ дозволяє оцінювати надійність як окремих деталей, так і всього виробу в цілому, що дає змогу значно зменшити кількість випробуваних гідроциліндрів, що призводить до скорочення тривалості експлуатаційних випробувань та зниження трудомісткості на них. Ці заходи дозволяють мінімізувати витрати на проведення випробувань.

Величина фактичного ресурсу обчислювалася як середнє арифметичне для значень ресурсів, отриманих під час випробувань, кожної групи експериментальних вузлів.

При випробуваннях гідророзподільників використовувалося 9 зразків, 3 з яких були оснащені відновленими золотниками із загальною товщиною покриття до 210 мкм, 3 оснащені зміцненими золотниками з товщиною покриття до 45 мкм та 3 серійних.

Оцінка технічного стану та зносостійкості сполучення «золотник – корпус» проводилася по витоку робочої рідини через зазор, а також вимірюванням геометричних розмірів деталей.

Перевірка витоків проводилася після завершення циклу випробувань за штатних для розподільників Р-80 умов роботи (тиск перед розподільником 10 МПа, температура гідравлічної олії 50...60 °С).

При проведенні випробувань гідроциліндрів їх оснащували експериментальними штоками (новими, відновленими та зміцненими з застосуванням карбідохромових CVD-покриттів). Відновлені та зміцнені деталі мали геометричні параметри, що відповідають вимогам технічної документації.

Складання циліндрів проводилося відповідно до технічних умов, що пред'являються при капітальному ремонті. У процесі експлуатаційних випробувань контролювалися та досліджувалися такі параметри:

- зносостійкість спряжених деталей у гідроциліндрах зі штоками, відновленими карбідохромовим покриттям;
- зносостійкість спряжених деталей у гідроциліндрах зі штоками, зміцненими карбідохромовим покриттям;
- зносостійкість спряжених деталей у серійних гідроциліндрах.

За експериментальними гідроциліндрами під час випробувань велося спостереження, у якому фіксувалися такі параметри:

- державний реєстраційний номер машини;
- порядковий номер заводу виробника (рами);
- номер та марка гідроциліндра;
- дата встановлення на випробування;
- дата зняття з випробувань;

- напрацювання в мото-годин на момент зняття з випробувань;
- список дефектів гідروциліндра (за наявності таких);
- вжиті заходи щодо усунення дефектів.

Під час проведення експлуатаційних випробувань знеособлення експериментальних гідроциліндрів забороняється. Машини з експериментальними гідроциліндрами знімалися з робіт для проведення вимірів через кожні 1000 мото-годин напрацювання. У разі відмови гідроциліндра на нього кріпилася бирка із зазначенням дати зняття з випробувань, поточне напрацювання та номер складеного акта.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика проведення досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На етапі стендових досліджень виконувались випробування гідророзподільників Р-80 і визначалася зносостійкість сполучення «золотник – корпус» із серійними, відновленими із застосуванням CVD-процесів та зміцненими із застосуванням CVD-процесів золотниками.

Поставлені на випробування гідророзподільники містили у своїй конструкції по одному серійному, відновленому та зміцненому золотнику. Випробування проводилися згідно з методикою, викладеною в розділі 2.

Результати оцінки зносостійкості по гідравлічній щільності пар представлені на рис. 3.1. Вочевидь, що гідравлічна щільність у золотникових парах, які містять модифіковані (із застосуванням CVD-процесів) деталі, значно вища ніж у серійних.

