

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ПІСЛЯРЕМОНТНОГО РЕСУРСУ
ГІДРАВЛІЧНИХ ЦИЛІНДРІВ РЕМОНТНО-
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Єременко В'ячеслав Васильович

Керівник: _____ Мельянцов Петро Тимофійович

Рецензент: _____

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц.

(вчене звання)

Дудін В. Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Єременко В'ячеслав Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення післяремонтного ресурсу гідравлічних циліндрів ремонтно-технологічними методами»

керівник роботи Мельянцов Петро Тимофійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від

« 09 » листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Конструкційні особливості гідравлічних циліндрів. Статистична оцінка структурних параметрів деталей гідроциліндра за даними ремонтних підрозділів. Існуючі стенди та технологічна оснастка для контролю складових гідроциліндрів. Технологічні процеси з ремонту гідроциліндрів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Постановка проблеми забезпечення працездатності гідравлічних циліндрів. 2. Аналітичне обґрунтування працездатності штокового ущільнювального вузла при ремонті гідроциліндра. 3. Системний підхід до проведення досліджень. 4. Результати емпіричних досліджень. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Техніко-економічна оцінка проектних рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень (2 арк., А4). 2. Теоретичні дослідження (3 арк., А4). 3. Методика досліджень (1 арк., А4). 4. Експериментальні дослідження (4 арк., А4). 5. Економічні показники (1 арк., А4). 6. Висновки (3 арк., А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Мельянцов П. Т., доцент		
5	Деркач Л. Д., доцент		
6	Вініченко І. І., проф.		
нормоконтроль	Івлєв В. В., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2023 р.	
2	Теоретичний	до 15.10.2023 р.	
3	Експериментальний	до 02.11.2023 р.	
4	Охорона праці	до 15.11.2023 р.	
5	Економічний	до 25.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.12.2023 р.	

Студент

(підпис)

Єременко В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Мельянцов П. Т.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Єременко В. В. «Підвищення післяремонтного ресурсу гідравлічних циліндрів ремонтно-технологічними методами» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Технічний сервіс»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2023р.

Робота складається з шести розділів. В першому розділі розглядаються конструктивні особливості гідроциліндрів, аналізуються методи, які забезпечують надійність штокових ущільнювальних вузлів гідроциліндрів при їх ремонті, та висунуто задачі роботи.

В другому розділі проведені розрахунково-теоретичні дослідження по забезпечення працездатності штокового ущільнювального вузла при ремонті гідроциліндрів.

В третьому розділі наводяться методики та експериментальна установка для проведення експериментальних досліджень.

В четвертому розділі наводяться результати лабораторних досліджень та проводиться їх аналіз.

П'ятий розділ присвячено розгляду питань з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Економічна оцінка реалізації технологічного процесу наводиться в шостому розділі.

Ключові слова: гідравлічний циліндр, ущільнювальний вузол, працездатність, технологія, гідропривід, структурний параметр, ресурс, зносостійкість, ремонт.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ ЦИЛІНДРІВ.....	10
1.1 Конструктивні особливості гідроциліндрів і умови їх експлуатації.....	10
1.2 Аналіз факторів, що впливають на надійність гідроциліндрів.....	14
1.3 Методи забезпечення надійності ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндрів	17
1.4 Методи і засоби оцінки технічного стану гідроциліндрів.....	21
1.5 Мета й завдання досліджень.....	25
2. АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ШТОКОВОГО УЩІЛЬНЮВАЛЬНОГО ВУЗЛА ПРИ РЕМОНТІ ГІДРОЦИЛІНДРА.....	27
2.1 Теоретичний аналіз забезпечення герметичності й підвищення зносостійкості штокового ущільнювального вузла	27
2.2 Експертна оцінка способів відновлення деталей штокового ущільнювального вузла при ремонті гідроциліндрів.....	38
3. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	43
3.1 Програма та загальна методика досліджень	43
3.2 Методика дослідження технічного стану деталей гідроциліндрів, що надходять до ремонту.....	43
3.3 Методика визначення показників ремонтпридатності гідроциліндрів	45
3.4 Розробка методики оцінки ступеню герметичності штокового ущільнювального вузла гідроциліндра	48
3.5 Методика оцінки технічного стану деталей штокового ущільнювального вузла гідроциліндрів	51
3.6 Методика проведення лабораторних досліджень технічного стану робочих поверхонь деталей	52
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕМПІРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	54
4.1 Технічна експертиза деталей гідроциліндрів, що надходять до ремонту	54
4.2 Оцінка ремонтної технологічності гідроциліндрів	59

	6
4.3 Дослідження герметичності відремонтованих ущільнювальних вузлів	62
4.4 Технологічні рекомендації із забезпечення працездатності штокових ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндрів.....	70
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	74
5.1 Охорона праці при дослідженні технічного стану циліндрів	74
5.2 Організація пожежної безпеки у виробничому підрозділі.....	75
5.3 Покращення умов праці в лабораторії.....	76
5.4 Дії у надзвичайних ситуаціях при ремонті гідравлічних агрегатів	79
6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	80
ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89
ДОДАТКИ.....	91

ВСТУП

Роздільно-агрегатна гідравлічна система тракторів дозволяє значно підвищити їх технічний рівень, забезпечуючи механізацію виробничих процесів в умовах експлуатації. На сьогоднішній день в гідравлічних системах тракторів широке застосування знайшли силові гідроциліндри двосторонньої дії марки (Ц). В порівнянні з конструкцією інших гідравлічних агрегатів, які входять до гідравлічних приводів (гідронасоси, гідророзподільники), гідроциліндри мають більш просту конструкцію, а звідси і більш високі показники експлуатаційної надійності.

Водночас, в процесі роботи гідравлічної системи трактора, гідроциліндри сприймають невірноважені навантаження, які обумовлені появою вібрацій при піднятті чи опусканні плуга або кузова причепа, зростанням бічних навантажень на шток гідроциліндра при його висуванні, які перерозподіляються на його передню кришку та поршень. За таких умов роботи у деталей гідроциліндра змінюються структурні параметри технічного стану, що приводить першочергово до об'ємних втрат робочої рідини через порушення зовнішньої герметичності, яка характеризується технічним станом деталей з'єднання «шток - ущільнювач кришки».

Втрати масла в гідросистемах приводять до економічних витрат і екологічному збитку. Тому завдання підвищення надійності гідравлічних агрегатів зводиться, у першу чергу, до забезпечення герметичності ущільнювальних вузлів.

Надійна й економічна робота гідроциліндрів залежить від рівня технічного обслуговування і якості ремонту їх деталей.

Технології відновлення штока, застосовувані при ремонті гідроциліндрів, базуються на гальванічних процесах, що є екологічно небезпечними.

Передбачена заміна екологічно шкідливих технологій екологічно чистими, маловідходними технологіями. Вибір способу відновлення штока, що виключає застосування гальванічних операцій, що й забезпечує

герметичність відремонтованих гідроциліндрів, дозволить підвищити надійність роботи гідроприводу тракторів, усунути забруднення навколишнього середовища при ремонті і в експлуатації.

Мета роботи. Підвищення післяремонтного ресурсу гідравлічних циліндрів впровадженням ресурсозберігаючих технологій.

Поставлена мета досягається вирішенням наступних задач:

1. Дослідити технічний стан деталей гідроциліндрів при надходженні в ремонт і провести аналіз впливу стану деталей на працездатність ущільнювальних з'єднань.

2. Виконати розрахунково-теоретичний аналіз впливу ремонтно-технологічних факторів на герметичність штокових ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндра.

3. Провести оцінку ремонтної технологічності гідроциліндрів для умов сервісних підприємств.

4. Розробити методику дослідження герметичності спряження «шток-передня кришка» в відносності до способів його відновлення.

5. Провести дослідження з працездатності штокових ущільнювальних вузлів відновлених запропонованими способами.

6. Провести оцінку ефективності результатів.

Об'єкт дослідження. Гідроциліндри мобільних машин сільськогосподарського призначення.

Предмет досліджень. Фізичні процеси, які обумовлюють зміну структурних параметрів технічного стану деталей та способи їх відновлення.

Наукова новизна роботи полягає в аналітичному обґрунтуванні функціональної залежності герметичності штокового ущільнювального вузла від зносостійкості й способу обробки відновленої поверхні штока.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблена методика визначення показників технічного стану деталей штокових ущільнювальних вузлів гідроциліндрів, що надходять у ремонт;

- розроблена технологія відновлення штокових ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндрів для спеціалізованих сервісних підприємств.

Апробація роботи. Виступ на міжнародній конференції: The 8th International scientific and practical conference “Distance learning in universities and modern problems” (November 07-10, 2023) Budapest, Hungary. International Science Group. 2023.

Публікації. Єременко В. В. Оцінка ремонтної технологічності гідроциліндрів гідравлічної системи трактора / В. В. Єременко, П. Т. Мельянцов // «Distance learning in universities and modern problems»: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. – Budapest: International Science Group, 2023. – С. 301-311.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ ЦИЛІНДРІВ

1.1 Конструктивні особливості гідроциліндрів і умови їх експлуатації

В сільськогосподарських машинах застосовують як спеціальні так і уніфіковані гідроциліндри, які за своєю будовою бувають поршневі і плунжерні.

В навісних системах мобільних машин в основному застосовують гідроциліндри з двосторонньою силовою дією. На ряду з гідроциліндрами Ц50, Ц75, Ц100 – знаходять реалізацію агрегати, які працюють з номінальним тиском 160 атмосфер: Ц50, Ц63, Ц80, Ц100, Ц110, Ц125 (рис.1).

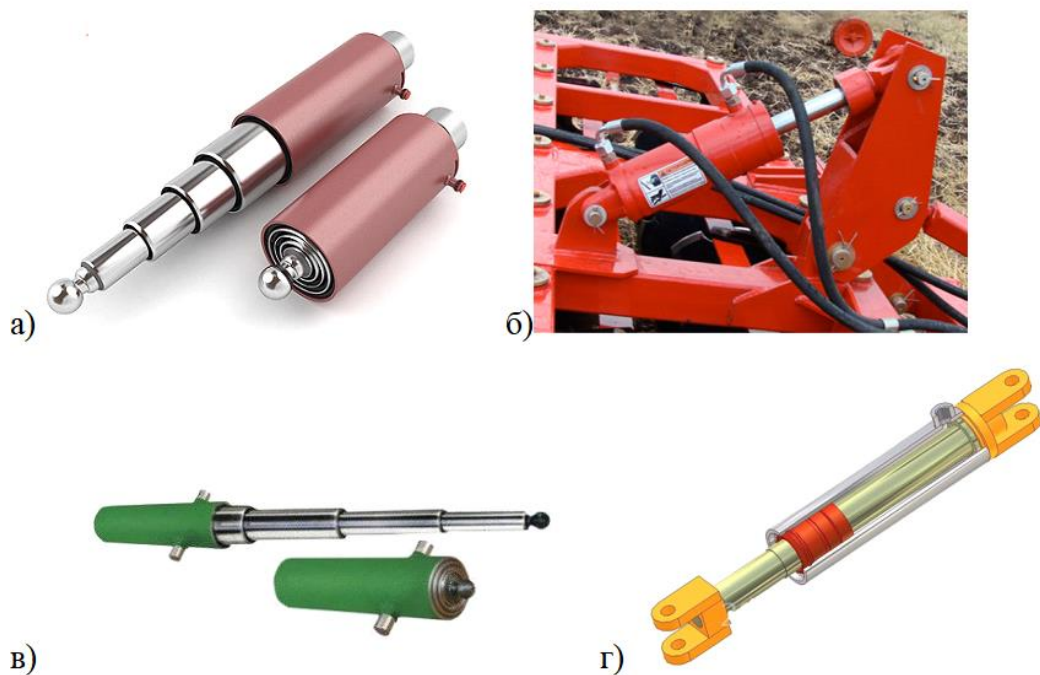


Рис.1.1 – Види гідроциліндрів за конструкцією: а,в) телескопічний гідроциліндр; б) поршковий гідроциліндр; г) плунжерний гідроциліндр

По умовам використання циліндри розподіляють на 3 функціональні групи:

- привід в дію агрегатів робочого обладнання, вчинення повторної змінної корисної роботи;
- переміщення робочих знарядь, вчинення корисної роботи при транспортуванні;
- встановлення робочих знарядь в необхідне положення або гідравлічних опор для забезпечення стійкого стану машини.

По виду закріплення штока і корпусу циліндра розділяють наступні групи: на вушках з підшипниками на шарнірах; на вушці з підшипником на шарнірі і цапфою на корпусі; з необхідним конструкційним елементом для зварювання задньої кришки циліндра; закріплення зовнішнього кінця штока приварюванням необхідної деталі і на вушці з підшипником на шарнірі; зварюванням зовнішнього кінця штока і задньої кришки корпусу циліндра з відповідними деталями [1].

Аналіз конструкцій гідроциліндрів в цілому показує, що серед агрегатів гідроприводу гідроциліндри мають найпростішу конструкцію, а звідси і саму високу надійність. При цьому, в значній мірі надійність гідравлічних циліндрів, як і інших агрегатів гідроприводу, обумовлюється умовами експлуатації.

Значний вплив на надійність гідроприводів мають кліматичні умови (температура, вологість, тиск повітря, сонячне випромінювання, дощ, пил та інше).

В залежності від цього в процесі експлуатації машин в технічних умовах вказують кліматичне виконання на конкретні види гідрообладнання.

Вагомим являється також своєчасність та якість проведення обслуговуючих робіт, інтенсивність експлуатації гідравлічної системи та інше. Так наприклад несвоєчасна заміна фільтруючих елементів та робочої рідини при черговому номерному технічному обслуговуванні приводить до зношення деталей гідравлічних агрегатів.

Режими роботи гідроприводу прийнято визначати величиною зовнішнього навантаження, характером робочого процесу та іншими

факторами. Розрізняють три режими роботи: легкий, середній та важкий. Характеристика режимів роботи наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика режимів роботи гідроприводу

Показник умов роботи	Легкий	Середній	Важкий
Температурний режим робочої рідини, °С: гідралічні мастила	40-50	50-70	Нижче 15 Більше 80
	15-30	30-50	Нижче 5 Більше 50
Індустріальні мастила			
Коефіцієнт використання номінального тиску, %	До 40	До 70	До 100
Коефіцієнт тривалості роботи під навантаженням, %	До 10	До 35	Вище 65
	10-20	20-60	Вище 60
Коефіцієнт динамічності, МПа/с			

Рекомендоване розподілення видів навантаження прискорює отримання інформації щодо визначення кількісної оцінки показників надійності агрегатів.

Кваліфікаційні умови роботи гідроприводу також враховують ступінь запиленості повітря, при виконанні машиною технологічного процесу, а також хімічний склад пилу. Як правило важкі умови експлуатації гідроприводів припадають на їх роботу з добривами, ядохімікатами та іншими речовинами.

Процеси, що протікають інтенсивно, обумовлюються вібраційними навантаженнями в результаті створення механічних коливань і пульсуючих рухів рідини. Вони впливають на роботу гідравлічного приводу спричиняючи аварійну відмову.

Середньої швидкості дії відносяться безпосередньо до експлуатаційного режиму роботи. Зміна температурного режиму, вологості, фізичних властивостей резино-технічних виробів та ін. Вони вимірюються годинами і обумовлюють ресурсну відмову агрегатів гідравлічної системи.

Повільно протікаючи процеси тривають на протязі всього життєвого циклу агрегату і характеризуються зміною структурних параметрів деталей, втомленістю матеріалів, деструкційними процесами в гумових ущільненнях.

Вони обумовлюють зміну функціональних параметрів агрегату і роблять оцінку його працездатного стану.

Зміна структурних параметрів також залежить від вибору матеріалів, дотримання технології виготовлення і ремонту, а також від технологічного середовища в якому експлуатується гідропривід. Зношення деталей спряжень гідроагрегатів обумовлюється забрудненістю робочої рідини дрібнодисперсними частинами технологічного середовища.

Умови експлуатації машин, які працюють в агресивних технологічних середовищах, мають свої визначені особливості. Експлуатація гідроприводу відрізняється тим, що їх робоча рідина забруднюється дрібнодисперсними частинками, які завдяки своїм особливим властивостям здатні надавати більш шкідливий вплив, ніж звичайне абразивне середовище, як на саму робочу рідину так і на пари тертя в з'єднаннях гідроагрегатів.

Агресивне технологічне середовище (машина працює з мінеральними добривами, гербіцидами, ядохімікатами та ін.) погіршує експлуатаційні властивості робочої рідини і знижує ресурс гідроагрегатів.

Що стосується старіння матеріалів, то цьому процесу особливо піддаються резино-технічні вироби, які складають основу ущільнень гідроагрегатів. Властивості резини значно змінюються під дією температурних факторів як зовнішнього так і внутрішнього середовища. При цьому зменшується напруга при постійній деформації, знижуються пружні властивості при мінусовій температурі, різко погіршуються фізико-механічні і пружні властивості з підвищенням температури.

Крім дії навколишнього і технологічного середовища на гідропривід впливають навантаження та сили тертя.

Навантажувальна дія впливає на статичні і динамічні характеристики приводу, а також на його несучу здатність. На динамічні властивості приводу найбільший вплив здійснює інерційне навантаження. В поєднанні зі стисканням рідини воно обумовлює виникнення резонансних режимів, які викликають коливання в перехідному процесу, що сприяє кавітаційному

зношенню. Всі перераховані фактори для конкретного гідроприводу являються випадковими, несприятливе поєднання їх приводить до відказів.

1.2 Аналіз факторів, що впливають на надійність гідроциліндрів

На надійність силових гідроциліндрів тракторів і сільськогосподарських машин впливають фактори, які можна розділити на три групи: конструктивні, виробничо-технологічні й експлуатаційні. У роботі [2] відзначено, що аналіз даних експлуатаційних випробувань гідроприводів і аналіз причин відмов свідчить, що конструктивні, виробничі й експлуатаційні фактори викликають відповідно 27, 26 і 47 % відмов.

До конструктивних факторів, що впливають на надійність гідроциліндрів, можна віднести: неправильний розрахунки навантажень (іноді дійсні навантаження перевищують розрахункові), необґрунтований вибір ступеня стискання ущільнювальних елементів і т.д.

