

**Застосування композитних матеріалів та
нанотехнологій при відновленні паливної
апаратури та гідрообладнання**

**Доцент Уминський С.,
кандидат технічних наук**

АКТУАЛЬНІСТЬ

Широке застосування гідравлічних систем як в серійному виробництві, так і в створюваних знову машинах обумовлено не тільки сформованим десятиліттями підходом до проектування сільгоспмашин, а й реальними перевагами гідроприводу над електричними і механічними передачами. До переваг можна віднести високу питому потужність, малі розміри, зменшення вібрацій, швидкодія і високий коефіцієнт посилення, можливість регулювання переміщень пристосувань, надійне запобігання перевантаженням і ін. Якщо проаналізувати дані по несправностям складальних одиниць гідравлічних систем, то, можна зробити висновок: до вузлів, визначаючих довговічність гідроприводу в цілому, відносяться гідронасоси, гідромотори, гідророзподільники і гідроциліндри. При цьому розподіл несправностей всередині системи виглядає наступним чином: відмови насосів і моторів від 11 до 20%; відмови гідророзподільних пристроїв від 15 до 30%; відмови силових циліндрів від 7 до 10%.

МЕТА

Метою дослідження є збільшення міжремонтного ресурсу деталей гідрообладнання та паливної апаратури сільськогосподарської техніки застосуванням композитних матеріалів , наноматеріалів при відновленні електролітичними методами.

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ

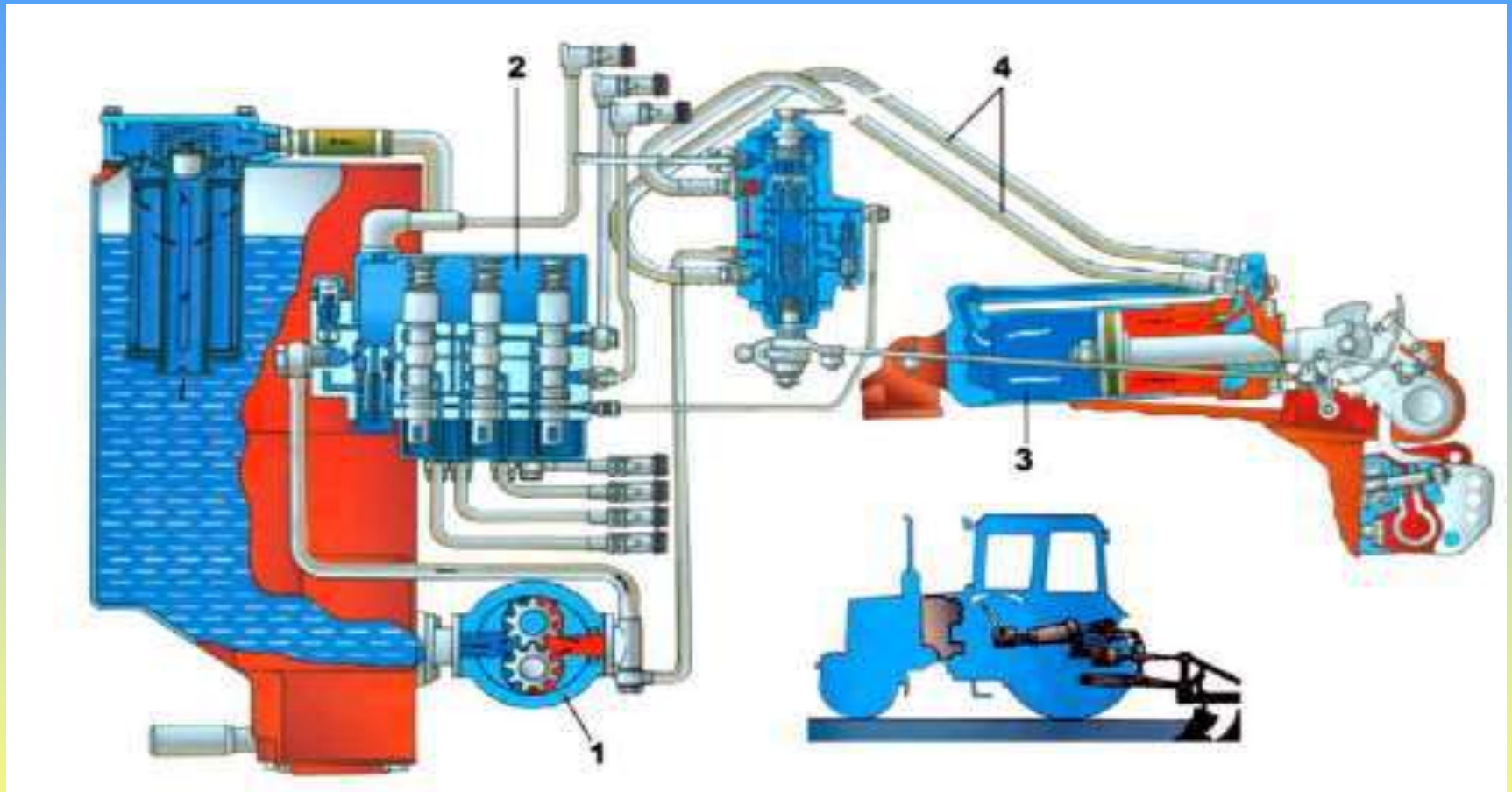
Основними завданнями є:

1. Визначити вид і ступінь зношування золотникових пар гідророзподільників сільськогосподарських тракторів і способи відновлення їх працездатності, дослідити режими отримання наноконпозиційного електролітичного покриття на основі заліза з високими фізико-механічними властивостями.

2. Дослідити можливості отримання одношарових і багатшарових CVD-покриттів, на зразках з конструкційних сталей і деталях гідравлічних систем (золотниках, штоках гідроциліндрів) сільськогосподарської техніки; фізико-механічні властивості наноконпозиційного покриття і розробити технологічний процес відновлення деталей гідрообладнання сільськогосподарської техніки:

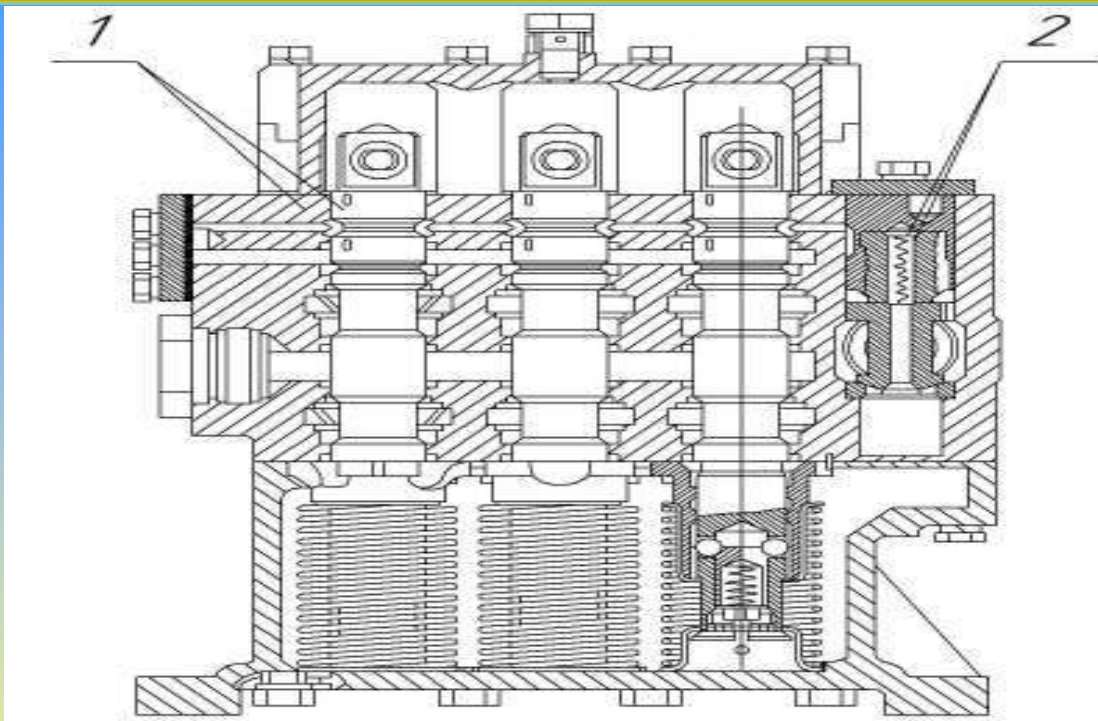
провести порівняльні стендові та експлуатаційні випробування деталей гідрообладнання сільськогосподарської техніки і визначити техніко-економічну ефективність запропонованої технології.

Гідравлічна апаратура сільськогосподарських тракторів



Гідравлічна апаратура сільськогосподарських тракторів: 1 - насос; 2 - гідророзподільник; 3 - силовий гідроциліндр; 4 - гідролінія.