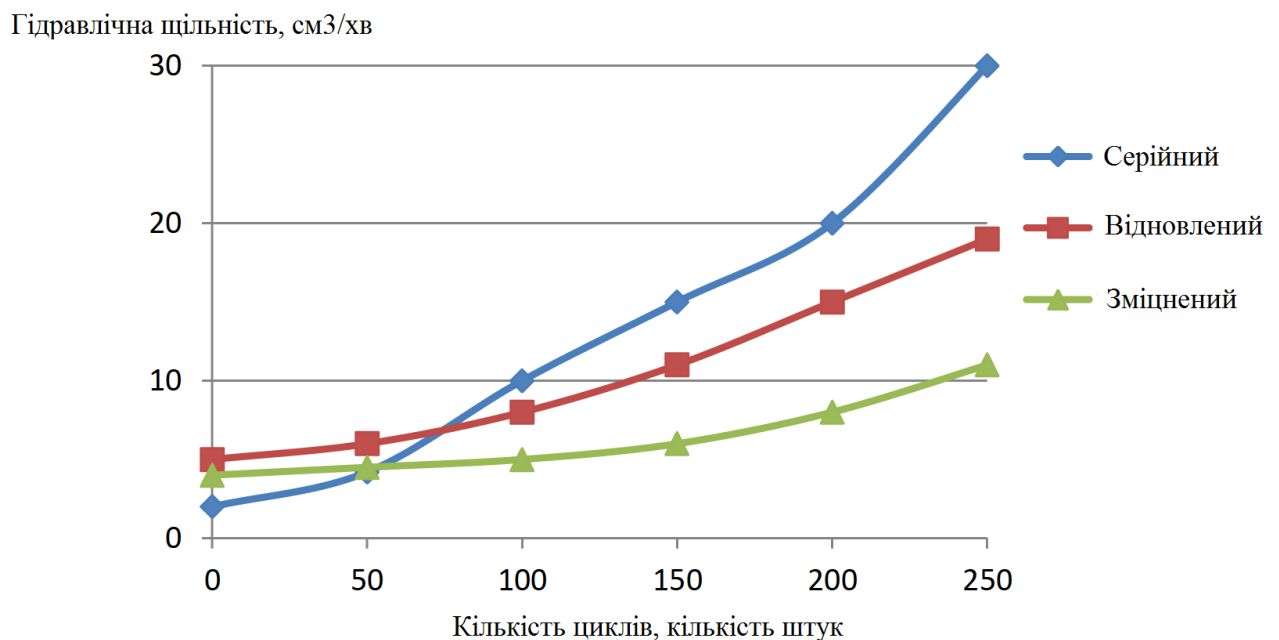
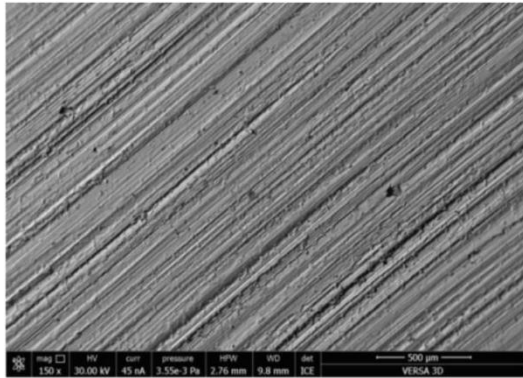


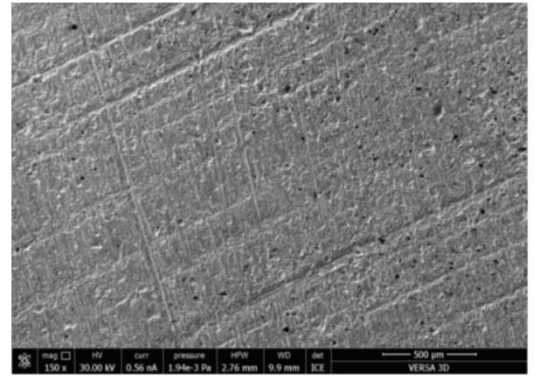
Рис.3.1. Графіки результатів оцінки зносостійкості за гідравлічною щільністю.

Після завершення випробувань витоку в парах із серійними золотниками були в 2,7 та 1,6 рази вищими, ніж у парах із зміцненими та відновленими деталями відповідно. Дослідження поверхонь зміцнених і серійних деталей, що

пройшли повний цикл стендових випробувань із застосуванням растрового електронного мікроскопа, дає повне обґрунтування такому результату: поверхні серійних деталей порізані безліччю борозен (слідів впливу абразивних частинок), що свідчить про недостатню поверхневу твердість, в той час зміцнювальне карбідохромове покриття, майже не мало слідів абразивного зношування (рис. 3.2).



а)



б)

Рис. 3.2. Вид поверхні пояска золотника після проведення повного циклу стендових випробувань: а) серійна деталь; б) деталь з карбідохромовим CVD-покриттям.

Експлуатаційні випробування трьох гідророзподільників Р-80, встановлених на трактори (МТЗ-80, МТЗ-82), проведені у ТОВ «Райз-Полісся» (Овруцька ОТГ, Коростенський район, Житомирська область), при виконанні як транспортних так і сільськогосподарських робіт. Висока довговічність золотникових пар спостерігалася у відновлених та зміцнених із застосуванням CVD-методу.

У період випробувань, що проводилися з квітня 2021 року до вересня 2021 року, відмов у роботі дослідних гідророзподільників не спостерігалось.