До виробничо-технологічних факторів, що негативно впливають на надійність гідроциліндрів, можна віднести порушення технологічного процесу виготовлення й ремонту: зниження твердості, недотримання встановлених параметрів шорсткості поверхні, неякісне складання і т.п. Наприклад ефективність і довговічність ущільнень, їх здатність забезпечувати герметичність, залежать від обробки робочих поверхонь деталей. Шорсткість поверхні штока повинна бути не більше $R_a=1,25\text{ мкм}$ або не менше $R_a=0,08\text{ мкм}$. Груба обробка штока приводить до швидкого зношування ущільнень і появи витоків. Шорсткість поверхні штока менш $R_a=0,08\text{ мкм}$ також приводить до підвищеного зношування ущільнювальних кілець внаслідок стомленого зношування, викликаного підвищеної адгезією гуми до гладких поверхонь.

Дослідження роздільно-агрегатних гідроприводів у тракторах показали, що в експлуатаційних умовах кількість відмов, яка припадає на гідроциліндри становить 28% (рис.2) [3].

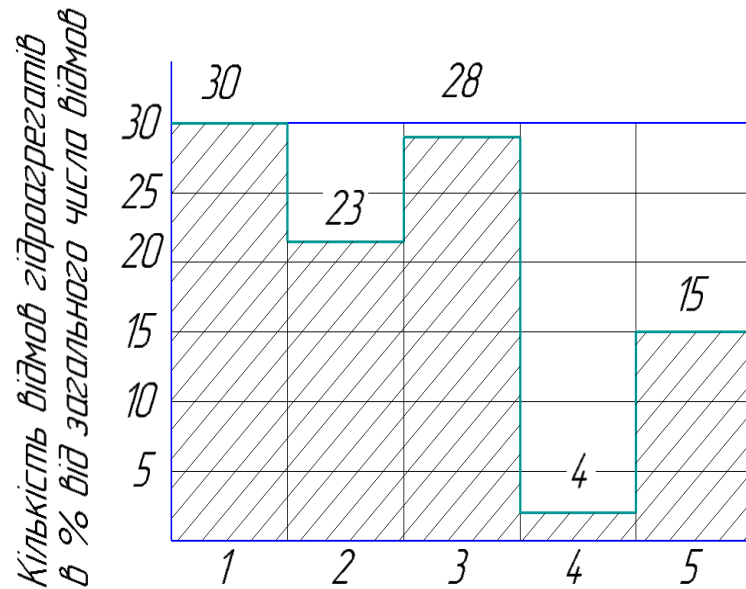


Рис. 1.2 – Відмови складових гідроприводу [3]:

- 1 – насос; 2. – розподільник; 3 – циліндр; 4 – фільтруючий елемент;
5 – шланги

На надійність гідроприводів суттєво впливають умови експлуатації - температура, вологість, атмосферний тиск, сонячне випромінювання, ступінь запиленості повітря й ін.

Виявлено, що при заправленні трактора зміст механічних домішок у свіжому маслі може досягати 0,17...0,25 %, що значно перевищує десятий клас чистоти робочої рідини, яка заливається до гідравлічного баку трактора. Крім того, коливання штока приводять до коливання масла в баку гідросистеми й засмоктування повітря через сапун (насосний ефект), інша причина засмоктування пилу в бак обумовлена пружністю елементів гідросистеми.

Запиленість повітря при виконанні тракторами транспортних, дорожньо-будівних і польових робіт становить $0,02...5 \text{ г/м}^3$, за один хід штока основного силового гідроциліндра Ц110 через сапун може потрапити $0,00012...0,1552 \text{ г}$ пилу, розміром часток від 1 до 85 мкм, з них 85 % становлять частки розміром до 5–6 мкм. У рідині частки перебувають у зваженому стані, викликаючи при русі зношування деталей.

Одним зі шляхів зниження забруднення робочої рідини є надійна герметизація штокового ущільнювального вузла.

Із аналізу технічного стану ремонтного фонду гідроциліндрів спеціалізованих підприємств вдалось встановити, що 70–80 % штоків гідроциліндрів, які надходять у ремонт і потребуючих відновлення, мають корозійні зношення, які в середньому займають 30–70 % загальної площі поверхні штока.

У процесі експлуатації сільськогосподарські трактори виконують різну роботу. Режим навантаження оцінюється ступенем навантаження за один цикл роботи, числом включень в одиницю часу, використанням номінального тиску, температурою робочої рідини й навколишнього повітря й ін.

Дослідження частоти навантаження гідросистем тракторів на польових роботах залежно від довжини гонів, показали, що максимальна частота включень за 1 мотогодину на оранці становить 22 рази. Виходячи із цього, при наробітку трактора 9000 мотогодин число циклів гідроциліндрів складе 190-200 тис. циклів.

Істотний вплив на надійність гідроциліндрів здійснюють умови й тривалість зберігання й експлуатації ущільнювачів. Встановлено, що наробіток ущільнювальних кілець становить 2000...2500 мотогодин. При цьому, ущільнення гідроциліндрів зазнають термічного старіння та абразивного зношування.

Є очевидним, що на шток гідроциліндра навісної системи трактора при транспортних переїздах з навісним знаряддям діють динамічні навантаження, у вертикальній і горизонтальній площинах. Сумарне поперечне зусилля спрямоване під кутом, значення якого коливається в невеликому діапазоні (розмах 30-40°) асиметрично горизонтальній площини. Поперечні навантаження негативно впливають на штоковий ущільнювальний вузол, викликаючи зношування штока, отвору під шток передньої кришки і ущільнення, а також деформації на згин штока.

В період експлуатації працездатність гідроциліндра також обумовлюється ресурсними змінами структурних параметрів його деталей.

Виявлення ресурсної відмови потребує наявності засобів діагностування гідравлічних систем та відповідних алгоритмів ресурсного діагностування. На сьогоднішній день господарства не в повній мірі забезпечені таким обладнанням [4].

Висновок: на надійність силових циліндрів в цілому суттєво впливають умови роботи з циклічним навантаженням, що обумовлює руйнування штока гідроциліндра за рахунок збільшення раковин, тріщин. Доволі часто при експлуатації машино-тракторного агрегату виникає згин штоку в випадку роботи об'ємного обладнання зі знакозмінними навантаженнями.

Важливим являється питанням гідроабразивного зношення деталей гідроциліндра, який виникає в результаті наявності абразивних фракцій в гідравлічній рідині, що приводить до нерівномірного зношення гільзи гідроциліндра і утворення зазорів в з'єднаннях «шток-передня кришка», «шток-гільза гідроциліндра».

1.3 Методи забезпечення надійності ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндрів

Робота гідроциліндру з великими масами приводить до зміни геометричних розмірів гідроциліндра, що в процесі подальшої експлуатації обумовлює втрату герметичності ущільнюючими вузлами.

Втрата працездатності циліндра може виникнути із-за зношення внутрішнього отвору корпусу, діаметральних поверхонь штока і поршня, пошкодження різьбових з'єднань, прояву підтікання мастила через ущільнення та ін.

До дефектів корпусу циліндра слід віднести задири на торцях та наявність рисок на внутрішній поверхні. Максимальне зношення внутрішньої поверхні корпусу проявляється в його середній частині, що пояснюється інтенсивністю роботи поршня в даному діапазоні, так як шток не завжди працює на всю довжину.

При наявності мілких раковин та рисок в внутрішньому отворі корпусу їх усувають притиранням. За великого зношення отвору його обробляють механічними операціями – розточенням з послідуєчим хонінгуванням. При необхідності хонінгувальну операцію замінюють внутрішнім шліфуванням або алмазним вигладжуванням.

Розділяють два види ремонту гідроциліндрів: капітальний і поточний. Поточний ремонт гідроциліндрів включає в себе: заміну ущільнень (кілець, манжет) гідроциліндра, перевірку деталей гідроциліндра (штока і гільзи), напилювання хромом штока. Капітальний ремонт гідроциліндрів включає в себе: заміну резино-технічних виробів, заміну або ремонт штока гідроциліндра, хонінгування гільзи, ремонт направляючої і поршня гідроциліндра, ремонт кріплень гідроциліндра, заміну гільзи. Незалежно від виду ремонту, після нього гідроциліндр повинен пройти випробування на стенді, для усунення течі і перевірки на заклинювання пар тертя.

В більшості, надійність гідросистеми обумовлюється втратами масла в системі, для зменшення втрат мастила необхідно забезпечити надійність ущільнювальних вузлів при ремонті.

Існує декілька способів підвищити надійність ущільнювальних вузлів та зменшити витрату масла в гідросистемі в цілому: раціональний підбір ущільнень в спряженнях «шток-передня кришка», «поршень-дзеркальна поверхня циліндра»; зменшення зазорів в спряженні «шток-передня кришка» та «поршень-гільза гідроциліндра»;

Відновлення ущільнювальних спряжень шляхом заміни ущільнення. При виконанні ремонтно-відновлювальних робіт гідроциліндрів майже на 100% замінюються ущільнювачі, на нові, оскільки вони суттєво не багато коштують, в процесі роботи втрачають свої структурні і функціональні параметри та не піддаються відновленню.

Вихід з ладу ущільнень, працюючих при зворотно-поступовому русі, по причині зносу робочих поверхонь, можливий тільки при великій довжині ходу поршня. Для нормальної роботи ущільнюючих елементів важливо, щоб не було пошкодження замикаючої поверхні при складанні.

При монтажі ущільнювачів необхідно врахувати: поверхня контакту ущільнювача поршня має бути абсолютно чистою і гладко відполірованою; зазор між ущільнювачами поршня і поверхнею ущільнювача маж бути настільки маленьким, щоб зашкодити пропусканню рідини; в ущільненні штока поршня гідроциліндра необхідно видалити всі небажані домішки, які являють собою джерело забруднення масла в системі гідроциліндра; під час встановлення частин і повного складання гідроциліндра необхідно мати гарантії того, що ущільнювачі не мають кута нахилу з-за якості штока поршня, щоб попередити передчасний вихід з ладу гідроциліндр;

Відновлення ущільнювального спряження «шток-передня кришка». Ремонт гідроциліндрів зазвичай виконується при середньому або капітальному ремонті. Після розбирання і промивки гідроциліндра його деталі оглядають і заміряють зазори по направляючим втулкам, а також між поршнем і корпусом циліндра. Відремонтвані або нові гідроциліндри не мають допускати втрати масла через приєднувальні різьби, ущільнення фланців і кришок.

Відновлюють шток шляхом його виправлення в холодному стані, з послідуєчим шліфування до виведення слідів зносу, залізнєння з послідуєчим шліфуванням. Можливе хромування штоку та полірування.

Існує також технологія відновлення ущільнювального спряження «шток-передня кришка» шляхом усунєння вигину на гідравлічному пресі, з подальшим шліфуванням слідів зношенєня за ремонтними розмірами у спеціальних центрах, з одночасним обкатування робочої поверхні штока до шорсткості $R_a = 0,32 \text{ мкм}$, спеціальним роликєвим обкатником при змащенні маслом. Наступною операцією являєтьєся хромування поверхні штока, а отвір передньої кришки відновлюють шляхом постановки додаткової ремонтної деталі-втулки з чавуну з подальшим розгортанням під ремонтний розмір штока.

Доволі дорогою є технологія відновлення штока шляхом його прєточкє з подальшим наплавленням в середовищі вуглекислого газу порошковими дрєтами на спеціальних установках, з подальшим шліфуванням і

хромованням. Отвори передніх кришок розточують і не відновлюють, оскільки шток відновлюють на збільшений діаметр. Недоліком можна врахувати те, що при збільшеному діаметрі штока виникає прискорене зношування ущільнювальних кілець.

Для запобігання виникнення задирів, сколів і тріщин також виконуються операції зміцнення, використанням віброобкатування та електроіскрового легування.

Віброобкатування характерне утворенням регулярних мікрорельєфів у вигляді канавок, що накладають одна на одну. При застосуванні цього способу зміцнення ресурс штока підвищується майже на 200%, за рахунок виключення появи задирів на поверхні. Однак цей процес є технологічно складним.

Широке застосування має використання компенсаційної деталі-втулки із чавуну при відновленні ущільнюючого вузла «шток-передня кришка» гідроциліндра.

Відновлення ущільнювального спряження «поршень-гільза гідроциліндра». Для виготовлення корпусу циліндра використовується сталь 45. В якості заготовки для гільзи можна використати гарячекатані безшовні сталеві труби або холоднотянуті і холоднокатані труби. Корпуси гідроциліндрів або гільзи, до яких приварюються кришки, траверси, опори або які-інші деталі, мають виконуватись зі сталі 35.

Останнім часом для відновлення робочих поверхонь гільз гідроциліндрів використовуються полімерні матеріали з різними наповнювачами або армовані різними волокнами.

Пошкодження дзеркала гідроциліндра у вигляді раковин і одиночних подряпин відновлюються полімерним матеріалом з антифрикційними властивостями з використанням шаблону.

Основні переваги застосування полімерних матеріалів при відновленні корпусу гідроциліндра: низька вартість, простота, висока продуктивність, висока стійкість до агресивних середовищ, атмосферних впливів і ударних навантажень.

До недоліків слід віднести: низька тепло - і термостійкість, велике теплове розширення, схильність до повзучості і релаксації напружень та ін.

Із проведеного аналізу, випливає, що при відновленні ущільнювальних спряжень гідроциліндра слід приділити увагу безпосередньо ущільнювальним спряженням «шток-передня кришка».

1.4 Методи і засоби оцінки технічного стану гідроциліндрів

Контроль технічного стану гідравлічних циліндрів в умовах експлуатації проводиться виконанням діагностичних операцій для визначення їх внутрішньої герметичності і прогнозування залишкового ресурсу - дроселем витратоміром ДР-90, а також проведенням прямого діагностування технічного стану деталей, застосуванням інструментальних засобів контролю їх технічного стану безпосередньо в процесі ремонтно-відновлювальних дій.

Основним параметром гідроприводу, який вказує на його працездатність, являється його об'ємний коефіцієнт. Він знаходиться в функціональній залежності зі структурними параметрами складових циліндра і дає їм загальну оцінку, що ускладнює виявлення несправності при поломці. Для чіткого визначення дефекту, що обумовив відмову, необхідна додаткова інформація щодо параметрів контролю, а також норма структурних параметрів.

Для дослідження технічних параметрів гідроциліндра в ремонті використовують два основних метода: це непрямий та прямий. При використанні непрямого метода можна визначити параметри, які вказують на несправність гідроциліндра, наприклад витрату масла в системі, що обумовлює порушення елементів ущільнювальних спряжень в гідроциліндрі. Непряме дослідження гідроциліндра може проводитися безпосередньо на робочому тракторі.

Пряме діагностування вимагає зняття гідроциліндру з мобільного агрегату, проведення послідуочого його розбирання на деталі і дає більш

точні результати у вигляді точних значень контрольних розмірів деталей гідроциліндра, отриманих інструментальним вимірюванням.

Безпосередньо в процесі експлуатації ми можемо провести діагностування гідроциліндра по швидкості переміщення його поршня приладом КИ-1097. Даний метод оцінки не дозволяє диференціювати виток робочої рідини через ущільнення в спраженнях «шток-передня кришка» та «поршень-гільза гідроциліндра», і після випробування, при досягненні граничної швидкості, потрібна заміна ущільнення й поршня, і штока. Також для дослідження працездатності гідроциліндрів сконструйовані стенди КИ-4815М та КИ-4200.

Для випробування гідроциліндрів за параметрами: на максимальне зусилля; мінімальний тиск переміщення; швидкість переміщення штока застосовують стаціонарні стенди.

Принципова схема стенда для випробування гідроциліндрів наведена на рис.1.3.

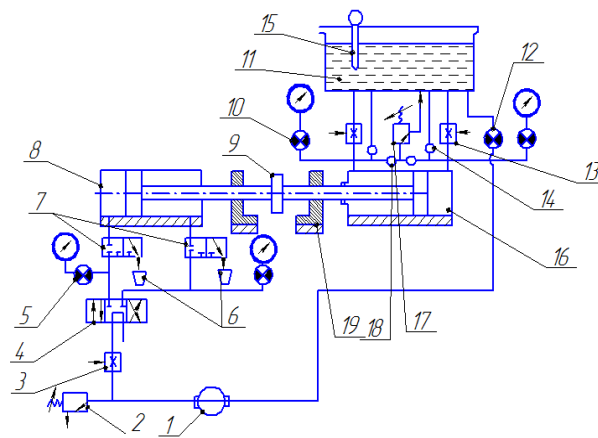


Рис. 1.3 – Схема стенда для випробування гідроциліндрів:

- 1 – нерегульований насос; 2 – запобіжний клапан; 3 – регулятор швидкості;
- 4 – реверсивний золотник; 5 – манометр з вентилями; 6 – мензурки;
- 7 – золотники заміру втрат; 8 – випробовуваний гідроциліндр;
- 9 – з'єднувальна муфта; 10 – манометри з вентилями на навантажувальному
циліндрі; 11 – бак з робочою рідиною; 12 – вентиль насоса; 13 – регулятор
швидкості загрузочного циліндра; 14 – всмоктуючі клапани; 15 – термометр;
- 16 – навантажувальний циліндр; 17 – підпирний клапан; 18 – зворотні
клапани; 19 – регульовані опори;

Втрати заміряють в трьох положеннях – двох крайніх і середньому по опорах 19. Зусилля, яке створює випробовуваним гідроциліндром, визначається за тиском в навантажувальному циліндрі 16, власний опір котрого відомий. Випробування на мінімальний тиск переміщення виконується при відключеному навантажувальному циліндрі 16 на найменшому і найбільшому потоці.

При виконанні випробувань циліндра на втрату температура масла в баку має бути $45-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для вирівнювання температура випробовуваного циліндра треба перемістити кілька разів на повний хід для заповнення його порожнин нагрітим маслом. При встановленні лічильника числа ходів і маслоохолоджувачів цей стенд можна використовувати для випробувань на зношення ущільнень і інших деталей гідроциліндра.

При виконанні операцій прямого контролю деталей гідроциліндра (дефектування) використовують спеціальні пристрої.

Для контролю прямолінійності штоку використовують пристосування яке наведено на рис. 1.4.