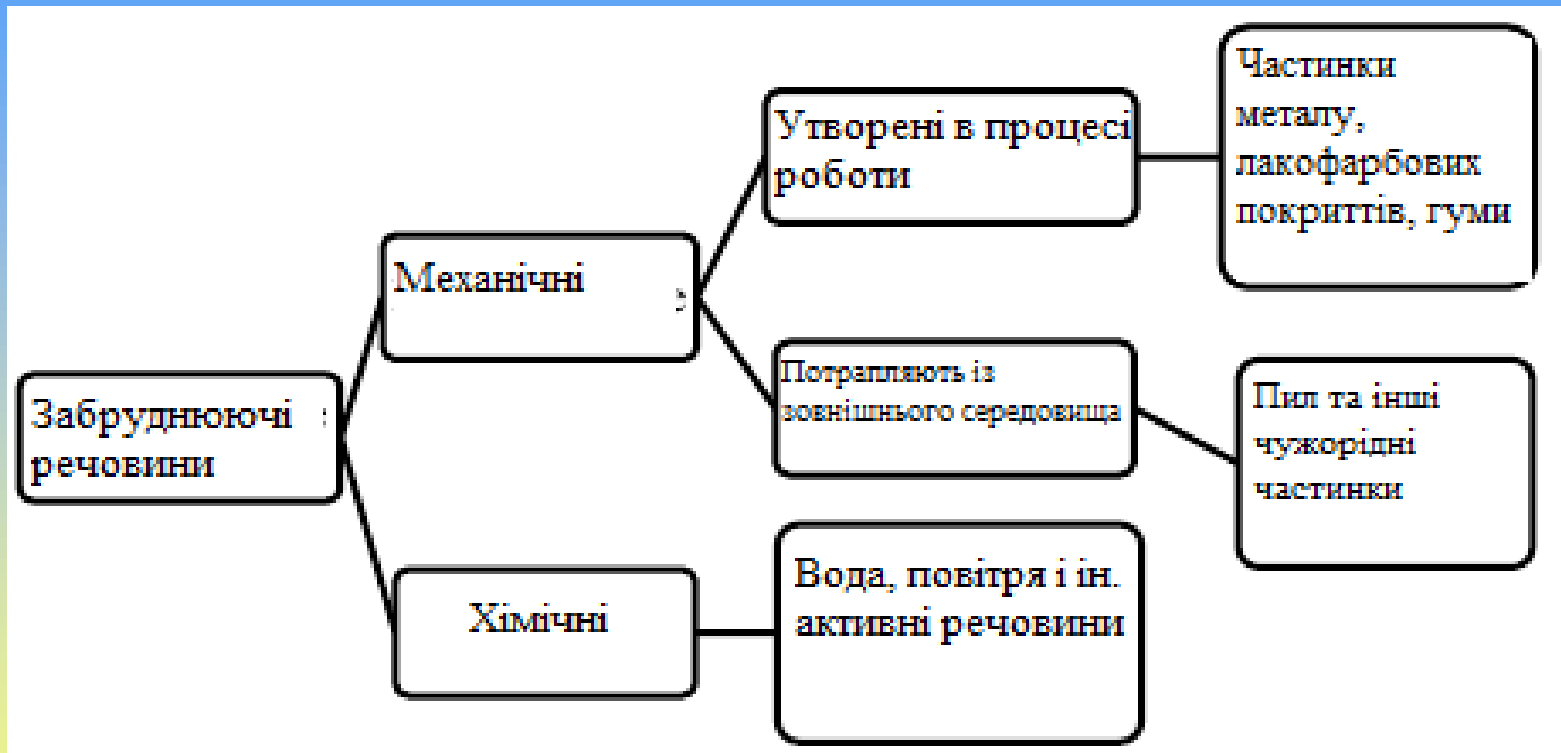
Прецизійні пари гідророзподільника



Прецизійні пари гідророзподільника : 1 - «золотник - корпус»; 2 - «перепускний клапан - спрямовуюч».

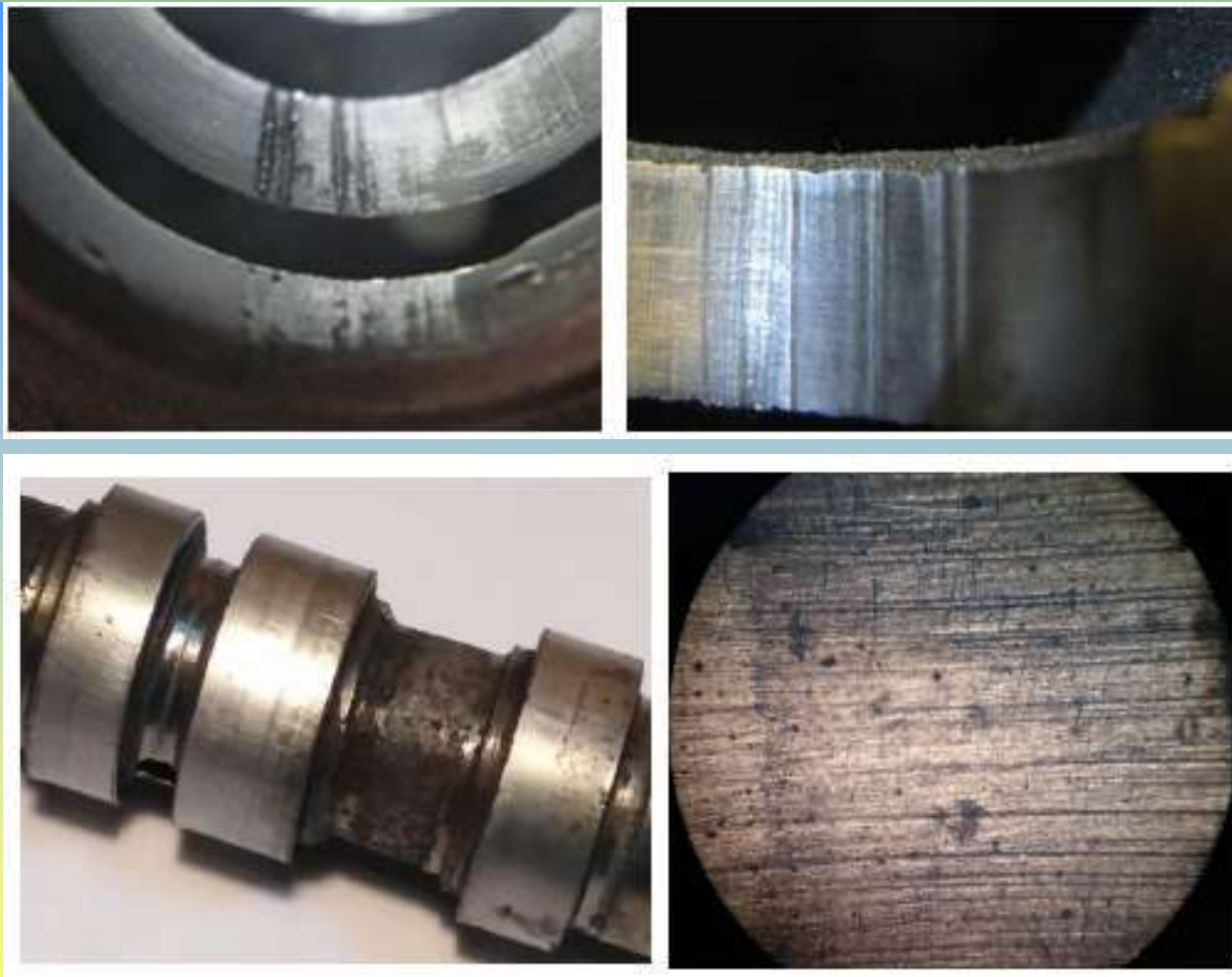
Основним дефектом, лімітуючим нормальну роботу гідророзподільника , є наявність витоків робочої рідини через діаметральні зазори між циліндричними отворами в корпусі і пасками золотника, які в процесі експлуатації збільшуються через зношування [40,43,44]. Необхідно дослідити термообробку, умови роботи, вид і ступінь зношування золотникової пари в процесі експлуатації, а також існуючі способи її відновлення.

Забруднюючі речовини



Характеристика забруднюючих речовин робочої рідини.

Зношена поверхня



Зношена поверхня робочих пасків отворів корпусу гідророзподільника

Залізнення, модифіковане дисперсними частинками, як спосіб відновлення золотникових пар.

Включення дисперсних частинок в електролітичні покриття дає можливість поліпшити механічні та антикорозійні властивості таких покриттів, не змінюючи зовнішньої форми виробів, на які вони наносяться. КЕП поєднують в собі властивості металів (електро- і теплопровідність, пластичність та ін.) і неметалів (жаропрочність, хімічна стійкість, висока твердість, змащувальні властивості і ін.) .

Переваги таких покриттів:

- вони утворюються безпосередньо на поверхні виробу і мають задану величину;
- матеріали виходять компактними, практично безпорістими;
- є можливість регулювання фізико-механічних властивостей одержуваних покриттів видом і кількістю додаючихся дисперсних матеріалів;
- використовуються економічні електролітичні методи і прийоми.

Ці властивості покриттів створюють передумови для широкого їх використання в різних галузях промисловості, в тому числі в ремонтному виробництві. Важливою перевагою КЕП, в порівнянні з твердими електролітичними покриттями, є збереження у них підвищених значень твердості в часі, тоді як звичайні покриття з початковою високою твердістю втрачають твердість вже в перші дні після отримання . Зносостійкість КЕП в кілька, а іноді і в десятки разів більше, ніж зносостійкість класичних покриттів.

Дисперсні матеріали

Дисперсні матеріали, що впливають на властивості електролітичних покриттів.

Властивості покриттів	Дисперсні матеріали
Твердість та зносостійкість	Al_2O_3 , WC, AlN, ZnO ₂ , TiC, ZnB ₂ , CrB ₂ , ZrC, ThO ₂ , TAC, SiO ₂ , WSi ₂
Зносостійкість в умовах сухого тертя і підвищених температур Жаростійкість	Al_2O_3 , ThO ₂ , SiO ₂ , аморфний вуглець Al_2O_3 , SiO ₂ , TiC, TAC, WSi ₂ , аморфний вуглець
Корозійна стійкість	AlN, ZnO ₂ , TiC, ZnB ₂ Al_2O_3 , WC, ThO ₂ ,
Антифрикційність	WC, MoS ₂ графіт
Термостійкість	Оксиди, карбіди
Самозмащування	WC, MoS ₂ графіт
Теплопровідність	AlN, WSi ₂
Ерозійна стійкість	карбіди
Прочність	Al_2O_3 , AlN,

Хімічна парофазна металлізація.