Напрацювання кожного з вузлів на момент завершення випробувань склало 2 000 мото-годин. Проміжний контроль технічного стану проводився при напрацюванні 1000 мото-годин.

При цьому встановлено, що збільшення витоків з напрацюванням у серійних парах відбувається більш інтенсивно, ніж у спряженнях зміцнених із застосуванням CVD-покриттів. Така тенденція простежується навіть при напрацюванні в 1 000 мото-годин, а вже при 2 000 мото-годин вона набуває ще більш вираженого характеру. При даному напрацюванні один з трьох поставлених на випробування серійних розподільників мав значення витоків 28,7 см³/хв, що перевищує гранично допустиме значення. Середнє значення витоків по трьох випробуваним серійним розподільникам склало 24,7 см³/хв проти 12,9 см³/хв у відновлених і 9,53 см³/хв у зміцнених.

Детальні дані про технічний стан гідророзподільників при напрацюванні 1000 та 2000 мото-годин представлені в табл. 3.1, 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Фактичні витокі в спряженнях "золотник - корпус" гідророзподільників Р-80 при тиску 10 МПа (напрацювання 1000 мото-годин)

| Номер | Вид розподільника | | | Втрати, см ³ /хв | | | |
|-------|-------------------|-------------|-----------|-----------------------------|---------|---------------------|---------|
| | Серійний | Відновлений | Зміцнений | До випробовувань | | Після випробовувань | |
| | | | | Факт. | Середнє | Факт. | Середнє |
| 1 | + | — | — | 2,8 | 2,9 | 4,8 | 4,56 |
| 2 | + | — | — | 3,0 | | 4,7 | |
| 3 | + | — | — | 2,9 | | 4,2 | |
| 4 | — | + | — | 3,4 | 3,46 | 3,6 | 3,7 |
| 5 | — | + | — | 3,6 | | 3,8 | |
| 6 | — | + | — | 3,4 | | 3,7 | |
| 7 | — | — | + | 3,3 | 3,23 | 3,4 | 3,43 |
| 8 | — | — | + | 3,2 | | 3,5 | |
| 9 | — | — | + | 3,2 | | 3,4 | |

Таблиця 3.2 – Фактичні витoki в спряженнях "золотник - корпус" гідророзподільників Р-80 при тиску 10 МПа (напрацювання 2000 мото-годин)

| Номер | Вид розподільника | | | Втрати, см ³ /хв | | | |
|-------|-------------------|-------------|-----------|-----------------------------|-------|---------------------|---------|
| | Серійний | Відновлений | Зміцнений | До випробовувань | | Після випробовувань | |
| | | | | Факт. | Факт. | Факт. | Среднее |
| 1 | + | — | — | 2,8 | 2,9 | 23,6 | 23,37 |
| 2 | + | — | — | 3,0 | | 26,7 | |
| 3 | + | — | — | 2,9 | | 19,8 | |
| 4 | — | + | — | 3,4 | 3,46 | 12,2 | 12,9 |
| 5 | — | + | — | 3,6 | | 13,4 | |
| 6 | — | + | — | 3,4 | | 13,1 | |
| 7 | — | — | + | 3,3 | 3,23 | 10,2 | 9,53 |
| 8 | — | — | + | 3,2 | | 10,1 | |
| 9 | — | — | + | 3,2 | | 8,3 | |

Розрахункові дані про прогнозоване напрацювання на відмову для кожного з типів випробуваних розподільників представлені на рис. 3.3.

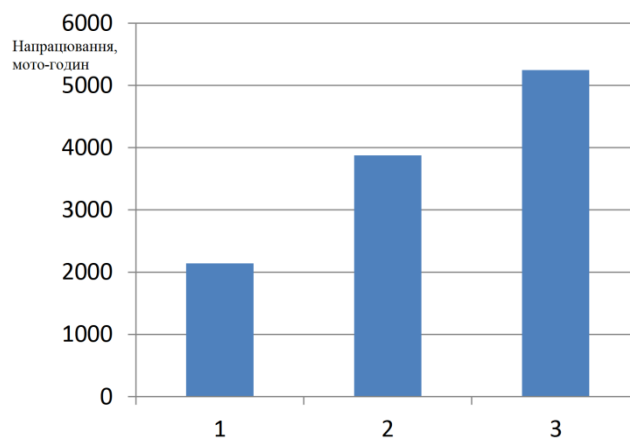


Рис. 3.3. Прогнозований наробіток (у мото-годинах): 1 – серійних розподільників, 2 – розподільники з відновленими золотниками, 3 – розподільники із зміцненими золотниками.