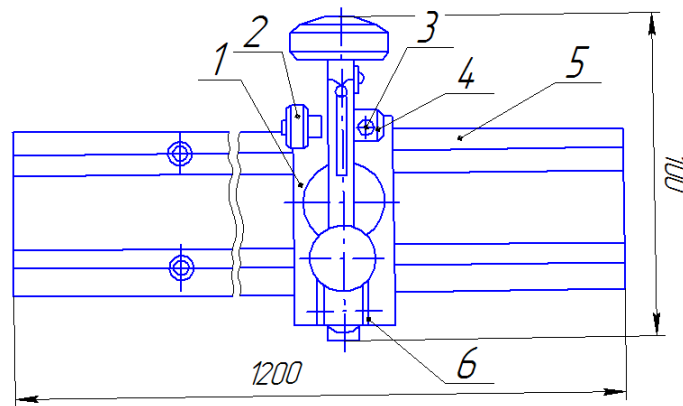


Рис. 1.4 – Контрольне пристосування для вимірювання прямолінійності штоків гідроциліндрів [5]: 1 – повзун; 2 – гайка; 3 – втулка; 4 – гвинт; 5 – лінійка; 6 – підшипник

Контроль прямолінійності штоків виконують наступним чином. Шток встановлюється в горизонтальне положення. На ньому закріплюється лінійка 5 з наконечниками та кронштейнами. На лінійці 5 фіксується повзун 1 за допомогою пружини, які діють на підшипник прижиму. При цьому башмак

прижимається пружиною до підконтрольної поверхні штока, а наконечник індикатора – до відповідної ділянки пружини. Гвинтом стрілка індикатора переводиться в вихідне положення. Після переміщення повзун на лінійці фіксується відхилення стрілки індикатора в необхідних поперечних перерізах по всій довжині підконтрольної утворюючої.

В свою чергу контроль такого параметру як співвісність виконується за наступною схемою рис. 1.5.

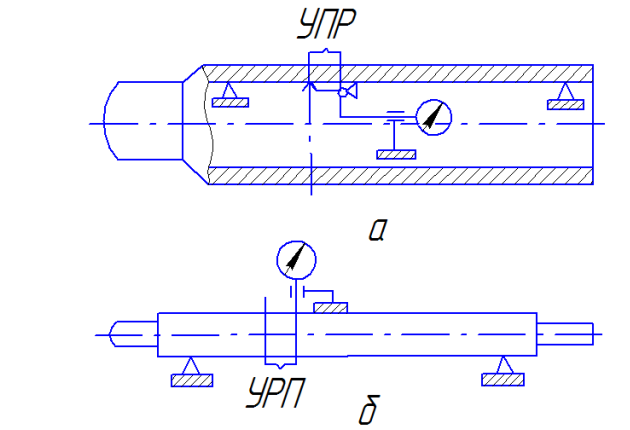


Рис. 1.5 – Схема контролю співвісності [5]: а – корпус; б – штока гідроциліндра

Для вимірювання відхилень за допомогою контрольного приладу корпус гідроциліндра встановлюють на консолі, на котрій розташовані дві пари опорних підшипників і один підшипник упору. В пазу консолі встановлений повзун, який рухає вимірюючи головку, підпружинений ролик і з'єднуючий їх шток.

Підконтрольний корпус гідроциліндра встановлюється робочою поверхнею на дві опори підшипників до упору. Втоплений вимірювальний ролик підводиться повзуном під контролюєму ділянку робочої поверхні труб. В кожному крайньому положенні фіксатора виникає поворот труби на повний оберт з одночасною фіксацією відповідних показів індикатора.

З отриманих даних виявляються величина і напрям вектору зміщення кожного із центрів крайніх профілів контролюємої ділянки робочої поверхні.

Для оцінки циліндричності гільзи гідроциліндра використовуються контрольний прилад, який показує відхилення від циліндричної поверхні з відліком від прилежної поверхні циліндра і відхилення розташування її вісі.

Вихідними даними для визначення вказаних параметрів являються відхилення вісі, певні за даними виміри координат точок поверхні в не скількох її поперечних або повздовжніх перерізах.

Гідравлічний циліндр або гільза мають задовольняти наступним технічним вимогам: конусність, овальність, бочкообразність допускається не більш половини поля допуску вказаної посадки або назначеного зазору; відхилення осі циліндра від утворюючих допускається не більше 0,03 на довжині 500 мм; биття торців має бути не більше 0,05 мм; при кріпленні кришки до циліндра на різьбі остання має виконуватись за класом чистоти 2а; фаски гідроциліндра для встановлення ущільнень поршня виконують під кутом 15-30°, з чистотою поверхні не нижче 7 і заокругленням перехідної грані [5].

Висновок: Враховуючи частоту поломок силового циліндра, існує й відповідно широка методологія визначення дефектів гільзи й штока гідроциліндра. Як мобільний засіб діагностики використовується КИ-1097. Для більш детальної діагностики виконується тестування гідроциліндра на стендах з визначенням при заданому тиску робочої рідини швидкості висування штоку та наявності зовнішніх витоків рідини.

При проведенні прямого контролю (дефектації) проводиться перевірка таких параметрів як співвісність, циліндричність, прямолінійність.

1.5 Мета й завдання досліджень

На основі аналітичного аналізу конструктивних особливостей гідравлічних циліндрів, умов їх експлуатації, а також існуючих способів відновлення працездатності в умовах спеціалізованих сервісних підприємств вдалось сформуванати **мету роботи** – підвищення післяремонтного ресурсу гідравлічних циліндрів впровадженням ресурсозберігаючих технологій.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення таких задач:

1. Дослідити технічний стан деталей гідроциліндрів при надходженні в ремонт і провести аналіз впливу стану деталей на працездатність ущільнювальних з'єднань.
2. Виконати розрахунково-теоретичний аналіз впливу ремонтно-технологічних факторів на герметичність штокових ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндра.
3. Провести оцінку ремонтної технологічності гідроциліндрів для умов сервісних підприємств.
4. Розробити методику дослідження герметичності спряження «шток-передня кришка» в відносності до способів його відновлення.
5. Провести дослідження з працездатності штокових ущільнювальних вузлів відновлених запропонованими способами.
6. Провести техніко-економічну оцінку.

2. АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ШТОКОВОГО УЩІЛЬНЮВАЛЬНОГО ВУЗЛА ПРИ РЕМОНТІ ГІДРОЦИЛІНДРА

2.1 Теоретичний аналіз забезпечення герметичності й підвищення зносостійкості штокового ущільнювального вузла

Одним з основних критеріїв працездатності штокового ущільнювального вузла є величина витoku з одиниці поверхні штока за регламентований проміжок часу.

У реальних умовах експлуатації з'єднання зворотно-поступального руху можуть працювати в умовах рідинного, змішаного і граничного тертя, залежно від товщини плівки робочої рідини, яка виноситься на поверхні штока. Товщина масляної плівки залежить в основному від шорсткості поверхні штока, контактної тиску ущільнювача, в'язкості робочої рідини, швидкості руху і інших факторів.

Наприклад, у діапазоні швидкостей зворотно-поступального руху 5-30 *см/с* і тисків робочої рідини 5–21 *МПа* ущільнювальний вузол працює в умовах граничного й рідинного тертя [5].

Відомо, що в режимі рідинного тертя контактний тиск ущільнювача в кожній точці контакту врівноважується гідродинамічним тиском рідини.

У режимі граничного і рідинного тертя контактний тиск ущільнювального кільця P_k сприймається не тільки гідродинамічним тиском плівки $P_{ж}$, але й бічними поверхнями мікронерівностей P_b (рис. 2.1).

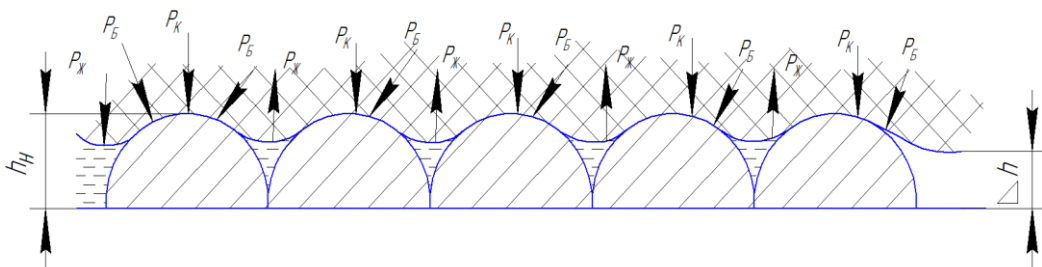


Рис. 2.1 – Схема дії сил при роботі в режимі змішаного тертя

Під час руху штока щодо поверхні ущільнювача тангенціальні сили долають адгезійні і деформаційні сили, що виникають на поверхні контакту. Через шорсткість ущільнювальної поверхні і високої еластичності гуми - матеріалу ущільнювального кільця це подолання відбувається ривками, виникає подоба коливань, що складаються з періодичного подолання адгезійних сил тангенціальними силами. При цьому в рідині, розміщеній в мікрокамерах, утворених мікронерівностями, виникає гідродинамічний тиск. Під впливом цього тиску матеріал ущільнення витісняється з мікрокамер, ущільнення не встигає простежити за всіма мікронерівностями поверхні рухомого штока. У результаті цього під поверхнею ущільнювача, на поверхні мікрорівнин утворюється гранична плівка рідини, у якій проявляються гідродинамічні ефекти.

У початковий період експлуатації працездатність штокового ущільнювального вузла забезпечується контактним тиском, який створюється при монтажі ущільнювального кільця в канавку передньої кришки, і забезпечує запирання рідини при відсутності руху штока за рахунок впровадження гуми в мікронерівності висотою h_n з утворенням мікрокамер, заповнених робочою рідиною. Початковий контактний тиск залежить від ступеня стискування ущільнювального кільця ε , модуля пружності гуми і коефіцієнта форми ущільнювача K_ϕ . Початковий контактний тиск визначається по формулі:

$$P_o = K_\phi \cdot E_\infty \cdot \varepsilon, \quad (2.1)$$

де K_ϕ - коефіцієнт форми, для кілець круглого перетину $K_\phi = 1,25$;

E_∞ - модуль гуми, за ДСТ 18829-73 для гум 3 гр. $E_\infty = 11,8$ МПа;

ε - ступінь стискування.

Ступінь стискування кільця визначається як:

$$\varepsilon = \frac{d - H}{d}, \quad (2.2)$$

де d - діаметр перетину кільця, $d = 4,6$ мм, (для Ц75);

H - відстань від дна канавки, у яке встановлено кільце, до поверхні штока, мм.

У наведеній формулі не відбивається вплив зміни діаметра штока внаслідок зношування в процесі експлуатації. Пропонується ступінь стискування ущільнювального кільця визначати по формулі, що враховує величину зношування штока за наробіток:

$$\varepsilon = \frac{d - H - I \cdot t}{d}, \quad (2.3)$$

де I - швидкість зношування штока, мм / мото – год.;

t - наробіток гідроциліндра, мото – год.

Контактний тиск у процесі експлуатації зменшується внаслідок релаксаційних процесів, що протікають у гумі, а також поверхневого зношування ущільнювача. При цьому необхідно відмітити, що вплив поверхневого зношування ущільнювального кільця на зниження контактного тиску в процесі експлуатації незначний (в 4-5 раз менше впливу релаксаційних процесів, що протікають у матеріалі ущільнювального кільця внаслідок старіння). Тому надалі розрахунки контактного тиску ведуться тільки з врахуванням релаксаційних процесів.

Рекомендується враховувати зниження контактного тиску наступними коефіцієнтами:

$$P_k = P_0 \cdot k_t \cdot k_b \cdot k_p, \quad (2.4)$$

де k_t - коефіцієнт старіння;

k_b - коефіцієнт морозостійкості;

k_p - коефіцієнт передачі тиску.

Коефіцієнт старіння k_t визначається по формулі:

$$k_t = e^{-at}, \quad (2.5)$$

де a - константа швидкості старіння;

t - час старіння.

Константа швидкості старіння залежить від температури експлуатації й визначається по формулі:

$$a = A \cdot e^{-U/RT}, \quad (2.6)$$

де U - енергія активації, Дж / моль;

R - універсальна газова постійна Дж / моль · град.К⁰;

T - температура, К⁰;

A - постійна, що залежить від природи матеріалу, 1 / с.

При описі старіння матеріалів ущільнень енергія активації й константа швидкості старіння a має узагальнений характер, інтегрально відбиваючи безліч процесів, що відбуваються при старінні. При a розрахунках для прогнозування зміни властивостей ущільнювача в умовах змінних температур визначається рівнодіюча температура. Для розрахунків приймається $T = 298^0 \text{ K}$.

Ущільнення штока гідроциліндра працює при низьких температурах у зимовий період і його довговічність обумовлюється в значній мірі морозостійкістю гуми. При зниженні температури деформація гуми «заморожується», виникає температурна усадка, яка приводить до поступового руйнування в місцях контактного тиску. Контакт зберігається доти, поки гума не втратить здатність до високо еластичного відновлення. Ця здатність характеризується коефіцієнтом відновлення гуми при низькій температурі k_g . За ДСТУ 18929-81 [6] для гум 3-ї групи при температурі

мінус $45^{\circ}C$, $\kappa_g = 0,2$ у кліматичному районі з мінімальною температурою $T = -32^{\circ}C$, $\kappa_g = 0,75$.

Коефіцієнт передачі тиску κ_p в умовах всебічного стискання, у яких працює ущільнювальне кільце штока, залежить від коефіцієнта Пуассона μ^* для гуми $\mu^* = 0,48 \dots 0,496$.

$$\kappa_p = \frac{\mu^*}{(1 - \mu^*)} = 0,95, \quad (2.7)$$

Механізм витoku робочої рідини при зворотно-поступальному русі вивчався багатьма дослідниками.

У якості теорії герметизації в ущільнювальних вузлах зворотно-поступального руху можна застосувати гідродинамічну теорію змащення рідкою плівкою, за аналогією з підшипниками ковзання.

При зворотно-поступальному русі витік робочої рідини Q розглядають як різницю між товщиною плівки при прямому і зворотному ході, що виноситься на поверхні штока [7]:

$$Q = (h_{np.} - h_{зв.}) \cdot \pi \cdot D \cdot L, \quad (2.8)$$

де $h_{np.}, h_{зв.}$ - товщина плівки при прямому і зворотному ході, відповідно *см*;

D - діаметр штока, *см*;

L - довжина ходу, *см*.

Для розрахунків товщини плівки в режимі рідинного тертя при допущенні, що поверхня штока є ідеально гладкою, можна використати наступні вирази:

$$h_{np.} = \alpha_{np.} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot V_{np.} \cdot l_{np.}}{P_{K.np.}}}, \quad (2.9)$$

$$h_{зв.} = \alpha_{зв.} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot V_{зв.} \cdot l_{зв.}}{P_{К.зв.}}}, \quad (2.10)$$

де $\alpha_{np.}, \alpha_{зв.}$ - коефіцієнти товщини плівки при прямому і зворотному ході, відповідно, $\alpha = 0,26$ [7];

μ - динамічна в'язкість рідини, $МПа \cdot с$, $\mu = 7,2 \cdot 10^{-9} МПа \cdot с$;

$V_{np.}, V_{зв.}$ - швидкість руху штока при прямому і зворотному ході відповідно, $см / с$, $V_{сп.} = 12 см / с$;

$l_{np.}, l_{зв.}$ - ширина контакту ущільнювача при прямому і зворотному ході, відповідно, $см$, $l_{np.} = 0,23 см$, $l_{зв.} = 1,6 l_{np.}$;

$P_{К. np.}, P_{К. зв.}$ - контактний тиск ущільнювача при прямому і зворотному ході, відповідно, $МПа$.

При зворотному ході штока контактний тиск кільця ущільнювального б складається з контактного тиску ущільнювача P_K і тиску середовища, що ущільнюється P_{CP} .

$$P_{К.обр.} = P_K + P_{CP}, \quad (2.11)$$

За режиму граничного тертя витік робочої рідини буде визначатися виносом масла в об'єм мікрокамер, що утворились мікронерівностями і плівкою на поверхні мікровиступів. Об'єм мікрокамер залежить від параметрів шорсткості поверхні і контактного тиску ущільнювача.

Так як шорсткість поверхні можна представити в якості фігур правильної геометричної форми: сфер, конусів, циліндрів, пірамід і ін., то для розрахунків витіку в режимі змішаного тертя представимо модель мікронерівностей у вигляді чотиригранних пірамід з кутом нахилу граней 15° і висотою h_n .

Найбільше точно шорсткість поверхні представляється сферичною моделлю мікронерівностей, у якій одинична нерівність має форму кульового

сегмента з радіусом кривизни R . Тоді об'єм одиничної мікронерівності V_H можна розрахувати за виразом:

$$V_H = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_n^2 \cdot (3R - h_n), \quad (2.12)$$

де R - радіус кривизни кульового сегмента, *см*;

h_n - висота мікронерівності, *см*.

Радіус кривизни мікронерівності розраховується по формулі:

$$R = \sqrt{R_{\text{прод.}} \cdot R_{\text{поп.}}}, \quad (2.13)$$

де $R_{\text{прод.}}$, $R_{\text{поп.}}$ - радіуси кривизни вершини мікронерівності в поздовжньому і поперечному напрямку, відповідно.

Об'єм мікрокамер, які розміщуються на поверхні штока, визначається по формулі:

$$V_m = \pi \cdot D \cdot L \left(h_n - \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_n^2 (3 \cdot R - h_n) \cdot z \right), \quad (2.14)$$

де V_m - об'єм мікрокамер, *см*³;

L - хід штока, *см*;

z - кількість мікронерівностей на одиницю площі.

Припускаючи рівномірний розподіл нерівностей по поверхні штока:

$$z = \frac{12,1}{S^2}, \quad (2.15)$$

де S - крок мікронерівностей, *см*.

Дійсний об'єм мікрокамер обмежується також займаною гумою, яка проникає в мікронерівність. Глибина проникнення обумовлюється

контактним тиском ущільнювача P_K і висотою мікронерівностей. В розрахунках вона ураховується коефіцієнтом заповнення K_3

$$K_3 = \frac{\Delta h}{h_n}, \quad (2.16)$$

де Δh - глибина впровадження гуми, *см*;

h_n - висота мікронерівності, *см*.