Хімічна парофазна металлізація (CVD-метод) це процес отримання металевих покриттів шляхом розкладання певних хімічних речовин на нагрітій підкладці. До речовин, здатних виділяти чисті метали під дією певного виду енергії, відносяться металоорганічні сполуки (наприклад, карбоніли, що мають зв'язок метал-вуглець), а також певні неорганічні сполуки (наприклад, галогени)

При порівнянні CVD-процесу з іншими методами отримання металевих покриттів: з гальванічним осадженням, лазерним та газопорошковим наплавленням, дифузійної металізацією, плазмовим і газополуменевим напиленням, і ін., можна виділити наступні переваги:

- висока щільність покриттів, яка забезпечується специфічним механізмом формування шару (при розкладанні МОС атоми металу шикуються впритул один до одного, створюючи матеріал, який має практично теоретичну щільність);
- можливість отримання покриттів з високими значеннями поверхневої твердості (до 32 000 МПа);
- можливість металізації деталей, що мають складну форму, що забезпечується рівномірністю розподілу концентрації парів МОС в обсязі реакційної камери;
- швидкість формування покриттів, до 10 мкм / хв;
- порівняно низькі температурні режими металізації (від 70 до 650 ° С);
-

Технологічні методи отримання покриттів

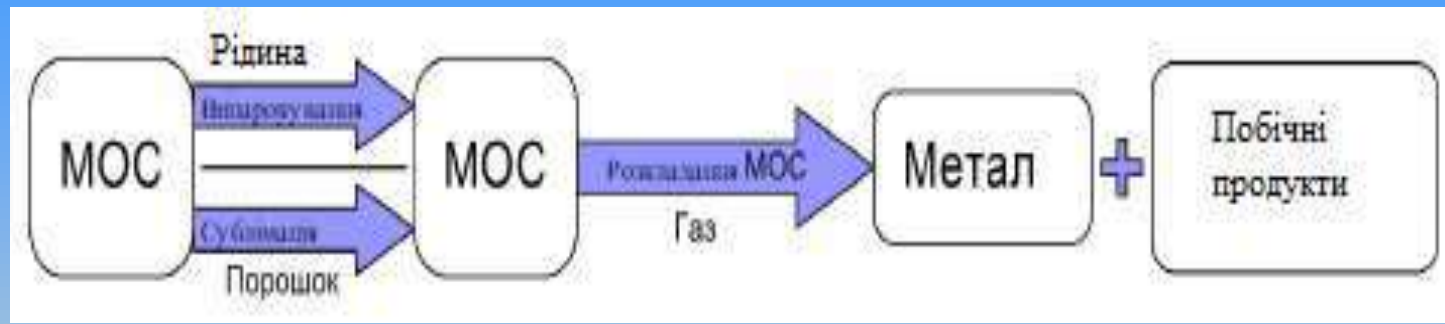
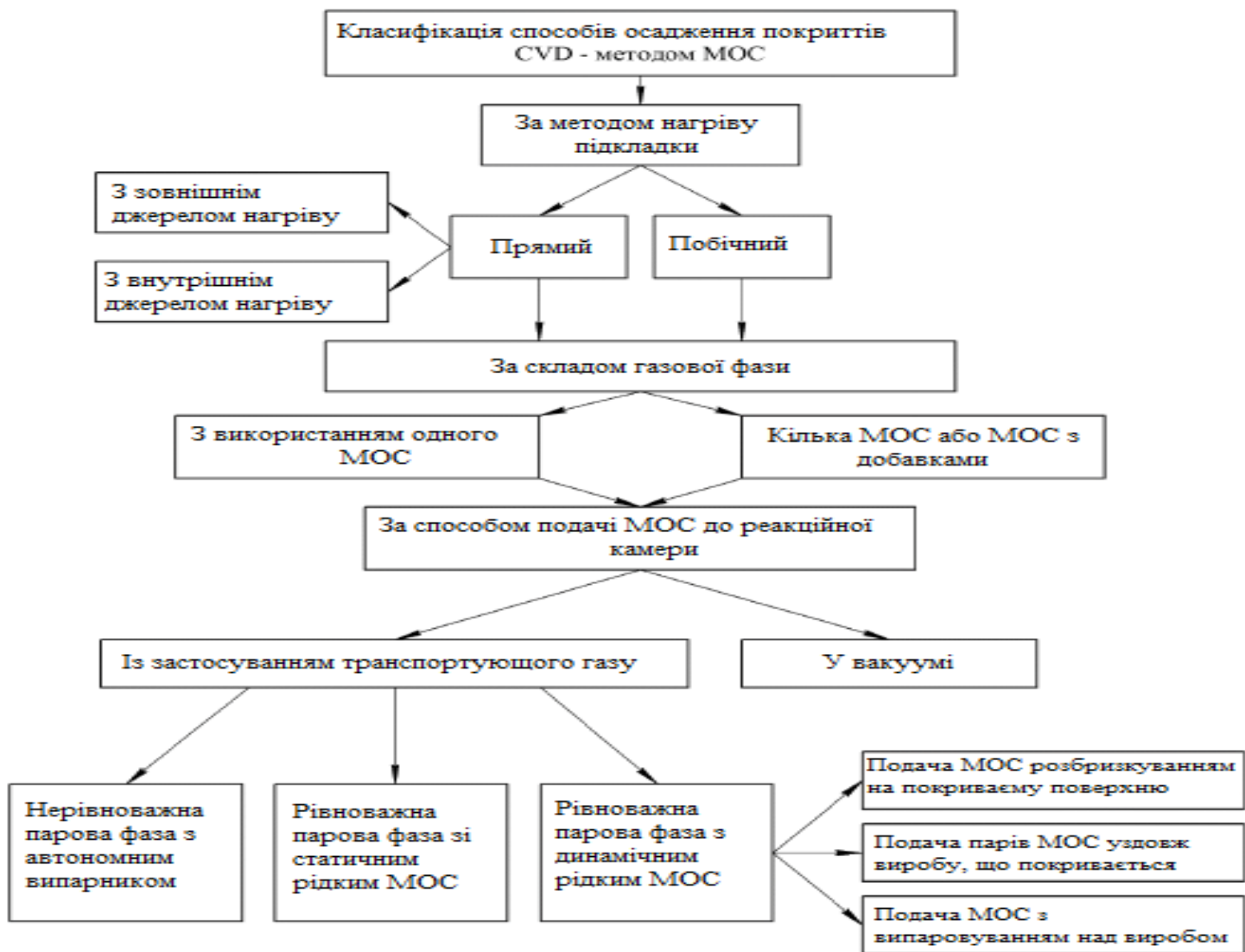


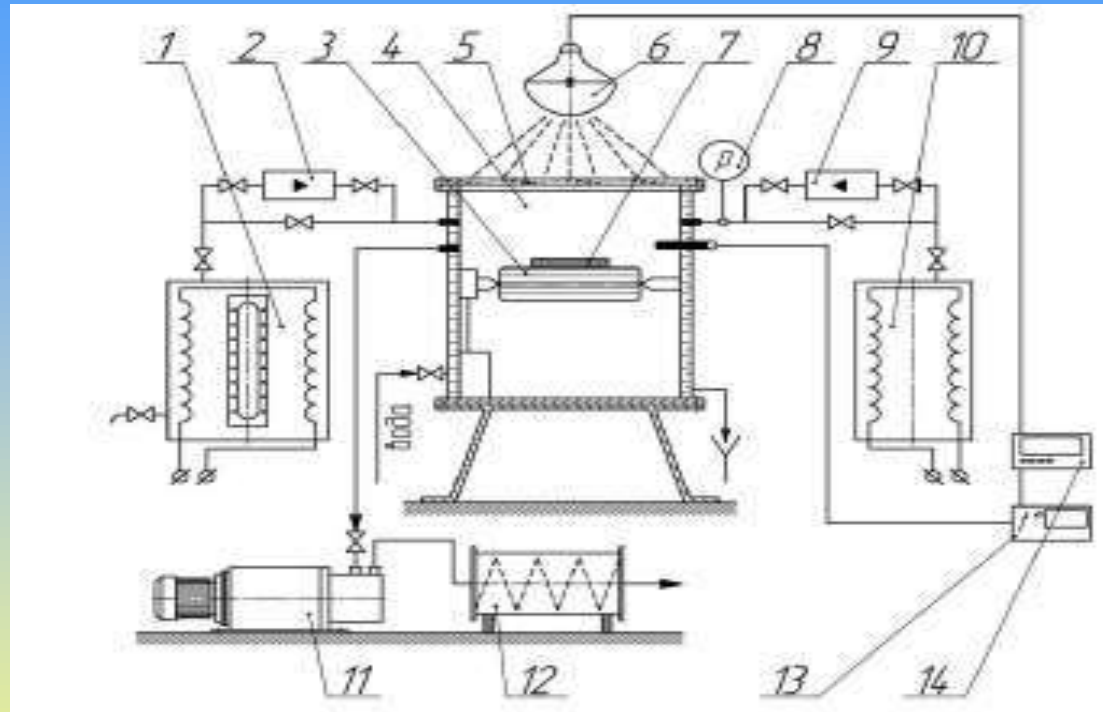
Схема реалізації основних і побічних реакцій CVD-методу

Для одержання покриттів на зразках і деталях, використовуються технологічні методи і обладнання, що забезпечують сумісність використовуваних МОС (металоорганічні сполуки), з матеріалами підкладок, розмірів і геометричної форми зміцнюючих і відновлюваних деталей

Класифікація схем CVD-методу МОС



Дослідна установка для нанесення покриттів методом хімічної парофазної металізації.