Рис. 3.4. Зовнішній вигляд (через мікроскоп) поверхні пояса золотника гідророзподільника після напрацювання 2000 мотогодин: а) серійного; б) зміцненого

Очевидно, що поверхня, що не має зміцнюючого покриття, більшою мірою схильна до впливу абразивних частинок, про що свідчать глибокі і широкі подряпини.

Для порівняння довговічності серійних, зміцнених та відновлених CVD-покриттями штоків гідроциліндрів проводилися випробування у процесі експлуатації. Випробування мали на меті дати порівняльну оцінку зносостійкості. При цьому на навіску тракторів МТЗ-80 та МТЗ-82 було встановлено по п'ять відновлених, зміцнених та серійних гідроциліндрів Ц-75. Випробування проводилися в ТОВ «Райз-полісся» Житомирської області в умовах звичайної експлуатації. Після проходження певної кількості мото-годин, робочі поверхні вимірювалися.

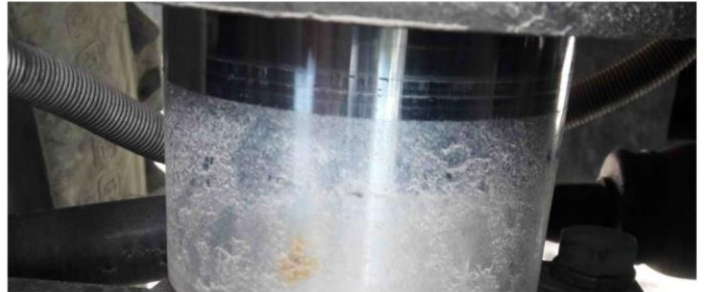
На гідроциліндрах Ц-75, поставлених на випробування, штоки були відновлені та зміцнені тришаровими CVD-покриттями. На зміцнених гідроциліндрах поверхні штока модифіковані одношаровими карбідохромовими CVD-покриттями.

Порівняльні експлуатаційні випробування показали, що при напрацюванні гідроциліндрів у 1 000 мото-годин (що становить близько 14 % від гарантованої заводом виробником) на відновлених та зміцнених штоках не виявлено

подряпин, слідів абразивного зношування та корозії (рис. 3.5 а). На штоках серійних гідроциліндрів після такого незначного напрацювання спостерігалися сліди корозії (рис. 3.5, б).



а)



б)

Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд поверхні штока гідроциліндра: а) відновлений; б) серійний.

Після напрацювання в 2000 мото-годин з ладу не вийшло жодного циліндра, поставленого на випробування. Однак якщо порівняти поверхні відновленого (рис. 3.6, а) та серійного (рис. 3.6, б) штоків, можна констатувати, що відновлена поверхня штока значно менша зазнала впливу зовнішніх факторів, на ній практично не змінилася чистота поверхні, відсутні риси, потертості та сліди корозії. Поверхня серійного штока теж не має серйозних дефектів, але чистота поверхні та її зовнішній вигляд змінилися. Поверхня покрита безліччю мікроскопічних подряпин, що вказує на низьку стійкість до дії абразивних частинок.

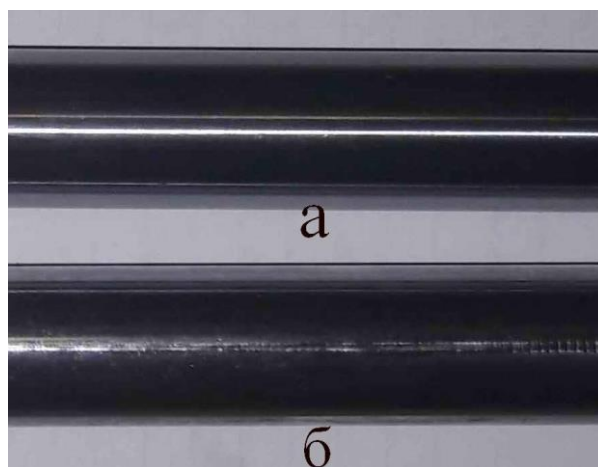


Рис. 3.6. Зовнішній вигляд поверхні штока гідроциліндра: а) відновлений; б) серійний.