В спрощеному вигляді K_3 можна представити як вираз:

$$K_3 = \frac{\Delta h}{h_n} = 0,64 \cdot e^{-0,0715P_K}, \quad (2.17)$$

Витік робочої рідини за один подвійний хід $Q_{1,2}$ через штоковий ущільнювальний вузол у режимі граничного тертя розраховується по формулі:

$$Q_{1,2} = (V_{ж1} + V_m \cdot K_{3.1}) - (V_{ж2} + V_m \cdot K_{3.2}), \quad (2.18)$$

де $V_{ж1}, V_{ж2}$ - обсяг рідинної плівки при прямому і зворотному ході, відповідно, *см*;

V_m - обсяг рідини, що міститься в мікрокамерах, *см*;

$K_{3.1}, K_{3.2}$ - коефіцієнт заповнення об'єму мікрокамер гумою при прямому і зворотному ході, відповідно.

Підставимо до (2.18) вирази (2.7)-(2.13) і отримаємо формулу для розрахунків сумарних витоків робочої рідини по штокові Q залежно від наробітку:

$$Q = \pi \cdot D \cdot L \cdot \kappa \cdot t \left[\left(\alpha \sqrt{\frac{\mu \cdot V \cdot l}{R_{\kappa}}} + \left(h_n - \frac{4,03 \cdot \pi \cdot h_n^2 \cdot (3R - h_n)}{S^2} \cdot K_{3.1} \right) \right) - \right. \\ \left. - \left(\alpha \sqrt{\frac{1,6 \cdot \mu \cdot V \cdot l}{P_{\kappa} + P_{cp}}} + \left(h_n - \frac{4,03 \cdot \pi \cdot h_n^2 \cdot (3R - h_n)}{S^2} \cdot K_{3.2} \right) \right) \right], \quad (2.19)$$

де k - коефіцієнт переводу подвійних ходів у *мото – год.*;

t - наробіток, *мото – год.*

Для оцінки впливу на герметичність штокового ущільнювального вузла зносостійкості відновленої поверхні і різних способів обробки штока при ремонті гідроциліндра використовувався метод статистичного моделювання. Масиви значень змінних, використовуваних при розрахунках, формувалися генеруванням випадкових величин h_n , R , S , I , заданих розподілом Гауса.

Рівень зносостійкості штока враховується підвищеною або зниженою швидкістю його зношування (швидкості зношування хромованої поверхні-еталона $\bar{I} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ см / мото - г.}$, $\bar{\sigma} = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ см / мото - г.}$). Параметри шорсткості поверхні штока, обробленої різними способами, задавалися статистичними характеристиками – середньою висотою мікронерівностей \bar{h}_n і середнім квадратичним відхиленням $\bar{\sigma}_{hn}$.

Відповідно до обробки існують наступні значення.

Для полірування:

- висота : $\bar{h}_n = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $\bar{\sigma}_{hn} = 0,13 \cdot 10^{-4} \text{ см}$;
- радіус : $\bar{R} = 450 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $\bar{\sigma}_{\kappa} = 73,62 \cdot 10^{-4} \text{ см}$;
- крок : $\bar{S} = 0,004 \text{ см.}$, $\bar{\sigma} = 0,0003 \text{ см.}$

Для точіння:

- висота : $\bar{h}_n = 25 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $\bar{\sigma}_{hn} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$;
- радіус : $\bar{R} = 34,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $\bar{\sigma}_{\kappa} = 6,77 \cdot 10^{-4} \text{ см}$;
- крок : $\bar{S} = 0,023 \text{ см}$, $\bar{\sigma}_s = 0,0023 \text{ см}$.

Для шліфування:

- висота : $\bar{h}_n = 3,35 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $\bar{\sigma}_{hn} = 0,98 \cdot 10^{-4} \text{ см}$;
- радіус : $\bar{R} = 17,42 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $\bar{\sigma}_{\kappa} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ см}$;

- крок : $\bar{S} = 0,0024 \text{ см}, \bar{\sigma}_s = 0,0005 \text{ см}.$

Для обробки ППД:

- висота : $\bar{h}_H = 3,55 \cdot 10^{-4} \text{ см}, \bar{\sigma}_{hH} = 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ см};$

- радіус : $\bar{R} = 550 \cdot 10^{-4} \text{ см}, \bar{\sigma}_R = 117 \cdot 10^{-4} \text{ см};$

- крок : $\bar{S} = 0,0065 \text{ см}, \bar{\sigma}_s = 0,0005 \text{ см}.$

Для шліфування і нанесення покриття (лаку ФБФ-74Ц):

- висота : $\bar{h}_H = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ см}, \bar{\sigma}_{hH} = 0,90 \cdot 10^{-4} \text{ см};$

- радіус : $\bar{R} = 930 \cdot 10^{-4} \text{ см}, \bar{\sigma}_R = 190 \cdot 10^{-4} \text{ см};$

- крок : $\bar{S} = 0,008 \text{ см}, \bar{\sigma}_s = 0,001 \text{ см}.$

Заповнення мікрокамер поверхні штока полімером оцінюється коефіцієнт заповнення K_{zn} , (характеризується відношенням об'єму покриття мікрокамери до її сформованого об'єму мікронерівностями і матеріалом ущільнювального кільця). Його значення знаходиться в інтервалі 0,1+1,0.

Результати розрахунків сумарних витоків робочої рідини через штоковий ущільнювальний вузол залежно від наробітку і способів відновлення працездатності штока наводяться в табл. 2.1 та на графіку рис.2.2.

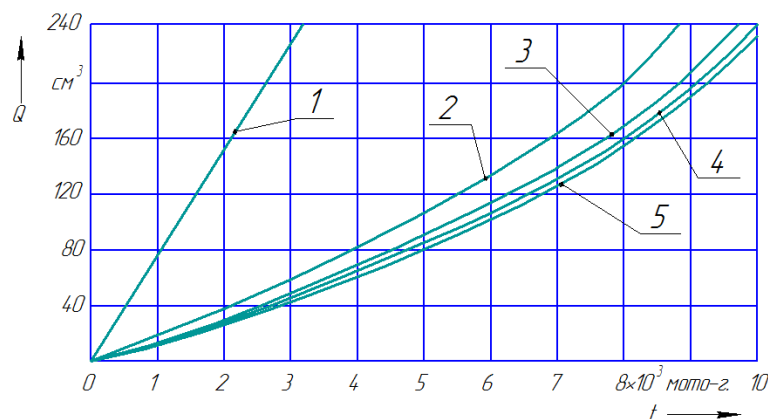


Рис. 2.2 – Витоки робочої рідини Q через ущільнювальний вузол залежно від наробітку t при відновленні штока: 1 – точіння, 2 – шліфування, 3 – поверхнево-пластичне деформування, 4 – полірування, 5 – шліфування - полімерне покриття ФБФ-74Д

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків сумарних витоків робочої рідини через штоковий ущільнювальний вузол залежно від наробітку для різних способів обробки поверхні штока

№ з/п	Витоки робочої рідини, $Q, \text{см}^3$	Наробіток, $t, 1 \cdot 10^3$ мото – год.	№ з/п	Витоки робочої рідини, $Q, \text{см}^3$	Наробіток, $t, \text{мото} - \text{год.}$	№ з/п	Витоки робочої рідини, $Q, \text{см}^3$	Наробіток, $t, 1 \cdot 10^3$ мото – год.	№ з/п	Витоки робочої рідини, $Q, \text{см}^3$	Наробіток, $t, 1 \cdot 10^3$, мото – год.	№ з/п	Витоки робочої рідини, $Q, \text{см}^3$	Наробіток, $t, 1 \cdot 10^3$, мото – год.
Шток проточено			Шток прошліфовано			Поверхнево-пластична деформація			Шток прополіровано			Шліфування-полімерне покриття ФБФ-74Д		
1	40	500	1	20	1000	1	10	1000	1	10	1000	1	10	1000
2	79	1000	2	40	2000	2	30	2000	2	30	2000	2	30	2000
3	110	1500	3	55	3000	3	45	3000	3	45	3000	3	42	3000
4	150	2000	4	80	4000	4	65	4000	4	65	4000	4	60	4000
5	180	2500	5	105	5000	5	85	5000	5	85	5000	5	80	5000
6	225	3000	6	130	6000	6	115	6000	6	100	6000	6	100	6000
7	-	-	7	125	7000	7	135	7000	7	130	7000	7	125	7000
8	-	-	8	-	8000	8	165	8000	8	160	8000	8	155	8000
9	-	-	9	-	9000	9	205	9000	9	195	9000	9	190	9000

Проведений аналіз теоретичних досліджень показує, що найкращу герметичність ущільнювального вузла зі збільшенням напрацювання показує обробка штока – «шліфування - полімерне покриття ФБФ-74Д». При напрацюванні $t = 5 \cdot 10^3$ мото-год. витіки робочої рідини становлять $Q = 80$ см³, що на 31,3% менші в порівнянні з проведенням однієї операції - шліфування для даного відрізка напрацювання.

При проведенні, в якості фінішної операції полірування, для напрацювання $t = 5 \cdot 10^3$ мото-год. витіки робочої рідини становлять $Q = 85$ см³, що на 6,3% більше в порівнянні з обробкою штока за операціями – «шліфування - полімерне покриття ФБФ-74Д».

Вибір способу відновлення штока з врахуванням цих двох способів буде обумовлюватись безпосередньо технічним станом штока, а також економічним критерієм впровадження вибраного способу.

2.2 Експертна оцінка способів відновлення деталей штокового ущільнювального вузла при ремонті гідроциліндрів

При ремонті гідроциліндрів застосовуються різні способи відновлення деталей штокових ущільнювальних вузлів.

З метою вибору способів відновлення й фінішної обробки зовнішньої поверхні штоків і отвору під шток передніх кришок для подальших досліджень була проведена експертна оцінка існуючих способів.

Для оцінки застосовуваних способів шляхом опитування фахівців склалися дві анкети, по способах відновлення розмірів деталей і по способах фінішної обробки. Анкети розсилалися по підприємствах, що спеціалізуються на ремонті гідроагрегатів, і по кафедрах ремонту машин сільськогосподарських інститутів.

Оцінка проводилася по застосовності способів з врахуванням наступних основних вимог: зносостійкості, міцностних властивостей,

корозійної стійкості, технологічності, економічності, сумісності матеріалів пар тертя, доступності матеріалу, екологічної безпеки.

Обробка значень експертних оцінок виконувалася за методиками багатомірного статистичного аналізу в соціально-економічних дослідженнях наведених в роботах [8, 9, 10].

Оцінки способів ділилися на три групи:

«+» - позитивна (спосіб має широкі можливості до застосування);

«-» - спосіб не застосуємо;

«0» - нейтральне відношення експерта до даного способу.

Для визначення значення оцінок експертів обчислювалася характеристика α для кожного способу:

$$\alpha = \frac{m}{n}, \quad (2.20)$$

де m - число експертів, що включили спосіб до складу групи;

n - загальне число експертів, ($n = 17$).

Способи відновлення зовнішньої поверхні штока і отвору під шток передньої кришки ранжирувались за значенням α . При цьому способи, що одержали більшу оцінку, включалися першими, а способи, для яких $\alpha \leq 0,1$, були виключені зі списку.

Результати експертної оцінки способів відновлення зовнішньої поверхні штока і способів відновлення отвору під шток передньої кришки представлено в табл. 2.2 і 2.3, відповідно.

Таблиця 2.2 – Результати експертної оцінки способів відновлення зовнішньої поверхні штока при ремонті гідроциліндра

Найменування способу відновлення	Оцінка, α
1. Хромування	0,94
2. Плазмове наплавлення	0,35
3, Електроконтактне наплавлення	0,35
4. Наплавлення порошковими дротами	0,18
5. Залізнення	0,18
6. Газополуменеве напилювання	0,18

Закінчення табл. 2.2

7. Наплавлення в середовищі захисного газу	0,12
8. Електроіскрове легування	0,12
9. Полімери	0,12

Таблиця 2.3 – Результати експертної оцінки способів відновлення отвору під шток передньої кришки при ремонті гідроциліндра

Найменування способу відновлення	Оцінка, α
1. Ремонтні додаткові деталі	0,70
2. Полімери	0,35
3. Газополуменеве напилювання	0,24
4. Залізнення	0,12
5. Наплавлення в захисних газах	0,12
6. Наплавлення порошковими дротами	0,12

Результати оцінки способів фінішної обробки поверхні штока і отвору під шток передньої кришки представлені в табл. 2.4 і в табл. 2.5, відповідно.

Таблиця 2.4 – Результати експертної оцінки способів фінішної обробки зовнішньої поверхні штока при ремонті гідроциліндрів

Найменування способу фінішної обробки	Оцінка, α
1. Алмазне вигладжування	0,56
2. Обкатування роликом або кулькою	0,44
3. Шліфування алмазними стрічками	0,31
4. Полірування пелюстковими колами	0,31
5. Хіміко-термічна обробка	0,31
6. Віброобкатування	0,25
7. Термообробка	0,25
8. Гостріння	0,13
9. Хонінгування	0,13
10. Полімерні покриття	0,125
11. Електромеханічне зміцнення	0,12

Таблиця 2.5 – Результати експертної оцінки способів фінішної обробки поверхні отвору під шток передньої кришки при ремонті гідроциліндрів

Найменування способу фінішної обробки	Оцінка, α
1. Гостріння	0,5
2. Полімерні покриття	0,31
3. Хонінгування	0,25
4. Розкачування роликом	0,19

Аналіз результатів експертної оцінки способів відновлення і фінішної обробки деталей штокового ущільнювального вузла з врахуванням реальних можливостей сервісних підприємств, показав, що для подальшого дослідження актуальними будуть наступні способи відновлення поверхні штока: на ремонтний розмір - хромування, на номінальний розмір - плазмове наплавлення.

Плазмове наплавлення є одним із прогресивних методів нанесення покриттів на робочі поверхні деталей типу «вал», діаметром більш 20 мм. Вона дає можливість наплавляти тугоплавкі матеріали, у тому числі і порошки на основі нікелю, що мають високу корозійну стійкість, дають високу якість, підвищену зносостійкість наплавленого шару, мінімальну глибину проплавлення і зону термовпливу на основу, дозволяє наносити шари товщиною 1-7 мм [11, 12].

Застосування плазмового наплавлення порошків на основі нікелю дозволить забезпечити працездатність штокового ущільнювального вузла і розв'язати актуальне завдання - виключити з технологічного процесу відновлення штока гальванічні операції як екологічно шкідливі.

Способами фінішної обробки штоків при ремонті, обраними для подальшого дослідження, є обкатування роликком або кулькою, полірування, шліфування, віброобкатування.

Для відновлення отвору під шток передньої кришки на підставі результатів експертної оцінки обраний спосіб відновлення, що полягає в постановці ремонтної додаткової деталі (втулки) з наступним розточуванням на номінальний або ремонтний розмір штока.

Висновки по розділу.

1. Найкращу герметичність ущільнювального вузла зі збільшенням напрацювання показує обробка штока – «шліфування - полімерне покриття ФБФ-74Д». При напрацюванні $t = 5 \cdot 10^3$ мото - год. витoki робочої рідини становлять $Q = 80 \text{ см}^3$, що на 31,3% менші в порівнянні з проведенням однієї операції - шліфування для даного відрізка напрацювання.

2. Вибір способу відновлення штока з врахуванням розглянутих способів фінішної обробки його поверхні буде обумовлюватись безпосередньо технічним станом штока, а також економічним критерієм впровадження вибраного способу.

4. Відновлення працездатності штокового ущільнювального вузла в процесі ремонту можливе застосуванням механічної обробки поверхні штока під ремонтний розмір або до номінального розміру, застосовуючи ефективні способи нарощування зношеної поверхні з послідуною механічною обробкою фінішними операціями для забезпечення оптимальних параметрів шорсткості поверхні.

5. Експлуатаційна довговічність штокового ущільнювального вузла обумовлюється затримкою процесу старіння і зменшенням швидкості зношування гумових ущільнювальних кілець шляхом нанесення фторопластових покриттів на їхню поверхню.

4. Аналіз результатів експертної оцінки способів відновлення і фінішної обробки деталей штокового ущільнювального вузла з врахуванням реальних можливостей сервісних підприємств, показав, що для подальшого дослідження актуальними будуть способи відновлення поверхні штока: на ремонтний розмір – хромування, на номінальний розмір – плазмове наплавлення.

3. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма та загальна методика досліджень

Згідно поставлених завдань програма експериментальних досліджень включає:

- дослідження технічного стану деталей гідроциліндрів, які потрапляють до сервісного підрозділу;
- визначення оцінки ремонтної технологічності гідроциліндрів;
- дослідження впливу технічного стану деталей на герметичність спряжень: «шток-передня кришка»;
- дослідження працездатності відновлених ущільнювальних вузлів при різних ремонтних діях;
- дослідження властивостей поверхонь деталей, відновлених різними способами (шорсткість, зносостійкість).

3.2 Методика дослідження технічного стану деталей гідроциліндрів, що надходять до ремонту

З метою отримання статистичних даних про характер і величину зношування, для визначення причин виникнення відмов ущільнювальних вузлів і виявлення деталей, які обмежують працездатність гідроциліндрів, проводиться технічна експертиза деталей гідроциліндрів, що потрапили до капітального ремонту.

Відбір деталей гідроциліндрів для технічної експертизи проводиться на розбиральному та дефектувальному робочих місцях лабораторії з дослідження надійності гідравлічних агрегатів кафедри інжинірингу технічних систем ДДАЕУ.

Після розбирання гідроциліндрів деталі знеособлюються, проходять очищення в мийній машині й надходять на дефекту вальне робоче місце.

Технічна експертиза полягає в мікрометражу та візуальному огляді деталей.

Технічна експертиза проводиться за наступними показниками:

- для штока – зовнішній діаметр штока в трьох перетинах (на початку, середині та кінці ходу), у двох взаємно перпендикулярних площинах; вигин, наявність і розміри дефектів поверхні: подряпини, задири, корозійні пошкодження та ін.;

- для передньої кришки - діаметр отвору під шток у трьох перетинах у двох взаємо-перпендикулярних площинах; наявність дефектів на направляючих поверхнях;

- для корпусу – внутрішній діаметр у п'яти перетинах через 50 мм довжини у двох взаємо-перпендикулярних площинах; наявність подряпин, корозійних пошкоджень та інших дефектів на дзеркальній поверхні корпусу;

- для поршня – зовнішній діаметр у двох перетинах та двох взаємно перпендикулярних площинах; наявність подряпин, сколів, тріщин на поверхні.