Технічні характеристики установки:
- споживана потужність (електрична) - до 4 кВт;
- максимальна температура в камері - 600 ° С;
□-витрата газоподібного МОС - до 30 л / год.

1 - бак з МОС в рідкій фазі; 2, 9 - витратоміри;
3 - підставка; 4 - реакційна камера; 5 - кварцове скло; 6 - лампа ІК; 7 - зразок; 8 - вакуумметр; 10 - сублиматор МОС; 11 - вакуумнасос; 12 - піч допалювання; 13 - вимірювальний блок; 14 - регулюючий пристрій.

Установки для нанесення покриттів CVD-методом МОС

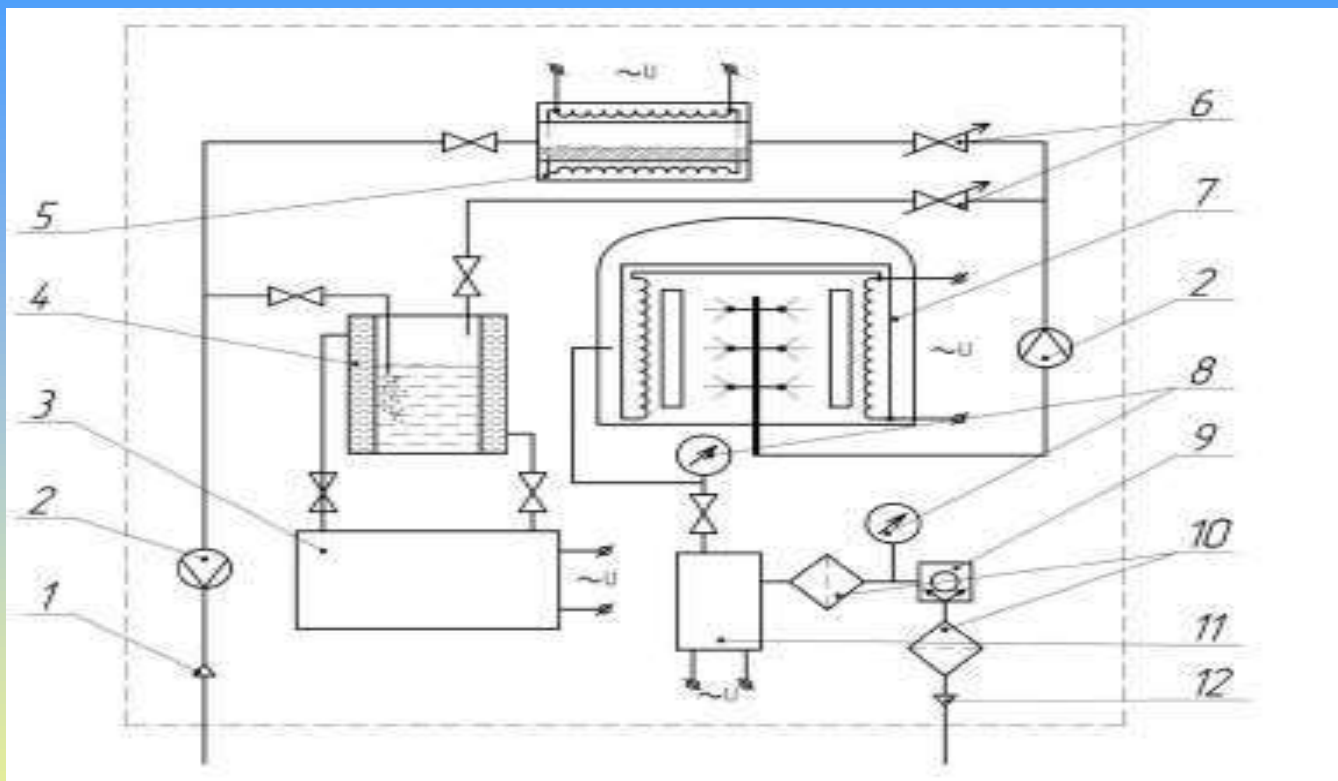
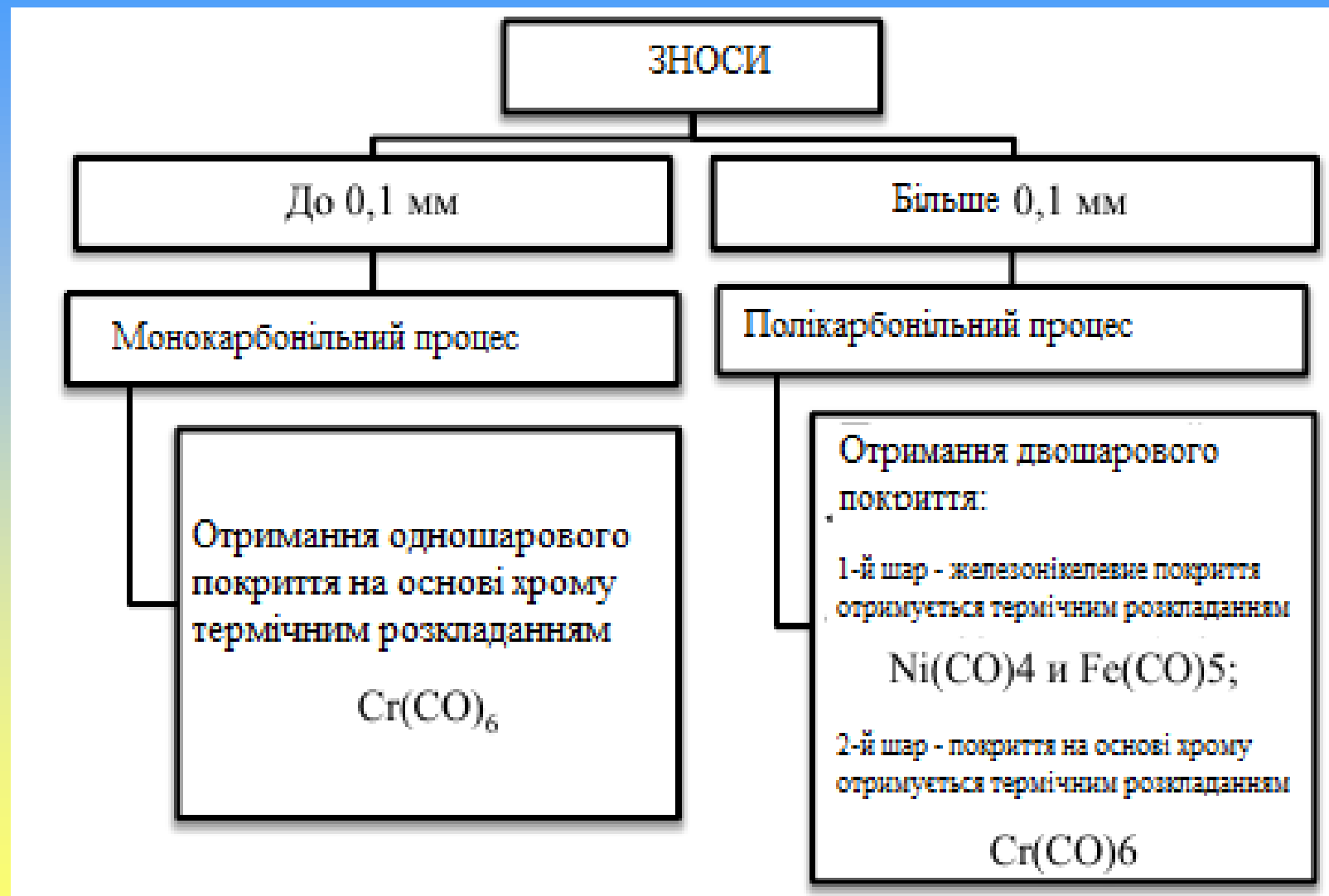


Схема промислової установки для нанесення покриттів CVD-методом МОС на деталі: 1 - підведення інертного газу; 2 - витратомір; 3 - термостат; 4 - змішувач; 5 - сублиматор; 6 - клапан регулювальний; 7 - реакційна камера; 8 - вакуумметр; 9 - вакуум-насос; 10 - фільтруючий елемент; 11 - піч дорозкладання; 12 - випуск очищеного газу в атмосферу.

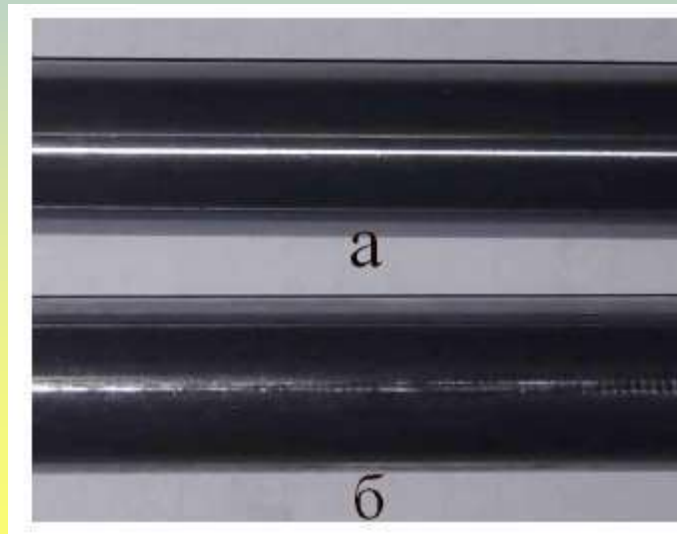
Рекомендації по вибору типу процесу нанесення покриттів в залежності від величини зносу деталей.