Висновки по розділу

Випробування спряження «золотник – корпус» гідророзподільників Р-80, оснащених серійними, відновленими із застосуванням CVD-процесів та зміцненими із застосуванням CVD-процесів золотниками показали, що після завершення випробувань витoku в парах із серійними золотниками були в 2,7 та 1,6 рази вище, ніж у парах із зміцненими та відновленими деталями відповідно.

У процесі експлуатаційних випробувань встановлена висока довговічність вузлів гідроприводу, оснащених деталями, відновленими зміцненими комбінованими або карбідохромовими CVD-покриттями. За час випробувань не спостерігалось жодної відмови дослідних гідроциліндрів та гідророзподільників. Напрацювання гідророзподільників із зміцненими золотниками збільшилось у 2,45 рази.

ВИСНОВКИ

Високоєфективним напрямком у галузі відновлення та зміцнення деталей гідравлічних систем сільськогосподарської техніки є метод хімічного газофазного осадження карбідохромових покриттів та комплексних покриттів типу нікель-залізо-карбід хрому.

Відновлення деталей, що мають значне зношування (при необхідності нанесення покриття з товщиною більше 0,1мм), доцільно виконувати із застосуванням багат шарових покриттів, при цьому на початковому етапі необхідно використовувати дешеві реагенти на основі нікелю та заліза (для відновлення основної геометрії), а завершальний карбідохромовий шар (товщиною 35-45мкм), який забезпечить необхідні експлуатаційні властивості.

Стендові випробування зразків «диск – колодка» та модифікованих вузлів (гідророзподільників Р-80) підтвердили високі експлуатаційні властивості поверхонь відновлених та зміцнених із застосуванням CVD-методу металорганічних сполук, і показали, що зносостійкість сполучення «диск – колодка» з диском зі сталі 15Х (з цементацією і загартуванням до 56-58 HRC), була в 2,2 рази нижче, ніж у поєднанні з диском, зміцненим карбідом хрому (мікротвердість 18 ГПа); витік в парах «золотник – корпус», оснащених серійними золотниками (по завершенні випробувань), були у 2,7 та 1,6 рази вищими, ніж у парах із зміцненими та відновленими деталями відповідно.

Експлуатаційні випробування показали високу довговічність вузлів гідроприводу, оснащених деталями відновленими комбінованими та зміцненими карбідохромовими CVD-покриттями. За час випробувань відмов дослідних гідроциліндрів та гідророзподільників не спостерігалося.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дацюк Л.М., Вржещ М.В. Трактори і автомобілі. Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2017. 236 с.
2. Саєнко А.В. Трактори і автомобілі. Частина 1: Конструкція тракторів і автомобілів. Суми: СНАУ, 2012. 549 с.
3. Ксєневич И.П., Шарипов В.М. Тракторы конструкция. Москва : МГТУ МАМИ, 2001. 821 с.
4. Копылов Ю.М. Пуховицкий Ф.Н, Сапожников Е.Ж. Текущий ремонт колесных тракторов. Москва : Росагропромиздат, 1988. 287 с.
5. Кальбус Б.Л. Навесные системы и автономные гидросистемы новых тракторов. Киев : Урожай, 1976. 152 с.
6. Бойков В.П., Бобровник А.И., Рахлей А.И., Коваль В.А. Диагностика технического состояния машин. Минск: БНТУ, 2012. 116 с.
7. Долганов А.В., Тимухин С.А. Гидроабразивный износ насосов рудничного водоотлива. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. 180 с.
8. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. Киев: Техника, 1989. 128 с.
9. Буше Н. А. Совместимость трущихся поверхностей. Москва : Наука. 1981. 127 с.
10. Денисов В.А. Сравнительная оценка триботехнических свойств покрытий, полученных железнением. Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. № 2. С. 46-51.
11. Budinski K.G. Friction, Wear, and Erosion Atlas. CRC Press, 2013. 309 p.
12. Gnecco E., Meyer E. (Eds.) Fundamentals of Friction and Wear. Springer, 2007. 713 p.

13. Дегтярев А.И., Ханов А.М. Трение и износ деталей машин. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т., 2003. 122 с.
14. Мусалимов В.М., Сизова А.А., Иванов Е.К., Крылов Н.А., Ткачѐв А.П. Основы трибоніки. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 77 с.
15. Сорокин Г.М., Малышев В.Н., Куракин И.Б. Трибология сталей и сплавов. Москва : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. 383 с.
16. Ерохин М.Н. Способы модифицирования поверхностей трения деталей машин : монография. Москва : ФГБОУ ВПО МГАУ, 2014. 140 с.