Для мікрометражу відбираються штоки, передні кришки, поршні, корпуси гідроциліндрів Ц75, Ц90, Ц100 і Ц110.

Вибір інструмента для виміру розмірів деталей проводиться по рекомендаціях [3]. За результатами мікрометражу формується статистичний ряд технічного стану структурних параметрів деталей. Статистична обробка даних проводиться за стандартними програмами.

Коефіцієнт придатності деталей визначається як імовірність придатності деталі в найбільш зношеному перетині [13]:

$$P = \int_{X_d}^0 f(x) \cdot d_x, \quad (3.1)$$

де X_d - допустимий розмір за технічними вимогами, мм.

Коефіцієнт придатності деталі по стану поверхні підраховується як відсоткове відношення кількості деталей без дефектів до загальної кількості деталей даного найменування.

Перелік використовуваного інструмента представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Перелік інструмента, застосовуваного при технічній експертизі деталей

Найменування	Межі виміру	Позначення	Похибка виміру, мм
Мікрометри гладкі з ціною розподілу 0,01 мм	25-50	МК 50-1 ГОСТ 6507-78	+0,004
	50-75	МК 75-1 ГОСТ 6507-78	0,01
	75-100	МК 100-1 ГОСТ 6507-7Е	+0,015
	100-125	МК 125-1 ГОСТ 6507-76	+0,015
Нутромір індикаторний	18-50	18-50 ГОСТ 9244-75	±0,02
	50-100	50-100 ГОСТ 9244-75	+0,015
	100-160	100-160 ГОСТ 9244-75	+0,015
Індикатор часовий	0-10	ІЧ-10М ГОСТ 577-68	+0,020
Мікроскоп відліковий	-	МПБ-2	-

3.3 Методика визначення показників ремонтпридатності гідроциліндрів

Оцінка ремонтної технологічності деталей показує на скільки вони пристосовані відновити свою працездатність при проведенні ремонтних робіт. Вона буде обумовлюватись конструктивними і технологічними властивостями деталі, а також характером дефектів.

Ремонтна технологічність в першу чергу впливає на трудомісткість, яка затрачується для відновлення працездатності деталі $t^{6.n.}$:

$$t^{6.n.} = t^{к.ос.} + t^{дод.}, \quad (3.2)$$

де $t^{6.n.}$ - загальна трудомісткість, люд.-год.;

$t^{к.ос.}$ - трудомісткість, що передбачається конструктивними особливостями деталі, люд.-год.;

$t^{доd.}$ - додаткова трудомісткість, що витрачається на забезпечення працездатності деталі без передбачення її конструктивних і технологічних особливостей, *люд. – год.*

Спочатку необхідно визначити ймовірнісну оцінку деталей, які являються придатними без ремонту P_n , потребують ремонту P_p і непридатні $P_{н.п}$:

$$P_n = \frac{n_n}{n_3}; P_p = \frac{n_p}{n_3}; P_{н.п} = \frac{n_{н.п}}{n_3}, \quad (3.3)$$

де n_3 - загальна кількість деталей, що потрапили в ремонт, *од*;

n_n - придатні деталі, *од*;

n_p - деталі потребують ремонту, *од*;

$n_{н.п}$ - непридатні деталі, *од*.

Кількісна оцінка ремонтної технологічності деталі проводиться на основі дійсного її технічного стану, конструктивній пристосованості до ремонту і технологічній для відновлення, а також від виду технологічного обладнання та економічності [14]:

$$P_{р.м.}^d = P_n + P_p \frac{\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}}{\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki} + \sum_{j=1}^z t_j^{don} \cdot K_{kj}} K_o \cdot K_e, \quad (3.4)$$

де m - основні операції для відновлення деталі, *од*;

z - допоміжні операції для відновлення деталі, *од*;

t_i^{oc} - трудомісткість i -ї основної операції, *люд. – год.*;

t_j^{don} - трудомісткість j -ї допоміжної операції, *люд. – год.*;

K_{ki} - к кваліфікація робіт i -ї основної операції;

K_{kj} - кваліфікація робіт j -ї допоміжної операції, *люд. – год.* ;

K_o - складність технологічного обладнання;

K_e - економічна доцільність ремонту.

Кваліфікація робіт (K_{ki}) визначається за виразом:

$$K_{ki} = \frac{S_c^H}{S_c^\phi}, \quad (3.5)$$

де S_c^H - вартість робіт за найнижчим розрядом, *грн* ;

S_c^ϕ - вартість робіт за фактичним розрядом, *грн* .

Складність технологічного обладнання визначається за виразом:

$$K_o = \frac{S_o^H}{S_o^P}, \quad (3.6)$$

де S_o^H - вартість обладнання для відновлення поверхонь, які передбачені конструктивно-технологічними факторами. *грн* ;

S_o^P - вартість обладнання для відновлення деталей в відповідності до дійсного виробничого, *грн* .

Економічної доцільності відновлення деталі визначається за виразом:

$$K_e = \frac{S_\delta^H}{S_\delta^H + S_\delta^P}, \quad (3.7)$$

де S_δ^H - вартість деталі за преіскурантом, *грн* ;

S_δ^P - затрати на ремонт деталі, *грн*.

Отримання вище наведених показників дасть можливість визначити пристосованість деталей гідроциліндра для відновлення їхньої працездатності.

3.4 Розробка методики оцінки ступеню герметичності штокового ущільнювального вузла гідроциліндра

На сьогодні запропоновані методики випробовування ущільнюючих спряжень вузлів гідроциліндрів на працездатність, які б дозволили врахувати режими роботи силового циліндра при виконанні трактором польових робіт (тиск робочої рідини, прикладування сумарного бічного навантаження), являються трудомісткими і дають в більшій мірі якісну оцінку структурним параметрам.

Водночас, стендові випробування досить складні і трудомісткі, вимагають більших енерговитрат і витрат часу. Випробування на машинах тертя зворотно-поступального руху типу 77MT-1 проводяться в основному для порівняльної оцінки зносостійкості матеріалів зразків і не дозволяють змодельовати умови змащення в з'єднанні «шток - ущільнювальне кільце».

Виходячи з вищевикладеного, необхідно розробити методику оцінки працездатності штокового ущільнювального вузла з урахуванням режиму змащення та навантаження.

З метою дослідження відновлених штокових вузлів гідроциліндрів і оцінки впливу різних способів відновлення штоків на працездатність штокового ущільнювального вузла застосовується стенд, схема якого представлена на рис. 3.1.

Стенд складається з механічного приводу зворотно-поступального руху, що перетворює обертовий рух вала редуктора 3 у зворотно-поступальний рух штоків, гідравлічної системи, електроустаткування, вимірювальних приладів, рами.

Гідравлічна система стенда складається з гідравлічного бака I, насоса високого тиску (НР 01 ВА) 2, гідроаккумулятора 3, запірною крана із запобіжним клапаном 4, трубопроводів.

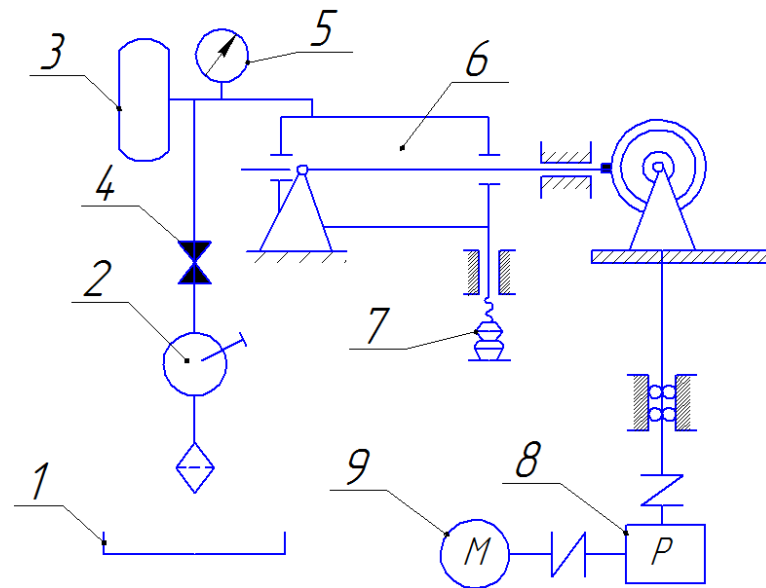


Рис. 3.1 – Гідрокінематична схема стенда для випробування штокових ущільнювальних вузлів гідроциліндрів 1 – гідробак; 2 – насос ручний високого тиску; 3 – гідроаккумулятор; 4 – кран з запобіжним клапаном; 5 – манометр; 6 – гідроциліндри, які випробовуюються; 7 – навантажувальний пристрій; 8 – редуктор; 9 – електродвигун

Випробування проводиться на спеціальних гідроциліндрах-моделях, які складаються із укороченого корпусу, двох стандартних передніх кришок Ц 75 і штока двосторонньої дії. У передніх кришках установлені стандартні ущільнювальні гумові кільця й пластикатні прокладки (рис. 3.2).

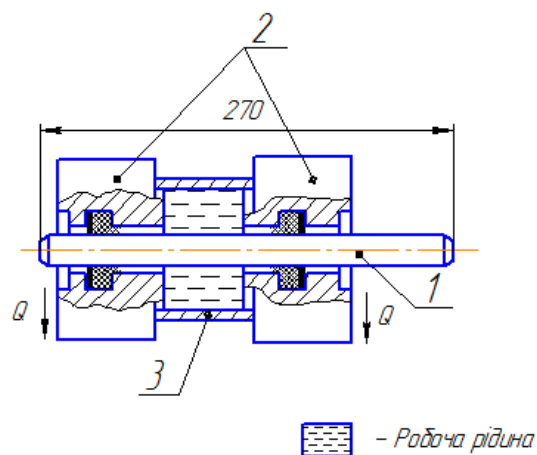


Рис. 3.2 – Модель для випробування штокового ущільнювального вузла гідроциліндра на герметичність: 1 – шток двосторонньої дії; 2 – передні кришки Ц75-1212002; 3 – корпус; Q - втрати через ущільнення штока

Принцип дії й порядок роботи на стенді наступні. Від електродвигуна обертання через муфту передається на вал редуктора 24-80. Від вихідного вала редуктора обертання через муфту передається на ексцентриковий вал, ексцентрики якого взаємодіють із вушками планки, на якій установлені штоки.

Зібрані гідроциліндри встановлюються на стенд, штоки кріпляться до планки. Штуцера мастилопроводів приєднуються до гідроциліндрів. Масло насосом подається в гідроаккумулятор, а потім у порожнини гідроциліндрів, які випробовуються. Гідроаккумулятор служить для стабілізації тиску робочої рідини в гідросистемі при невеликих втратах.

У процесі випробування проводиться реєстрація наступних параметрів: наробіток (число циклів зворотно-поступального руху штоків), тиск робочої рідини в гідросистемі, виток робочої рідини по штокові, температура штока.

Температура випробовуваних штоків виміряється спеціально розробленим приладом з термопарою гр. ХК, установленюваної на глибину 20 мм у тіло штока. Тиск робочої рідини замірється манометром 5. Наробіток реєструється лічильником імпульсів. Збір витоків по штокові проводиться через латунні трубки, розташовані на передніх кришках у місці виходу штока із кришки. Масло збирається по пластмасових трубках у мензурки.

Для створення бічного навантаження на шток використовується пристосування, яке складається із пластини з гвинтовою парою й пакета протарированих тарілчастих пружин. Схема сил, що діють на шток, при прикладанні бічного навантаження представлена на рис. 3.3.

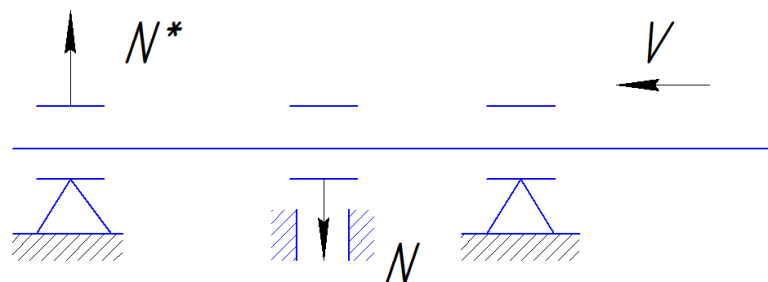


Рис. 3.3 – Схема сил, що діють на шток при випробуванні

3.5 Методика оцінки технічного стану деталей штокового ущільнювального вузла гідроциліндрів

З метою оцінки впливу стану деталей штокового ущільнювального вузла на працездатність гідроциліндрів проводиться їхнє випробування на стенді КИ-4815М. Загальний вид стенда наведено на рис. 3.4.

Для проведення випробувань відбираються гідроциліндри, що потрапили до ремонтного фонду.

Гідроциліндр установлюється на стенд і виміряються наступні параметри: величина втрат по штокові, тиск вільного переміщення поршня, втрати через ущільнення поршня - внутрішні перетікання; фіксуються місця втрат.

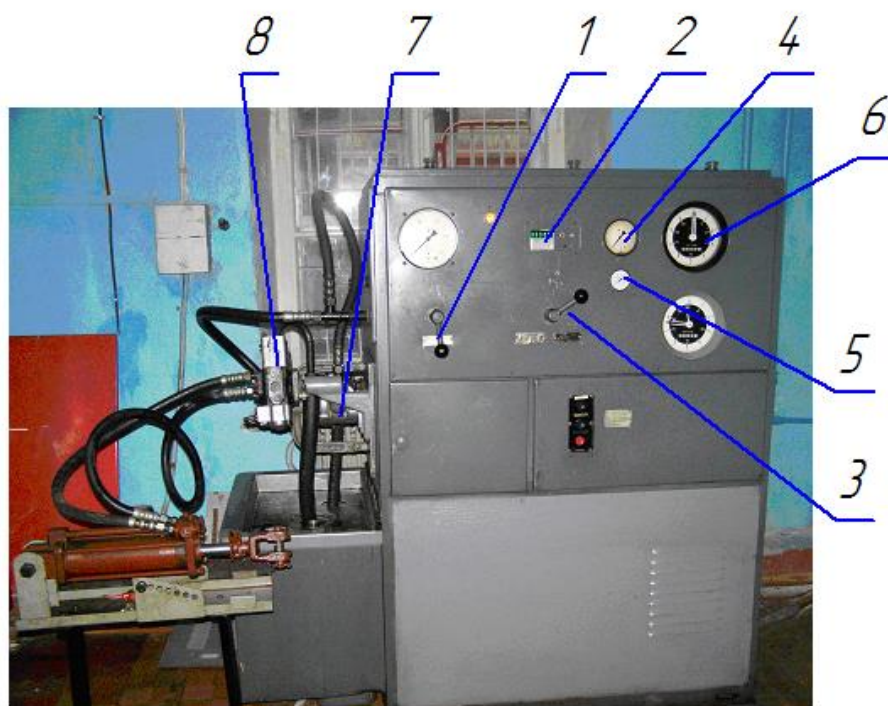


Рис. 3.4 – Загальний вид експериментальної установки (КИ-4815) : 1 дросель; 2 – показник обертів; 3 – ричаг керування лічильником; 4 – манометр; 5 – показник температури; 6 – лічильник контролю рідини; 7 – насос; 8 – розподільник; 9 – гідроциліндр

Тиск вільного переміщення поршня визначається при подачі робочої рідини 10–12,5 л/хв. Величина втрат по штокові визначається після 5 подвійних ходів за допомогою зважування поролонової манжети до та після випробування. Манжета одягається на шток. Місця витоків визначаються візуально. Внутрішні перетікання визначаються за обсягом масла (робочої рідини), що залишилася в штоковій порожнині при знаходженні поршня в крайньому положенні (шток всунутий) мірною склянкою.

Після випробування гідроциліндр розбирається й проводиться технічна експертиза деталей за методикою, описаної вище.

3.6 Методика проведення лабораторних досліджень технічного стану робочих поверхонь деталей

У лабораторні дослідження входять послідовні операції: вимір геометричних розмірів, шорсткості поверхні й мікротвердості штоків, твердості ущільнювальних гумових кілець, оцінку величини й характеру зношування поверхні штоків і ущільнювальних кілець, відновлених різними способами.

Визначення шорсткості поверхні штоків виконується методом профілографування за допомогою профілограмм на профілометри-профілографі моделі 296 з цифрою індикацією і індуктивним перетворювачем. Принцип роботи останнього заснований на відчутті нерівностей досліджуваної поверхні алмазною голкою щупа, та подальшого перетворення механічних коливань щупа в електричні сигнали відповідні цим коливанням.

Вид і характер зношування штоків і ущільнювальних кілець досліджується методами оптичної мікроскопії на приладах МПБ-2 і ММУ-3. Методика досліджень деталей гідроциліндрів, які потрапили до ремонту представлена вище. Величина зношування штока в процесі випробування на зносостійкість визначається методом профілографуванням.

Висновок.

1. Розроблення методики оцінки показників ремонтнопридатності деталей гідроциліндра дає можливість визначити заходи для зниження трудомісткості та покращення якості його ремонту.

2. Методика виконання випробувань гідроциліндра з застосуванням стенду КИ-4815М значно підвищує продуктивність і якість експерименту.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕМПІРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Технічна експертиза деталей гідроциліндрів, що надходять до ремонту

Для визначення основних причин, за яких виникають відмови ущільнюючих спряжень і виявлення деталей обмежуючих працездатність гідроциліндрів, був виконаний збір даних про характер і величину зношення, шляхом проведення технічної оцінки деталей тракторних гідроциліндрів, які потребують ремонту.

Більшість деталей гідроциліндрів, які надходять у ремонт, мають діаметральні риски, натири, що обумовлюється гідробразивним зношуванням (рис. 4.1).



Рис. 4.1 – Зовнішній вид зношення внутрішньої поверхні корпусу

Оцінка стану корпусу циліндра показує, що він зношується більш в площині дії зовнішнього навантаження (тобто в площині, перпендикулярній вісі пальців задньої кришки і вилки штока). Розміщення зони найбільшого зношення по довжині корпусу циліндра різне і не співпадає з місцем прикладення максимальної сили. Це пояснюється тим, що при виконанні трактором різних сільськогосподарських робіт хід поршня змінюється.