Відновлення вузлів гідрообладнання



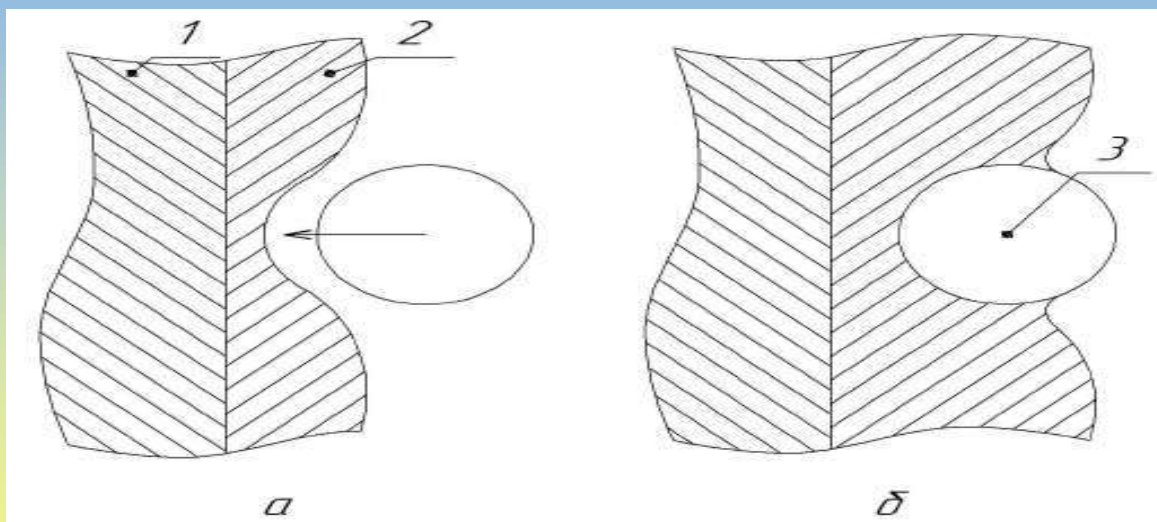
Поверхні штоків гідроциліндрів в ході експлуатації : а) відновлених; б) серійних.



Зовнішній вигляд поверхні штока гідроциліндра: а) відновленого; б) серійного

Механізм утворення композиційних електролітичних покриттів

Електролітичні композиційні покриття (КЕП) являють собою металістичні матриці з заданим розподілом в них різноманітних розміщювачів, в якості яких застосовують порошки, волокна і матеріали з відмінними від матриці властивостями. Такі покриття характеризуються межею поділу фаз; за характером структури вони дисперсно-зміцнені і їх можна отримувати різними способами. КЕП осідають з електроліту з додаванням дисперсної фази одного виду (AlN , MoS_2 , Al_2O_3 , TiC , SiC і ін.), або кількох видів одночасно



Екранування нанорозмірною часткою покриття: а - утворення поглиблення; б - заростання наночастинки в поглибленні; 1 - деталь; 2 - покриття; 3 - нанорозмірних частинок.

Схема заростання нанорозмірних частинок

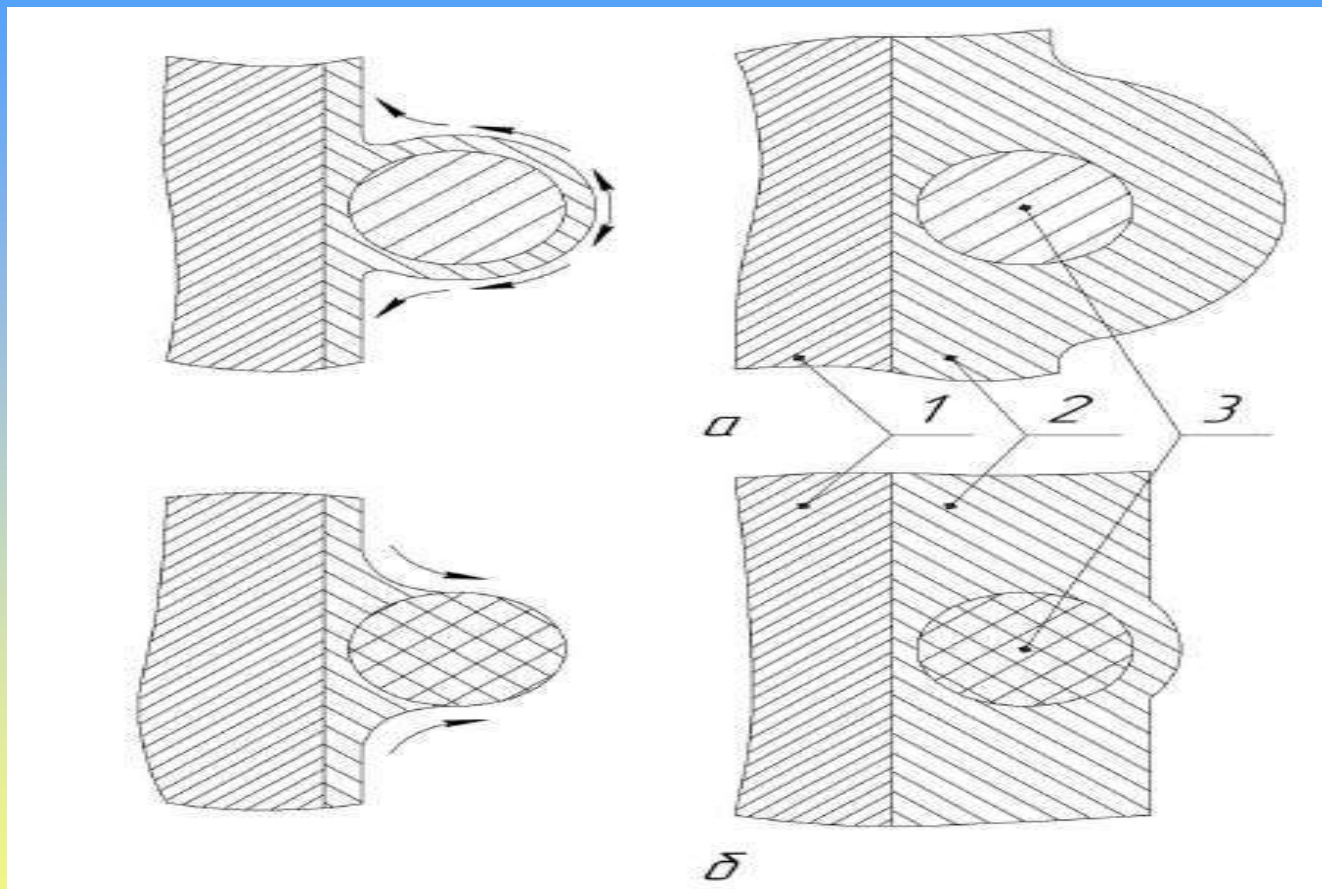


Схема заростання нанорозмірних частинок: а - струмопровідних; б - діелектричних; 1 - деталь, 2 - покриття, 3 - нанорозмірна частинка

Методика отримання наноконпозиційних покриттів на основі заліза.

У ремонтному виробництві до електролітів висувають такі вимоги :

- 1) електроліт повинен забезпечувати можливість отримання на деталях покриттів з високими фізико-механічними властивостями;**
- 2) властивості одержуваних покриттів повинні знаходитися у відповідності із заданими режимами електролізу і регулюватися цими режимами в широких межах;**
- 3) процес отримання покриттів повинен бути максимально продуктивним;**
- 4) електроліт повинен бути простим за складом і надійним в експлуатації;**
- 5) застосовуючися для приготування реактиви повинні бути дешевими і недефіцитними;**
- 6) способи контролю і коригування електроліту повинні бути простими і доступними.**

Цим вимоги повною мірою задовольняють хлористі електроліти залізнення.

Обладнання для нанесення наноконпозиційних електролітичних покриттів.

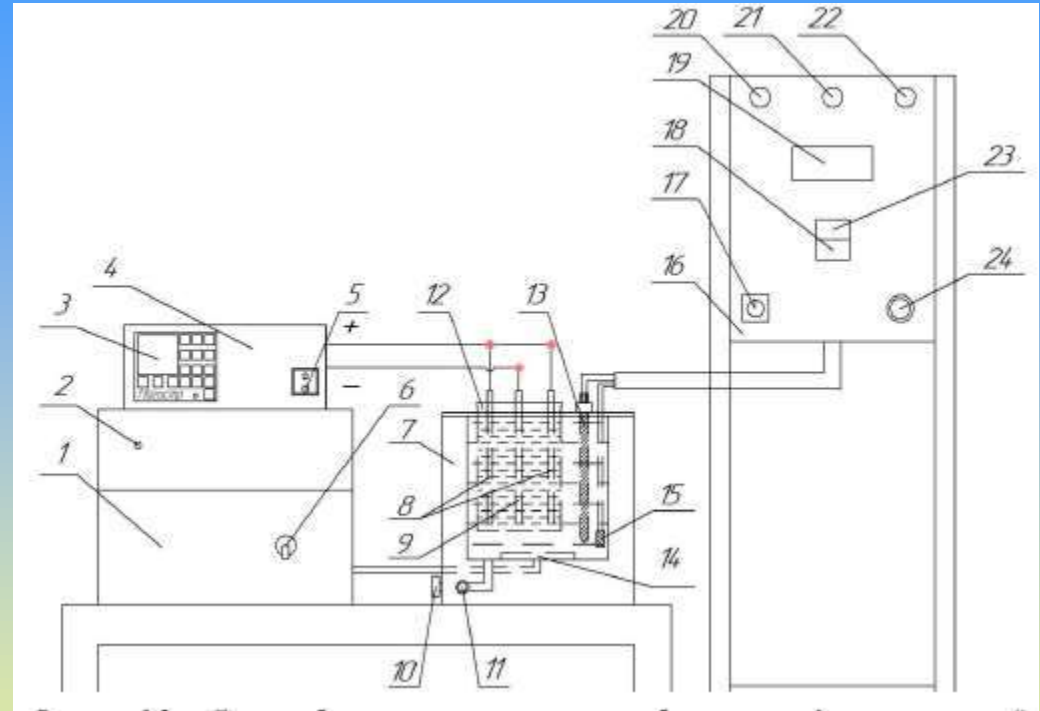


Схема гальванічного обладнання: 1 – ультразвуковий генератор (УЗГ); 2 - індикатор роботи УЗГ; 3 – пульт керування джерелом струму; 4 - джерело струму ГІП 500-30 (5) x12P-220-П2 / -В2; 5 - кнопка включення (виключення) джерела струму; 6 - тумблер включення (виключення) УЗГ; 7 - установка для нанесення наноконпозиційних електролітичних покриттів; 8 - аноди; 9 - катод (деталь); 10 - зливний кран; 11 - зливний канал; 12 - ємність для електроліту; 13 - ТЕН; 14 - ультразвуковий елемент; 15 - температурний датчик; 16 - шафа автоматичного управління температурою; 17 - тумблер включення (виключення) шафи управління температурою; 18 - кнопка зупинки автоматичного регулювання температури; 19 - інформаційне табло і панель управління шафи; 20 - індикатор енергетичний; 21 - індикатор нагріву; 22 - індикатор рівня рідини; 23 - кнопка включення автоматичного регулювання температури; 24 - аварійне відключення шафи.

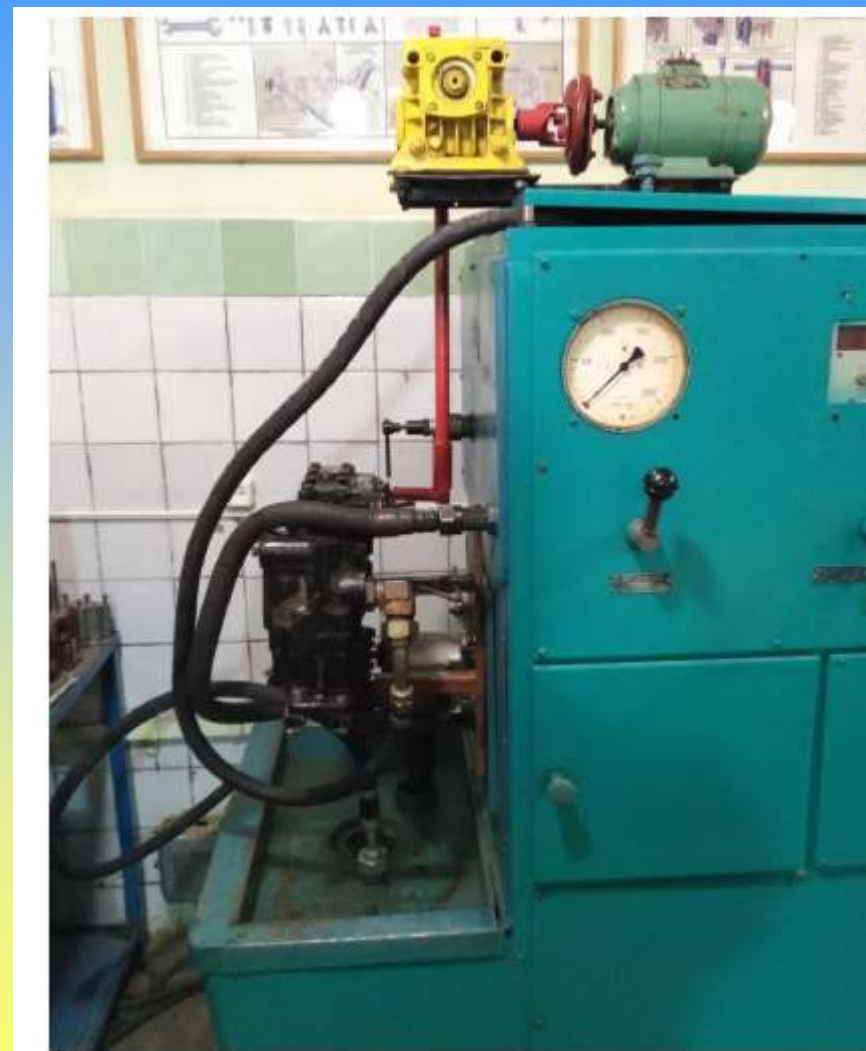
Відновлення золотникових пар гідророзподільника.



**Гідророзподільники, відновлені за технологією з використанням
НКЕП на основі заліза.**



Гідророзподільники, відновлені за технологією з використанням НКЕП на основі заліза.



Стенд КІ-4815М для випробувань гідророзподільників.

Схема для виміру витоків гідророзподільника

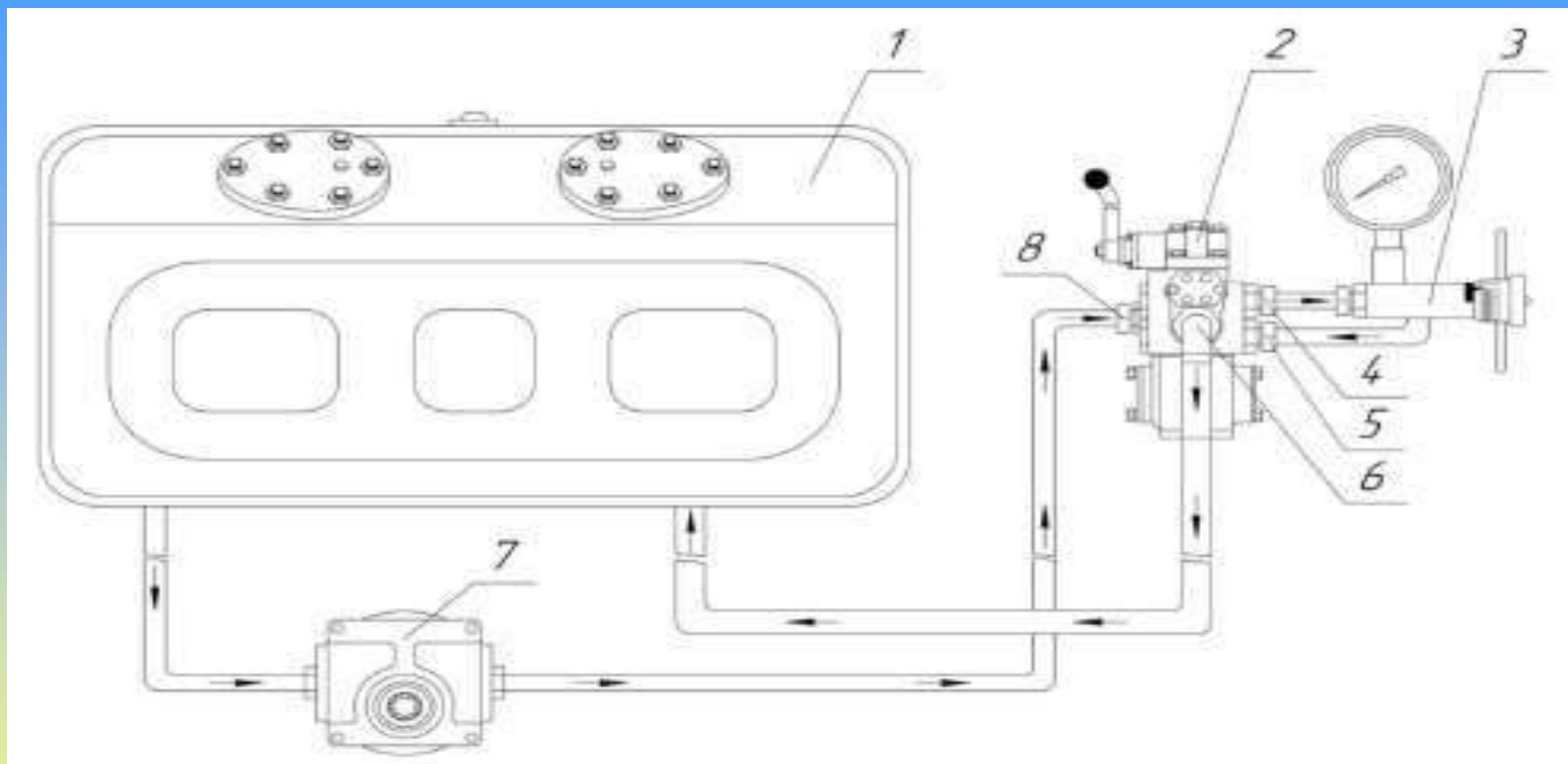
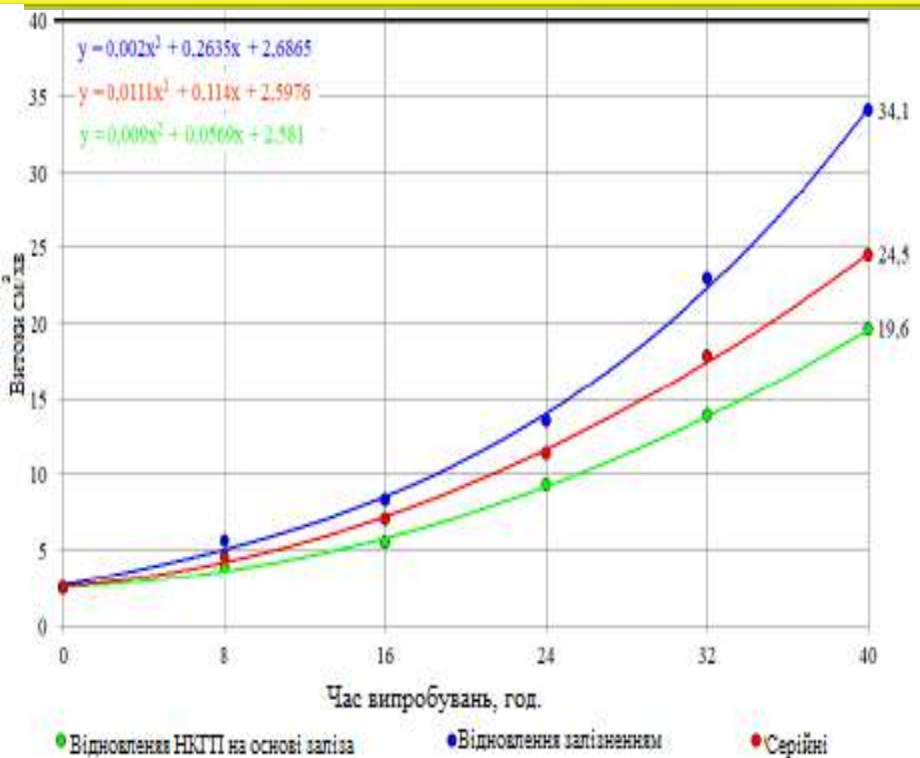
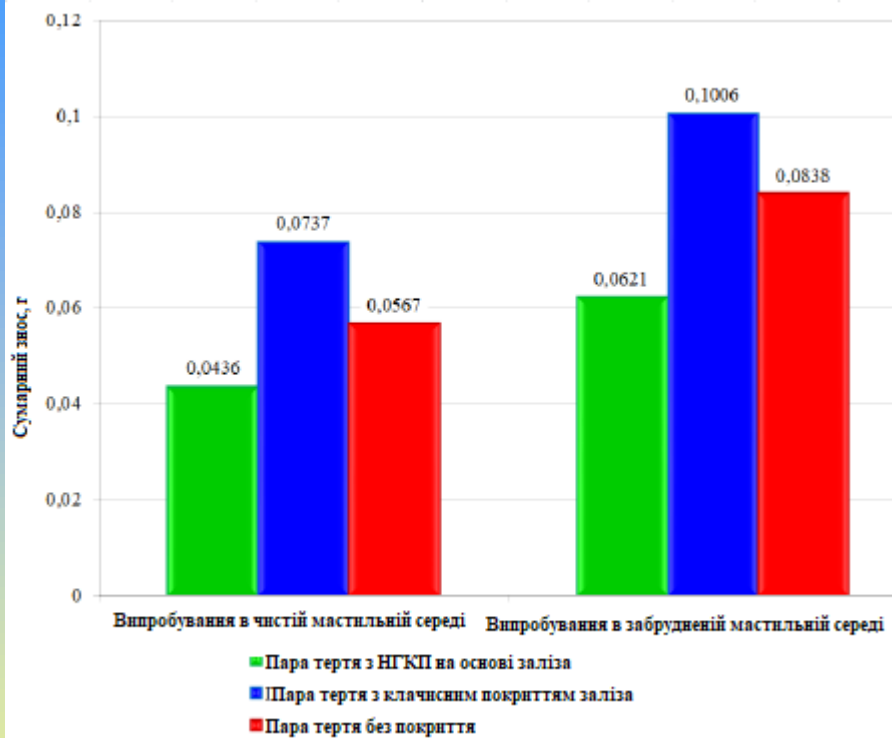