Оцінка стану штока гідроциліндра (матеріал штоку – сталь 45Х, твердість HRC 30...35, вилки – сталь 45 НВ 170...229) зовнішнім оглядом

показала, що переважним видом зношення у штока є гідроабразивне зношення

Оцінка стану штока гідроциліндра (матеріал штоку – сталь 45Х, твердість HRC 30...35, вилки – сталь 45 НВ 170...229) зовнішнім оглядом показала, що переважним видом зношення у штока є гідроабразивне зношення (рис. 4.2).

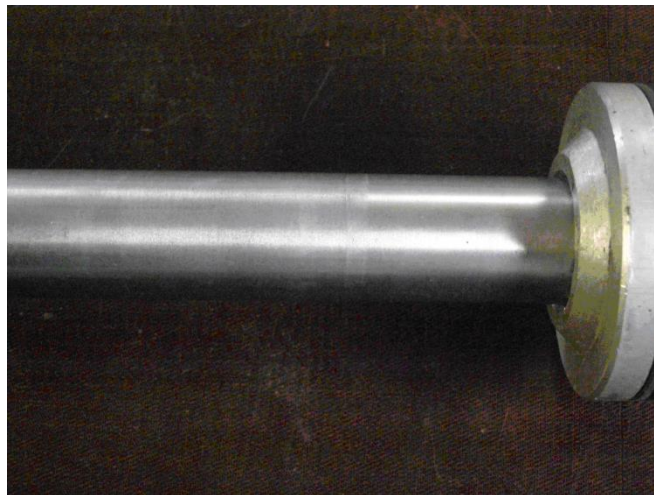


Рис. 4.2 – Зовнішній вид зношення штока

При обстеженні зовнішнього стану поршня гідроциліндра було зафіксовано повздовжні риси, які виникли за рахунок гідроабразивного зношення переважно металевими частинками, які вдавлюються в поверхню поршня і створюють мікроканали (рис.4.3)



Рис. 4.3 – Зовнішній вид зношення поршня

Контроль технічного стану отвору передньої кришки під шток (сірий чавун СЧ-21 твердість НВ 170...241) показує, що максимальне зношення

спостерігається в площині, перпендикулярній вісі пальця і досягає. За видом зношення в кришці також переважає гідроабразивне зношення.

Проведені дослідження характеру і виду зношення деталей, які обумовлюють ресурсний відказ, дозволяють зробити наступні висновки: Переважаючим видом зношення деталей є гдіроабразивне зношення, яке обумовлює виникнення рисок і каналів, які приводять до збільшення витрат робочої рідини і як правило, до втрати працездатності. За характером зношення деталей максимальне значення їх зношення спостерігається в площині перпендикулярів вісі пальців фіксації штока.

Розподіл діаметрів штоків гідроциліндрів досить точно апроксимується нормальним законом (рис. 4.4).

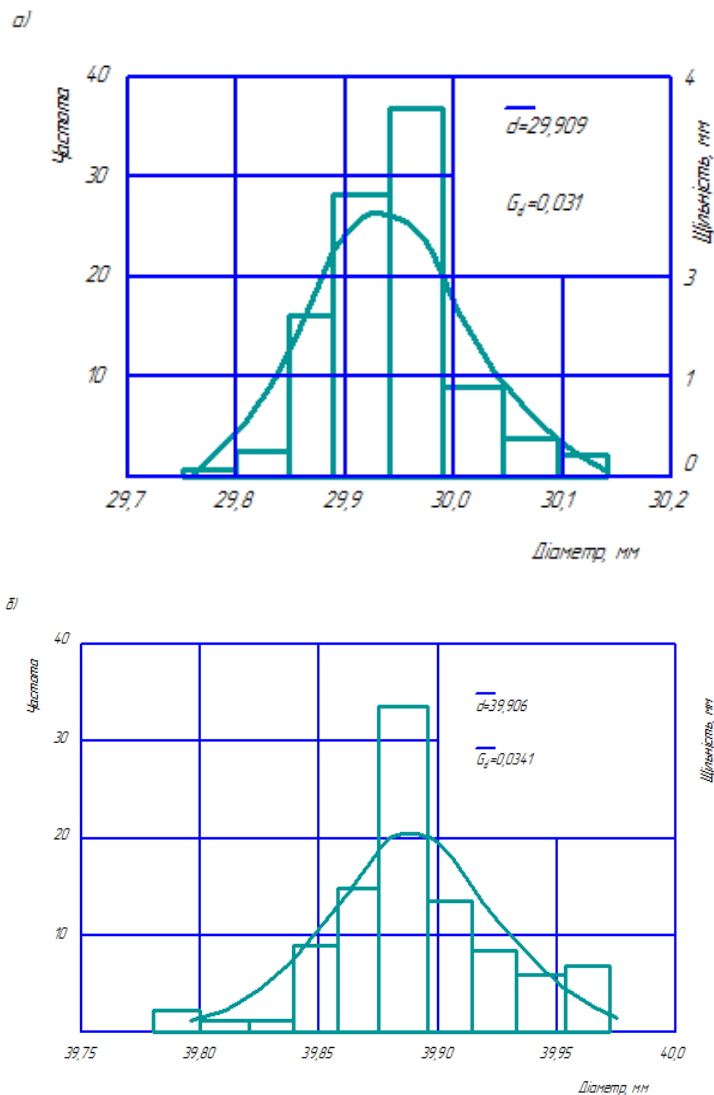


Рис. 4.4 – Гістограми та розподіл щільності ймовірності діаметрів зовнішніх поверхонь штоків гідроциліндрів Ц75(а) і Ц100 (б)

Середня величина зношування зовнішньої поверхні штока Ц75 становить 0,018 мм, Ц100 - 0,014 мм. Отже, за величинами зношування можна використовувати без ремонтних операцій приблизно половину штоків. Однак, це неможливо внаслідок наявності інших дефектів штоків - пошкодження робочої поверхні й вигину. Розподіл величин вигинів штоків має яскраво виражений асиметричний характер (рис.4.5) і апроксимується законом розподілу Вейбулла.

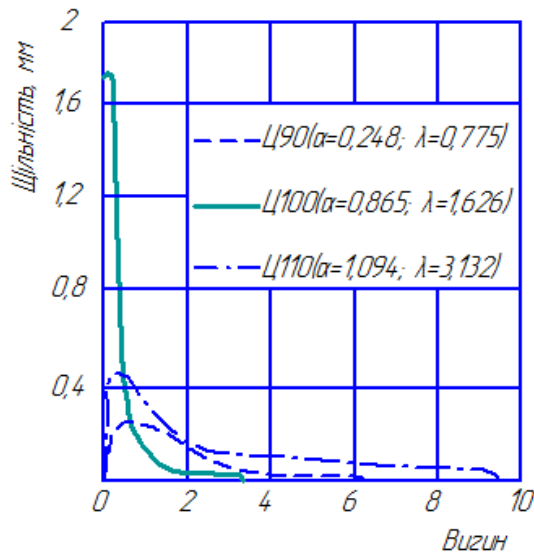


Рис. 4.5 – Розподіл щільності ймовірності величин вигинів штоків

Розглядаючи ушкодження штока в комплексі, можна відзначити, що найбільш характерними дефектами для штоків Ц90 є вигин і зношування, для штоків Ц100 - пошкодження робочої поверхні й зношування, для штоків Ц110 - вигин, зношування й пошкодження робочої поверхні. Глибина задирів і подряпин у деяких випадках досягає 0,5 мм. Для штоків Ц100 і Ц110 характерна нерівномірність зношування по довжині штока, що можливо пояснюється різним напрямком дії навантажень на різних видах робіт в експлуатації. Причому, найбільше зношування шток гідроциліндра Ц110 має в середині ходу в площині, перпендикулярній вушку. Можливо також, що зношування робочої поверхні штока відбувається через динамічні навантаження, що діють на висунутий шток.

Таким чином, з урахуванням загальної оцінки стану штоків гідроциліндрів, які потрапили до ремонту, можна висунути робочу гіпотезу, що практично всі штоки вимагають відновлення.

Розподіл діаметрів отворів під шток у передніх кришках гідроциліндрів, що потрапили до ремонту, підчиняється логнормальному закону. Гістограми та графіки розподілу щільності представлені на рис. 4.6 і 4.7.

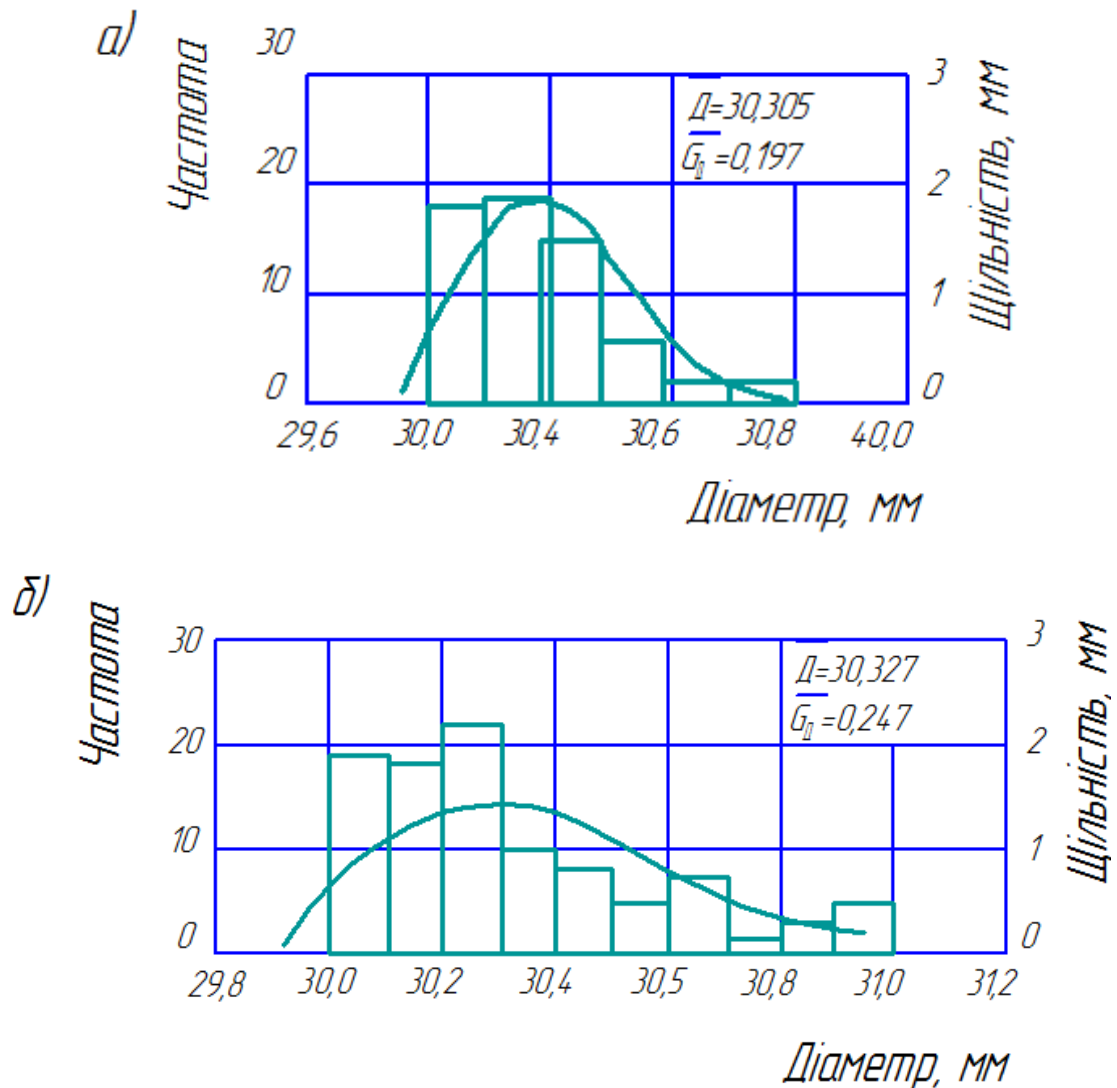


Рис. 4.6 – Гістограми та розподілення щільності ймовірності діаметрів отворів передніх кришок гідроциліндрів Ц75 (а) і Ц90 (б)

Для передніх кришок характерне зношування, що перевищує допустимий у кілька разів. Так, середнє зношування отвору під шток для передніх кришок Ц75 становить 0,15 мм; Ц90 - 0,161 мм; Ц100 - 0,217 мм;

Ц110 - 0,252 мм. Поряд зі зміною діаметра отвору в більшості кришок спостерігаються подряпини на поверхнях, які сполучені зі штоком.

Велике зношування кришки звичайно викликане вигином штока, а подряпини - абразивними частками пилу й часточками чавуну, які відриваються від кришки в процесі тертя штоку при його вигину.

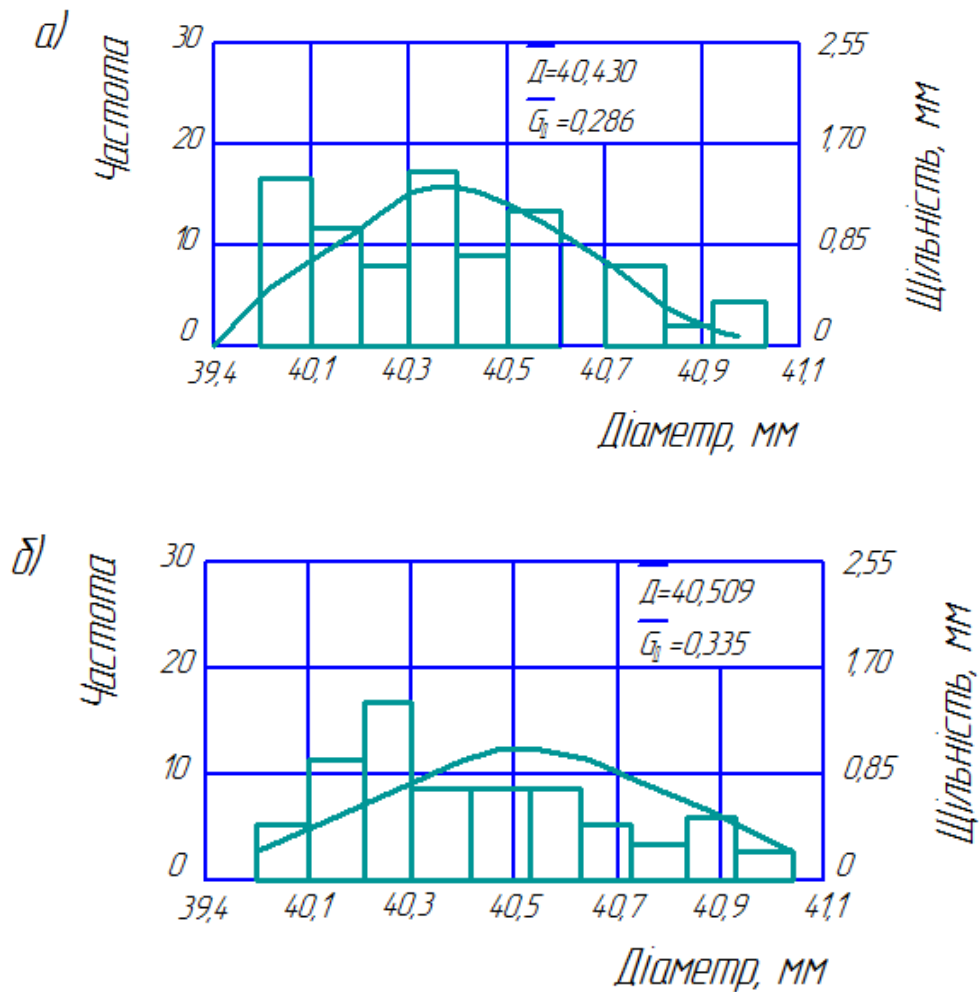


Рис. 4.7 – Гістограми та розподілення щільності ймовірності діаметрів отворів передніх кришок гідроциліндрів Ц100 (а) і Ц110 (б)

4.2 Оцінка ремонтної технологічності гідроциліндрів

На основі аналізу технічного стану гідравлічних циліндрів, які поступали до ремонту, вдалось отримати кількісну оцінку ймовірностей появи дефектів у деталей гідравлічних циліндрів, які висвітлено в табл. 4.1 та наводяться на рис. 4.8.

Таблиця 4.1 – Ймовірності технічного стану деталей гідравлічних циліндрів

№ п/п	Найменування деталі	Деталь придатна, P_n	Деталь треба ремонтувати, P_p	Деталь вибраковується, $P_{н.п}$
1	Корпус гідроциліндра	0,04	0,94	0,02
2	Поршень	0,05	0,92	0,03
3	Шток гідроциліндра	0,01	0,97	0,02
4	Кришка передня	0,03	0,96	0,01

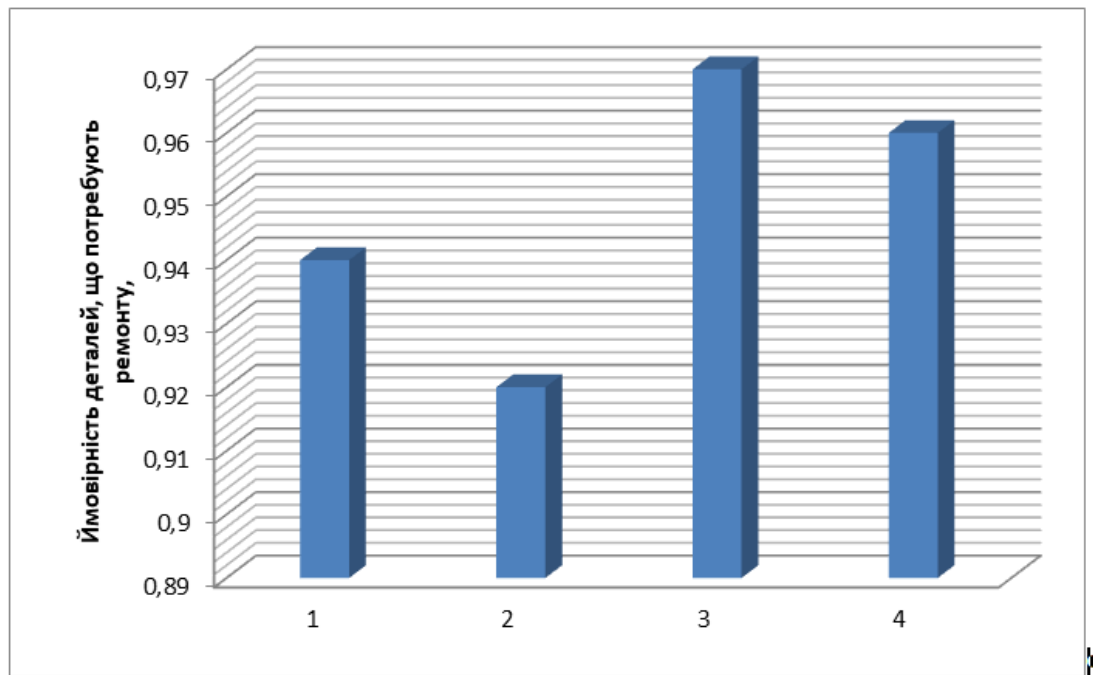


Рис. 4.8 – Кількісні показники ймовірності структурного стану деталей гідроциліндра, що можуть ремонтуватись: 1 – корпус гідроциліндра; 2 – поршень; 3 – шток гідроциліндра; 4 – кришка передня

Проведена оцінка кількісних показників виявила, що деталі спряження «шток – ущільнювач кришки» знаходяться в ймовірнісному інтервалі $P_p = 0,96...0,97$, який характеризує максимальну необхідність в ремонті. Деталі даного спряження сприймають бічні невірноважені навантаження, які приводять до зростання питомих навантажень в місцях контакту деталей і інтенсивному зношенню їх робочих поверхонь, яке починає проявлятися в порушенні зовнішньої герметичності гідроциліндра. Подальша експлуатація гідроциліндра з таким дефектом створює умови для прогресуючого

гідроабразивного зношення деталей спряження «корпус - поршень», що прискорить ресурсну відмову гідроагрегату.