Схема для виміру витоків при проведенні експлуатаційних випробувань гідророзподільників, встановлених на трактори К-700А: 1 - гідробак 700А ; 2 - гідророзподільник; 3 - дросель-витратомір КІ-1097-1; 4 - вихідний канал гідророзподільника; 5 - вхідний канал гідророзподільника; 6 - канал зливу гідравлічної рідини в бак стенду; 7 - насос НШ-100А-3Л; 8 - канал для підключення гідророзподільника до робочого насосу.

Результати стендових випробувань



Сумарний знос по масі пар тертя після прискорених порівняльних трибологічних випробувань.

Результати стендових випробувань гідророзподільників.

Висновки

- 1. Причини порушення геометричної форми деталей золотникових пар визначаються в основному гідроабразивним зносом при утриманні механічних домішок в гідравлічній рідині. При аналізі зносного стану найбільший сумарний знос, що виникає в золотниковій парі гідророзподільника не перевищує 0,2 мм.
- 2. Проведений аналіз технологій відновлення деталей золотникової пари показав, що для корпусу гідророзподільника найбільш перспективним є спосіб відновлення зношених пасків алмазним хонінгуванням, а для золотника - нанесення НЕР.
- 3. Високоєфективним напрямком в області відновлення і зміцнення деталей гідравлічних систем сільськогосподарської техніки є метод хімічного газофазного осадження карбідохромових покриттів і комплексних покриттів типу нікель-залізо-карбід хрому. Експлуатаційні випробування показали високу довговічність вузлів гідроприводу, оснащених деталями відновленими комбінованими і зміцненими карбідохромовими CVD-покриттями.
- 4. При випробуваннях на корозійну стійкість встановлено, що наноконпозиційне електролітичне покриття на основі заліза має корозійну стійкість в 1,6 рази вище, ніж класичне електролітичне покриття.
- 5. На підставі результатів теоретичних досліджень і лабораторних випробувань розроблено технологічний процес відновлення золотникових пар гідророзподільників із застосуванням наноконпозиційного електролітичного покриття на основі заліза. Стеновими випробуваннями було встановлено, що величина витоків у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлювали за розробленою технологією, в 1,7 рази менше, ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких були відновлені за існуючою технологією, і в 1,25 рази менше в порівнянні з серійними.
-

МЕТОДИ ПЕРЕВІРКИ СТУПЕНЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

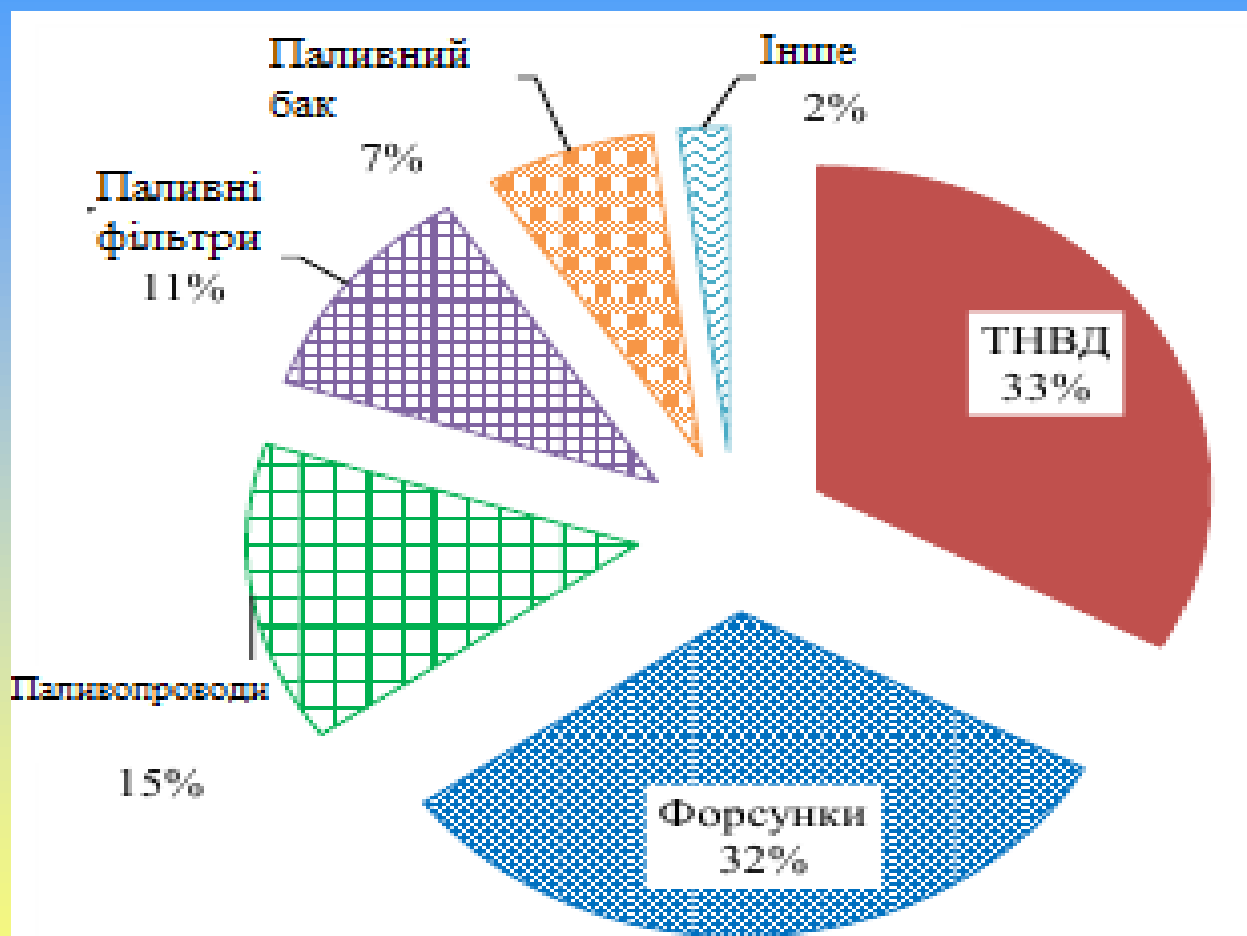


Рис. 1.2. Розподіл несправностей і відмов паливної апаратури сільськогосподарської техніки по агрегатам.

МЕТОДИ ПЕРЕВІРКИ СТУПЕНЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

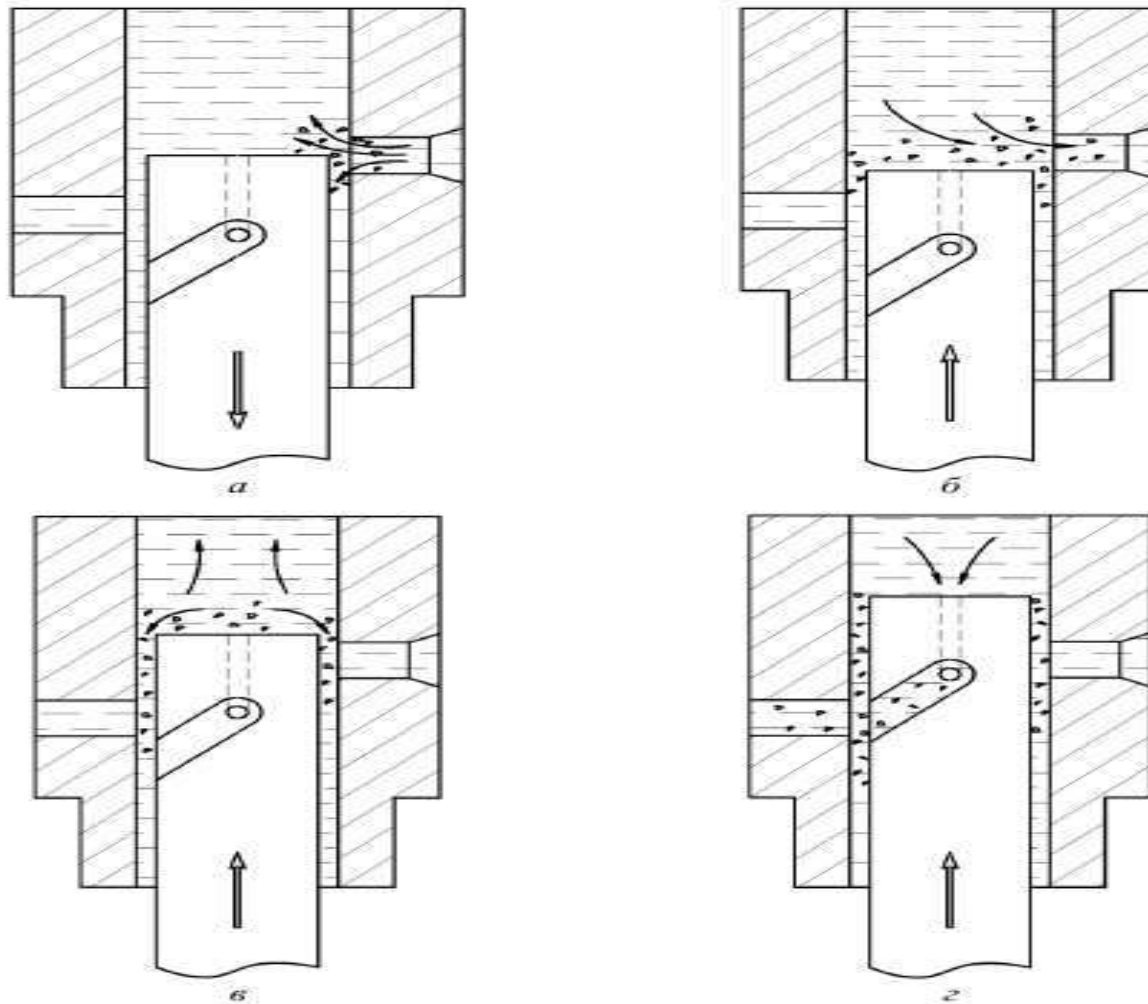


Рис. 1.3. Механізм зношування плунжерних пар: а - момент подачі палива; б - початковий момент нагнітання; в - момент нагнітання палива; г - момент відсічення подачі.

МЕТОДИ ПЕРЕВІРКИ СТУПЕНЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

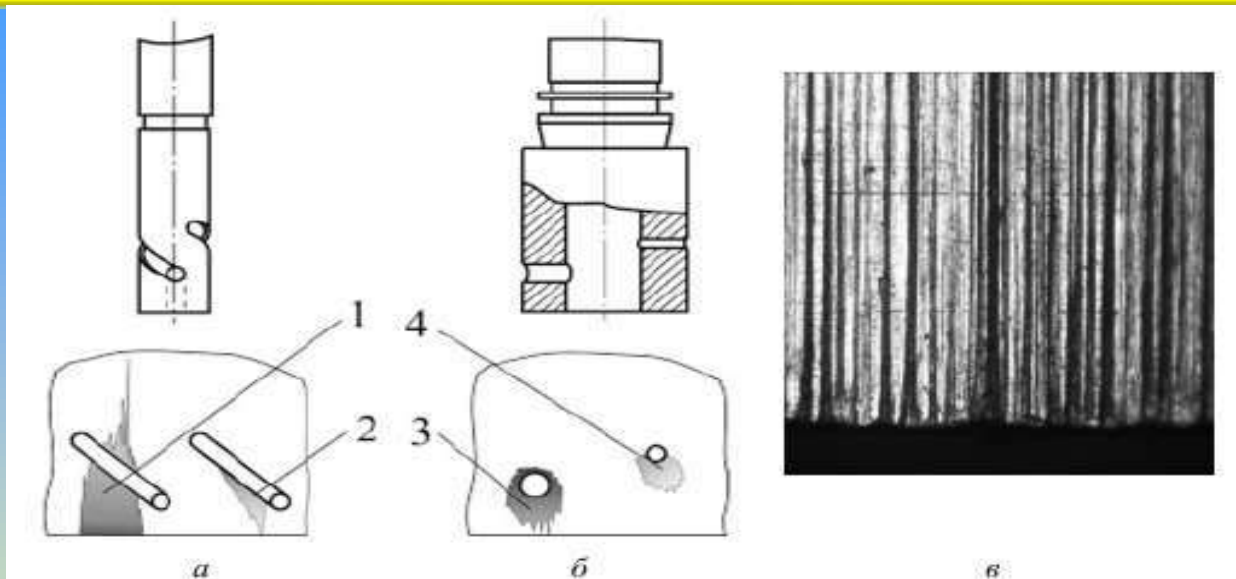


Рис. 1.4. Місця зносу: а - плунжера, б - втулки; в - зовнішній вигляд зношеної поверхні плунжера (Ч50); 1, 3 - зони місцевих зносів відповідно плунжера і втулки поблизу впускного вікна; 2, 4 - зони місцевих зносів відповідно плунжера і втулки поблизу відсінного вікна.

Крім абразивних частинок на знос плунжерних пар впливає вода, яка присутня в дизельному паливі, яка сприяє утворенню слабких і сильних електролітів водорозчинних кислот, які є найбільш активними реагентами електрохімічної корозії [11]. Вода і розчинені в ній речовини викликають сильну корозію, призводять до додаткового забруднення дизельного палива продуктами корозії, відкладенню їх на стінках паливних баків, паливопроводів, попаданню в зазори прецизійних деталей.

Відновлення плунжерних пар



Рис. 3.13. Схема технологічного процесу відновлення плунжерних пар ПНВТ дизеля ЯМЗ-238.

Відновлення плунжерних пар



Рис. 3.14. Установка для наноконпозиційного електролітичного хромування.

Відновлення плунжерних пар

Таблиця 4.1 Результати розрахункових і експериментальних досліджень визначення ступеня працездатності ГПП на робочих стадіях розвитку зносу по зміні величин діагностичних ознак на одноцикловій діаграмі тиску палива в лінії високого тиску.

№	Діагностична ознака	Результати досліджень
1	Низький залишковий тиск	Ознака не характеризує знос
2	Пологе наростання тиску	Ознака не характеризує знос
3	Низьки пики тиску	Зниження величини максимального тиску палива до 2 %
4	Широка зона хвильових коливань	Ознака не характеризує знос
5	Запізнення наростання тиску	Ознака не характеризує знос
6	Піздний початок вприску	Ознака не характеризує знос
7	Зменшення обсягу подачі	Зниження величини циклової подачі до 15 %
8	Зменшена тривалість кривої	Ознака не характеризує знос

Висновки

- 1. За результатами розрахункових і експериментальних досліджень впливу докритичного ступеня зносу ПП на роботу ПА, встановлено, що максимальний тиск упорскування знижується на величину порівнянну з похибкою приладів, а циклова подача на доступне для вимірювання значення.
- 2. Дослідженнями впливу зносу ПП на показники робочого процесу дизеля, встановлено, що характеристики тепловиділення і індикаторні діаграми істотно не змінюються аж до критичних величин зазору.
- 3. Встановлено нанорозмірні матеріали, що дозволяють отримувати покриття з підвищеними значеннями мікротвердості і зносостійкості, підтверджують теоретичні передумови про підвищення мікротвердості покриттів.
- 4. Найбільша мікротвердість наноконпозиційного покриття на основі хімічного нікелю 9,64 ГПа була отримана при концентрації частинок оксиду алюмінію 3,2 г / л, концентрації частинок політінаната калію 4,1 г / л і температурі подальшої термічної обробки 350 ° С, що в 1,85 рази перевищила мікротвердість базового покриття хімічного нікелю і в 1,48 рази твердість сталі 15Х.
- 5. Наноконпозиційні гальвано-хімічні покриття мають велику кількість включень різного розміру по всій поверхні і візуально більш щільну структуру.
-