Кількісна оцінка ремонтної технологічності деталей визначалась за виразом (3.4). Отримані результати зводяться до табл. 4.2. та наводяться на (рис. 4.9).

Таблиця 4.2 – Показники технологічної пристосованості деталей до ремонту

Назва деталі	Показники технологічної пристосованості деталей до ремонту							
	P_n	P_p	$\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}$	$\sum_{j=1}^z t_j^{don} \cdot K_{kj}$	K_k	K_o	K_e	$P_{p.m.}^{\partial}$
Корпус гідроциліндра	0,04	0,94	1,39	0,23	0,77	1,1	0,76	0,71
Поршень	0,05	0,92	1,62	0,35	0,77	1,15	0,62	0,59
Шток гідроциліндра	0,01	0,97	2,16	0,69	0,77	1,27	0,77	0,73
Кришка передня	0,03	0,96	1,23	0,29	0,77	1,1	0,79	0,71

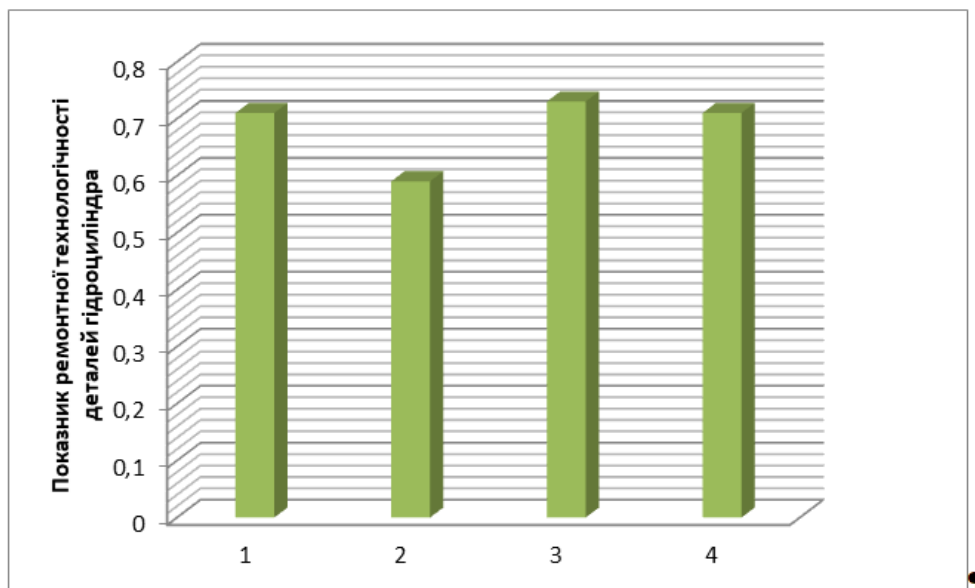


Рис. 4.9 – Показники оцінки ремонтної технологічності деталей гідроциліндра Ц 100: 1 – корпус гідроциліндра; 2 – поршень; 3 – шток гідроциліндра; 4 – кришка передня

Аналіз показників ремонтної технологічності деталей показав, що найменшу технологічну пристосованість має поршень ($P_{p.m.}^{\partial} = 0,59$), так як в процесі його ремонту в більшості випадків виготовляється новий поршень

збільшеного розміру, що потребує значної кількості оснастки та обладнання, а також обумовлює зменшення коефіцієнта економічної ефективності.

Визначена оцінка ремонтної технологічності штока гідроциліндра ($P_{p.m.}^{III} = 0,73$) обумовлюється високим показником придатності деталі до ремонту ($P_n = 0,97$), який отримано по результатам його дефектації, а також високим показником економічної доцільності відновлення штока.

Показники ремонтної технологічності корпусу гідроциліндра та його передньої кришки становлять – 0,71, що пояснюється не значною трудомісткістю допоміжних операцій, що складає 16-20% трудомісткості технологічних операцій та високим показником економічної доцільності відновлення деталей, в зв'язку з тим, що в них відновлюється тільки одна поверхня – внутрішні отвори під поршень і шток.

4.3 Дослідження герметичності відремонтованих ущільнювальних вузлів

Для випробування на герметичність штокові ущільнювальні вузли комплектувалися штоками, відновленими різними способами, передніми кришками, відремонтованими постановкою втулки з матеріалу, аналогічного матеріалу кришки (із чавуну СЧ 21-40), стандартними новими ущільнювальними кільцями.

Дослідження проводилося за методикою, яка наведена в розділі 3. Вибір способів обробки й відновлення проводився на основі аналізу досвіду ремонтних підприємств, експертної оцінки способів відновлення й результатів розрахунково-теоретичного аналізу. Для дослідження прийняті наступні варіанти технології відновлення зовнішньої поверхні штоків:

1. Еталон, оброблений за технологією виготовлення (точіння, поверхнево-пластичне деформування - хромування - полірування, термічна обробка); відновлення методом обробки до ремонтного розміру;
2. Точіння - плазмове наплавлення - шліфування - поверхнево-пластичне деформування кульковим інструментом;

3. Точіння - плазмове наплавлення - шліфування - полімерне покриття.

Плазмове наплавлення штоків проводилося на наступних режимах: сила струму $I = 160 - 170 \text{ A}$, частота обертання $n = 25 \text{ хв}^{-1}$, поздовжня подача плазмотрона $S_{\text{повзд.}} = 2,7 \text{ мм / об.}$. Наплавочний матеріал, який наноситься на поверхню штока - наплавочний порошок на основі нікелю (ПРН77Х15СЗР2). Поверхня напавленого штока оброблялася шліфуванням на круглошліфувальному верстаті колом з карбіду кремнію (64С) на бакелітовім зв'язуванні (частота обертання $n = 650 \text{ хв}^{-1}$, поздовжня подача $S_{\text{повзд.}} = 0,7 \text{ мм / об.}$, число проходів $i = 3$).

Поверхнево-пластичне деформування виконувалося на токарно-гвинторізному верстаті 1624М спеціальним кульковим обкатником (частота обертання $n = 200 - 250 \text{ хв}^{-1}$, поздовжня подача $S_{\text{повзд.}} = 0,25 - 0,3 \text{ мм / об.}$, число проходів $i = 3$, зусилля обкатування $P = 1000 - 1500 \text{ Н}$, діаметр кульки $d_{\text{к.}} = 20 \text{ мм}$).

Полімерне покриття ФБФ-74Д на поверхню штока й гумове кільце наносилося щіткою, затверджувалося на повітрі при температурі $t = 20 - 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 20...30 хв., а потім штоки й гумові кільця з покриттям сушилися у термошафі при $t = 145 - 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 1 години.

При випробуванні контролювалися: втрати робочої рідини по штокові через кожні 1000 циклів, температура в зоні тертя, сила тертя, час появи перших втрат. Характеристики варіантів відновлених штоків і еталонних зразків представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Характеристика варіантів відновлених штоків і еталонних зразків

№ з.п	Спосіб відновлення або обробки	Шорсткість, $R_a, \text{ мкм}$	Мікротвердість, 10^2 МПа
1	Еталон (точіння – ППД – хромування – полірування – термообробка)	0,15...0,20	40...45 HRC
2	Точіння - плазмове наплавлення – шліфування – ППД	0,32...0,8	60...62
3	Точіння – плазмове наплавлення – шліфування – полімерне покриття	0,32...0,8	60...62

За критерій втрати герметичності штокового ущільнювального вузла було прийнято втрати робочої рідини, які виносяться одиницею площі штока за один подвійний хід, і мають граничне значення $0,05 \text{ см}^3/\text{м}^2$. Об'єм робочої рідини, що виносяться, за один подвійний хід визначали по формулі:

$$V = \frac{V_n}{\pi \cdot D \cdot L \cdot n}, \quad (4.1)$$

де V_n - об'єм рідини, що виносяться за n подвійних ходів, см^3 ;

D - діаметр поверхні, м ;

L - хід штока, м ;

n - число подвійних ходів (циклів).

Випробування припинялися по досягненню граничних втрат. Одночасно випробовувалися чотири штокові ущільнювальні вузли на двох гідроциліндрах-моделях.

На першому етапі випробування проводилися без тиску робочої рідини й без прикладання бічного навантаження.

При випробуванні штокових ущільнювальних вузлів, укомплектованих хромованими - еталонними штоками, витік починався з перших ходів. Результати кількісної оцінки витоків робочої рідини представлені в табл.4.4 і графічно рис. 4.10.

Таблиця 4.4 – Кількісна оцінка витоків робочої рідини від циклів (еталон)

№ з/п	Витоки рідини, Q , см^3	Число циклів, n , $1 \cdot 10^3$ цикл.	№ з/п	Витоки рідини, Q , см^3	Число циклів, n , $1 \cdot 10^3$ цикл.
0	0,0	0	12	1,2	12,0
1	0,09	1,5	13	1,5	13
2	0,10	2,0	14	1,8	14
3	0,15	2,5	15	1,85	15
4	0,20	4,0	16	2,0	16
5	0,25	5,0	17	2,1	17
6	0,30	6,0	18	2,3	18
7	0,65	7,0	19	2,6	19
8	0,70	8,0	20	2,9	20
8	0,85	9,0	21	3,2	21
10	1,0	10,0	22	3,5	22
11	1,1	11,0	23	3,8	23

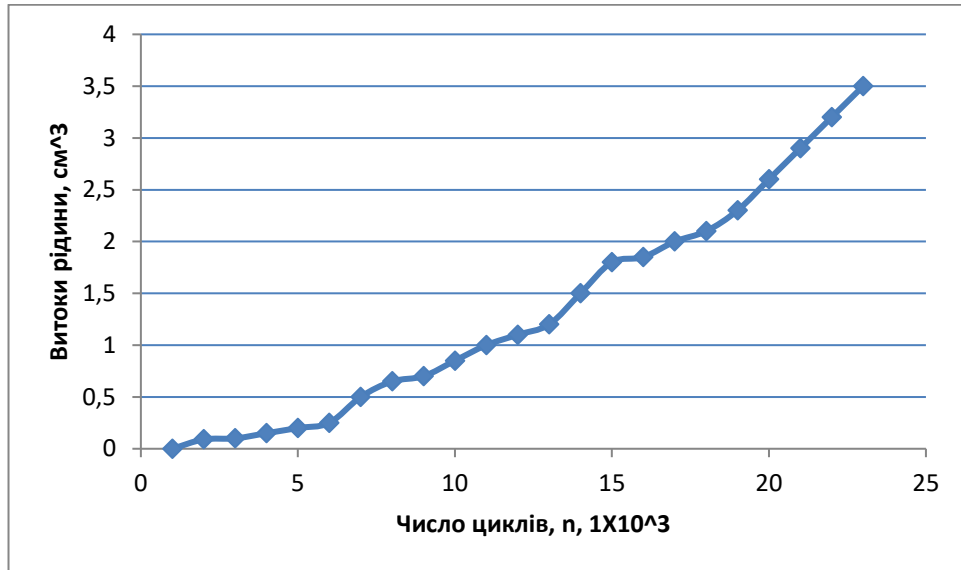
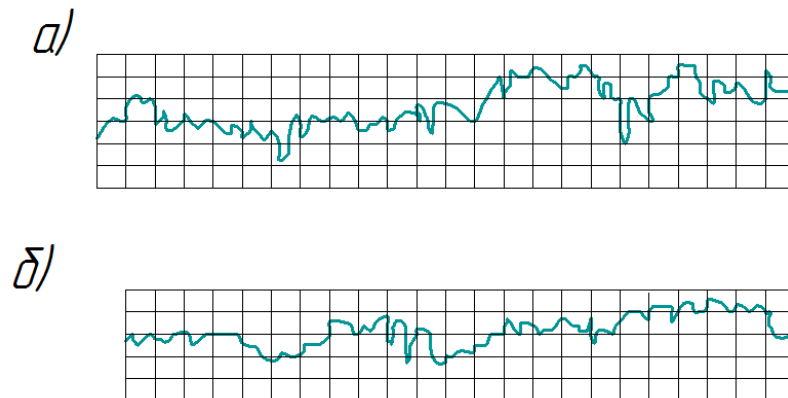


Рис. 4.10 – Витоки рідини (Q) залежно від числа циклів (n) при обробці штока за технологією виготовлення (еталон) (варіант 1.1)

Температура в зоні тертя в процесі випробування не підвищувалася. Гумові ущільнювальні кільця після випробування мали на поверхні невеликі подряпини в напрямку руху штока й зони тертя шириною до 1 мм. Шорсткість поверхні штока після випробування склала $R_a = 0,17$ мкм й у порівнянні з шорсткістю до випробування не змінилася (рис.4.11).



Збільшення вертикальне – 10000
горизонтальне – 200

Рис. 4.11 – Фрагмент профілограм поверхні штока, обробленого за технологією виготовлення (еталон): а) до випробування, б) після випробування

Результати випробування штокових ущільнювальних вузлів, укомплектованих штоками, відновленими плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і поверхнево-пластичним деформуванням (варіант 1.2), показали, що витік починався з перших ходів штока й після наробітку 4000 циклів стабілізувався, і тільки після наробітку 15000 циклів швидкість витіку досягла граничного значення табл. 4.5, (рис. 4.12).

Таблиця 4.5 – Кількісна оцінка витоків робочої рідини від циклів (варіант 1.2)

№ з/п	Витоки рідини, Q, см ³	Число циклів, n, 1·10 ³ цикл.	№ з/п	Витоки рідини, Q, см ³	Число циклів, n, 1·10 ³ цикл.
0	0,0	0	9	1,4	9,0
1	0,20	2,0	10	1,45	10,0
2	0,25	3,0	11	1,50	11,0
3	0,35	4,0	12	1,70	12,0
4	0,55	5,0	13	1,80	13,0
5	0,80	6,0	14	1,90	14,0
6	0,95	7,0	15	2,2	15,0
7	1,0	8,0	16	2,8	16,0
8	0,70	8,0	27	-	-

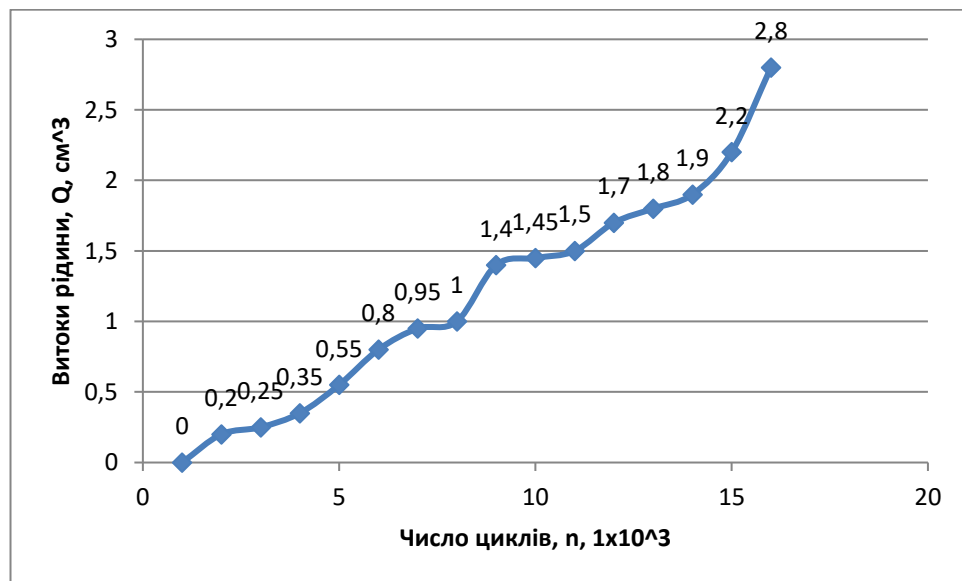


Рис. 4.12 – Витоки рідини (Q) залежно від наробітку (n) при відновленні штока плазмовим наплавленням і обробкою шліфуванням і поверхнево-пластичним деформуванням (варіант 1.2)

У процесі випробування спостерігалось підвищення сили тертя у порівнянні з еталонними зразками на 45 % вище. Температура в зоні тертя підвищувалася до 70°C. Після випробування гумові ущільнювальні кільця мали на своїй поверхні подряпини, вириви, зону тертя по всьому діаметру кільця. Шорсткість штоків у процесі випробувань склала $R_a = 0,72 \mu\text{м}$, $R_z = 2,2 \mu\text{м}$ (рис. 4.13).



Рис. 4.13 – Фрагмент профілограми поверхні штока, відновленого плазмовим наплавленням і обробленого шліфуванням і ППД (варіант 1.2)

У процесі випробування штокових ущільнювальних вузлів, укомплектованих штоками, відновленими плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і нанесенням полімерного покриття на поверхню штока й стандартними гумовими кільцями з полімерним покриттям (варіант 1.3) отримали результати згідно табл. 4.6, графік сумарного витоку представлений на рис.4.14.

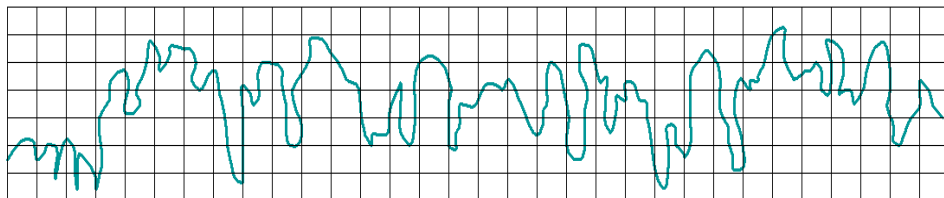
Таблиця 4.6 – Кількісна оцінка витоків робочої рідини від циклів (варіант 1.3)

№ з/п	Витоки рідини, Q, см ³	Число циклів, n, 1·10 ³ цикл.	№ з/п	Витоки рідини, Q, см ³	Число циклів, n, 1·10 ³ цикл.
0	0,0	0	11	1,2	11,0
1	0,09	1,0	12	1,4	12,0
2	0,10	2,0	13	1,6	13,0
3	0,20	3,0	14	1,80	14,0
4	0,30	4,0	15	2,0	15,0
5	0,45	5,0	16	2,1	16,0
6	0,55	6,0	17	2,3	17,0
7	0,70	7,0	18	2,8	18,0
8	0,85	8,0	19	3,1	19,0
8	0,90	9,0	20	3,4	20,0
10	1,0	10,0	-	-	-



Рис. 4.14 – Витоки рідини (Q) залежно від числа циклів (n) при відновленні штоків плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і нанесенням полімерного покриття, гумове кільце з покриттям ФБФ-74Д (варіант 1.3)

Шорсткість штоків, відновлених плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і нанесенням полімерного покриття складала після випробування $R_a = 0,8 \mu\text{м}$. (рис. 4.15).



Збільшення: вертикальне – 4000

горизонтальне – 80

Рис. 4.15 – Фрагмент профілограми поверхні штока, відновленого плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і нанесенням полімерного покриття ФБФ-74Д (варіант 1.3)

У процесі випробування штокових ущільнювальних вузлів, укомплектованих штоками, відновленими плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і нанесенням полімерного покриття ФБФ-74Д на поверхню штока й на гумові кільця спостерігалася низька сила тертя, в 4-5

раз нижче, чим при випробуванні еталонних штоків. Температура в зоні тертя в процесі випробування не змінювалася, що свідчить про нормальні умови роботи ущільнення. Витік почався з перших ходів, швидкість витоку досягла граничного значення після наробітку 18000 подвійних ходів (циклів). Результати візуального огляду гумових кілець після випробування наступні: полімерне покриття на поверхні кілець, сполученої з канавкою передньої кришки, збереглося, кільця на поверхні не мають слідів зношування, тріщин і інших дефектів. При розгляді поверхні штока в мікроскоп ММУ-3 спостерігалися залишки фторопластового покриття в западинах мікронерівностей.

Для порівняння характеру росту витоків робочої рідини через штокові ущільнювальні вузли без тиску робочої рідини з прикладанням бічного навантаження представлені в табл.4.7 і наведені на рис 4.16. в одному масштабі.

Таблиця 4.7 – Витоки робочої рідини з прикладанням бічного навантаження

№ з/п	Витоки рідини, Q, см ³	Число циклів, n, 1·10 ³ цикл.	Витоки рідини, Q, см ³	Число циклів, n, 1·10 ³ цикл.	Витоки рідини, Q, см ³	Число циклів, n, 1·10 ³ цикл.
	Еталон		точіння-плазмове наплавлення-шліфування-ППД		Точіння – плазмове наплавлення – шліфування – покриття полімером ФБФ-74Д	
1	0,4	0,5	0,1	0,5	0	0,5
2	0,6	1,0	0,2	1,0	0	1,0
3	1,0	2,0	0,5	2,0	0,2	2,0
4	1,3	3,0	0,8	3,0	0,45	3,0
5	1,6	4,0	1,1	4,0	0,55	4,0
6	1,9	5,0	1,4	5,0	0,80	5,0
7	2,4	6,0	1,7	6,0	1,0	6,0
8	-	7,0	-	7,0	1,2	7,0

Результати випробувань із прикладанням бічного навантаження без тиску робочої рідини показали, що штокові ущільнювальні вузли, укомплектовані штоками, відновленими плазмовим наплавленням, з наступним шліфуванням і нанесенням полімерного покриття на поверхню штока й гумового ущільнювального кільця (варіант 3.3) мають кращу герметичність, ніж штокові ущільнювальні вузли з еталонними

(хромованими) штоками (варіант 3.1) і зі штоками, відновленими плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і ППД (варіант 3.2).

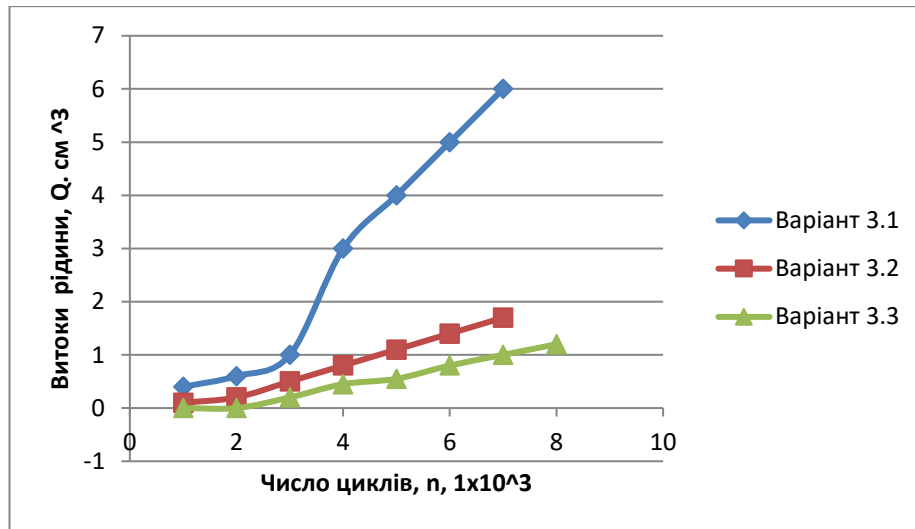


Рис. 4.16 – Графіки апроксимованих залежностей витоків Q через штокові ущільнювальні вузли від кількості циклів n при обробці штока:

3.1. Еталон (за технологією виготовлення); 3.2. точіння – плазмове наплавлення – шліфування – ППД; 3.3. Точіння – плазмове наплавлення – шліфування – покриття полімером ФБФ-74Д

4.4 Технологічні рекомендації із забезпечення працездатності штокових ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндрів

На основі проведених досліджень працездатності штокових ущільнювальних вузлів, відновлених різними способами, рекомендується наступна технологія відновлення штокових ущільнювальних вузлів при ремонті гідроциліндрів для умов сервісних підприємств.

005. *Виправлення.* Правити шток на гідравлічному пресі 40т 0КС-1671М. Контролювати вигин на цеховому пристосуванні (допуск - 0,1 мм).

010. *Центрувальна.* Центрувати головку штока (свердло центрувальне діаметром 6,3 мм, частота обертання $n = 650 \text{ хв}^{-1}$, на токарно-гвинторізному верстаті типу 1624М).

015. *Токарна.* Точити поверхню штока в розмір $d = 27 \pm 0,1$ мм. різцем Т15 К6 на токарно-гвинторізному верстаті під плазмове наплавлення.

020. *Наплавочна.* Наплавити поверхню штока порошком ПРН77Х15СЗР2 за технологією лабораторії кафедри (сила струму $I = 160 - 170$ А, частота обертання $n = 25$ об/хв, поздовжня подача плазмотрона $S_{\text{повзд.}} = 2,7$ мм/об.).

025. *Шліфувальна.* Шліфувати поверхню на круглошліфувальному верстаті колом з карбиду кремнію (64С) на бакелітовім зв'язуванні (частота обертання $n = 650$ об/хв, поздовжня подача $S_{\text{пр.}} = 0,7$ мм/об, число проходів $i = 3$) до розміру $d = 30_{-0,06}^{-0,01}$ мм.

030. Обкатати робочу поверхню штока до шорсткості $R_a = 0,32$ мкм при змащенні маслом на токарно-гвинторізному верстаті 1624М спеціальним кульковим обкатником (частота обертання $n = 200 - 250$ хв⁻¹, поздовжня подача $S_{\text{повзд.}} = 0,25 - 0,3$ мм/об., число проходів $i = 1$, зусилля обкатування $P = 1000 - 1500$ Н, діаметр кульки $d = 20$ мм) до номінального розміру.

035. *Контрольна.* Перевірити розмір поверхні штока (мікрометр МК 25-50).

040. *Контрольна.* Перевірити шорсткість поверхні штока (зразок шорсткості $R_a = 0,32$ мкм).

45. *Контрольна.* Перевірити відхилення від прямолінійності (пристосування для перевірки вигину, індикатор годинного типу ГЧ-10).

При використанні для відновлення штокового ущільнювального вузла фторопластового полімерного покриття після шліфування (операція 025) слід виконувати:

030. *Слюсарна.* Нанести полімерне покриття на поверхню штока й гумове ущільнювальне кільце (знежирити ацетоном або іншими розчинниками, нанести кистю або зануренням у лак ФБФ-74Д, отвердіти покриття на повітрі – при температурі $t = 20 - 24$ °С протягом 20-30 хв., а потім сушити в термошафі при $t = 145 - 150$ °С протягом однієї години).

030. *Пресо́ва.* Отвір під шток передньої кришки відновлювати постановкою втулки, виготовленої з матеріалу, аналогічного матеріалу кришки (чавун марки СЧ2-140).

Після відновлення, деталі штокових ущільнювальних вузлів направляються на складання.

Висновки по розділу.

1. Переважаючим видом зношення деталей є гдіроабразивне зношення, яке характеризується наявністю рисок і каналів, які приводять до збільшення витрат робочої рідини і як правило, до втрати працездатності гідроциліндра.

2. Розміри діаметрів штоків показують, що вони з максимальною достовірністю описуються нормальним законом розподілу фізичної величини. При цьому середня величина зношування зовнішньої поверхні штока Ц90 становить 0,018 мм, Ц100 - 0,014 мм, Ц110 - 0,025 мм.

3. Розподіл діаметрів отворів під шток у передніх кришках гідроциліндрів підчиняється логарифмічно-нормальному закону. При цьому середнє зношування отвору під шток для передніх кришок Ц75 становить 0,15 мм; Ц90 - 0,161 мм; Ц100 - 0,217 мм; Ц110 - 0,252 мм.

4. Високий показник ймовірності технічного стану деталей гідроциліндра марки Ц100, які потребують ремонту - $P_p = 0,92...0,97$, обумовлюється наявністю на робочих поверхнях деталей слідів гдіроабразивного зношення, які видаляються механічними або відновлювальними операціями в процесі ремонту.

5. Низька ремонтна технологічність поршня - $P_{p.m.}^n = 0,59$, пояснюється відносно низьким коефіцієнтом його економічної доцільності відновлення, так як в процесі ремонту гідроциліндра в більшості випадків виготовляють новий поршень збільшеного розміру.

6. Висока ремонтна технологічність корпусу гідроциліндра та його передньої кришки пояснюється трудомісткістю допоміжних операцій, які становлять 16-20 % від трудомісткості основних операцій, та високим показником економічної доцільності відновлення деталей, так як у них в своїй більшості відновлюються тільки внутрішні отвори під поршень і шток.

7. Герметичність штокових ущільнювальних вузлів, відновлених плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і остаточною обробкою поверхнево-пластичним деформуванням або нанесенням полімерного покриття (лак ФБФ-74Д) на поверхню штока й ущільнювальне кільце, не нижче герметичності нових стандартних штокових ущільнювальних вузлів.

8. Розроблена технологія відновлення деталей спряження «шток-отвір кришки», які в першу чергу обумовлюють втрату працездатності гідроциліндра, характеризується не значною тривалістю виробничого циклу і може бути реалізована на спеціалізованих підприємствах.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Охорона праці при дослідженні технічного стану циліндрів

Програмою експериментальних досліджень передбачається проведення розбирально - складальних робіт при фізичному модулюванні зношення деталей гідроциліндрів та проведення випробувальних робіт для виявлення взаємозв'язку між їх структурними параметрами технічного стану та функціональними.

Розглянемо заходи з охорони праці, яких необхідно дотримуватися при проведенні експериментальних робіт.

Розбирально-складальні роботи повинні проводитися на спеціальних робочих місцях, які оснащуються відповідними підставками для розміщення гідроагрегатів.

При їх виконанні необхідно застосовувати інструмент, який вказується в технічних вимогах для проведення даних робіт. Не допускається використовувати несправний інструмент.

При застосуванні механізованого ручного інструменту необхідно перед роботою перевірити його справність, провівши випробування в холосту.

Контроль та випробування гідроциліндрів повинні проводитися в приміщеннях, обладнаних притяжно-витяжною вентиляцією.

Перед випробуванням гідроагрегатів безпосередньо на стенді (КИ-4815М) необхідно переконатись в тому, що всі приводні та з'єднувальні пристрої обертаючих частин надійно загороджені захисними кожухами, а різьбові з'єднання кріплення агрегатів добре затягнуті.

Не допускається скручення або згин гідравлічних шлангів в місцях приєднання до агрегатів, що може привести до розриву або його вириву.

Забороняється виконувати операції з обслуговування або ремонту стенда при його підключенні до електромережі.

Якщо в процесі роботи стенда створюється ситуація з розбрикування робочої рідини, його обладнують захисними екранами.

Мінеральні масла мають отруйні властивості і негативно впливають на людину при вдиханні парів або туману, при потраплянні в середину організму та тривалій дії на шкіру. Особливо шкідливим є попадання на шкіру масла під тиском.

Для захисту шкіри рук від дії нафтопродуктів під час роботи їх змащують спеціальними захисними пастами, які не розчиняються в нафтопродуктах і легко змиваються водою.

5.2 Організація пожежної безпеки у виробничому підрозділі

До основних причин, які обумовлюють виникнення пожежі в лабораторії слід віднести: спалахування від попадання іскри на пальне, яка виникає в результаті ударної взаємодії між деталями; порушення герметичності ємкостей з дизельним паливом та його займання від потрапляння електричної іскри; займання мастильних матеріалів і паливних через несправності електричних приладів (порушення контакту, обрив проводу) та ін.

До заходів, які зменшать ймовірність появи пожежі в виробничому підрозділі слід віднести:

- У всіх гідроциліндрів перед їх розбиранням необхідно злити залишки мастила в спеціально призначену ємкість;
- Видалення абразивних та жирових забруднень проводити з застосуванням синтетичних миючих засобів або негорючих рідин, розчинників та емульсій;
- Застосовувати низьковольтне (12В) електричне управління агрегатом мийної установки;
- Операції багатостадійного очищення деталей проводити на робочих місцях, оснащених місцевою вентиляцією при наявності діючої припливно-витяжної вентиляції;

- Робочі місця, на яких проводяться мийно-очисні дії з застосуванням пожежо небезпечних речовин, повинні мати рифлену підлогу, яка стійка до утворення іскор при ударах;

- Мийна ванна з розчинно-емульгуючим засобом та іншими органічними розчинниками, передбаченими очисними діями, закривається кришкою після завершення очистки.

Також необхідно передбачити зберігання використаних горючих та легкозаймистих мийних речовин в місцях, які виділені для їх утримання в герметичній тарі. При цьому, доступ до них повинен бути тільки з наявності відповідного дозволу.

Обтирочні матеріали, що вже були у використанні, потрібно своєчасно видаляти з операцій технологічного процесу і складати до металевих контейнерів з герметичними кришками. Після закінчення зміни їх транспортують в спеціально виділене приміщення, яке призначене для їх зберігання і не задіяне в технологічному процесі.

5.3 Покращення умов праці в лабораторії

Для зменшення випадків появи травматизму на робочих місцях спеціалізованої лабораторії в першу чергу необхідно розробити заходи, які забезпечать зручність виконання робіт. До них слід віднести установку місцевої примусової вентиляції для робочих місць з обкатки та випробування гідравлічних агрегатів, а також з механізованої їх очистки для видалення шкідливих випаровувань з виробничого підрозділу на зовні.

Передбачити розміщення корпусних та габаритних деталей (шток) на спеціальних стелажах, які запобігають пошкодженню робочих поверхонь деталей, а також їх падінню при зберіганні.

При проведенні випробувальних робіт на експериментальній установці (КІ-4815), обов'язковою умовою являється встановлення додаткового захисного екрану для запобігання потрапляння мастила на дослідника за появи його розбризкування.

Уникати тривалого знаходження в відкритому стані тари для збирання відпрацьованого мастила та розміщувати його в процесі роботи на ділянці в місцях, які не заважають проведенню основних операцій.

Операції з притирання деталей проводити на спеціальних робочих місцях забезпечених плитами для притирання, встановивши на них засоби місцевого освітлення для забезпечення якості притирання деталей.

Виконання емпіричних досліджень передбачає проведення фізичного моделювання технічного стану гідроциліндрів, що потребує частих його розбирань та установок на стенд, які супроводжуються контактом з мастилом, пари якого негативно впливають на здоров'я робітника, виникає необхідність визначити кількісну оцінку потрапляння повітря до приміщення дослідницького підрозділу.

Маємо наступні вихідні дані: кількість стендів для моделювання процесів в гідроциліндрах - 1, площа приміщення - 32 м^2 , об'єм приміщення $V = 96 \text{ м}^3$, гранична кількість шкідливих речовин у повітрі $g_0 = 0,75 \text{ г} / \text{м}^3$. Найбільшим джерелом, що виділяє до приміщення пари мастила з постійною величиною являється (лабораторний стенд з моделювання) $M_c = 123 \text{ мг} / \text{год}$. Тривалість проведення лабораторного дослідження агрегату становить 2 години, величина CO_2 , яка обумовлена диханням людини становить $M_d = 30 \text{ мг} / \text{год}$, нормована концентрація CO_2 не повинна перевищувати дорівнює $1,5 \text{ г} / \text{м}^3$.

Дійсна величина шкідливих речовин визначається за виразом [15]:

$$g_{\phi} = \frac{M \cdot N}{V} + g_0, \quad (5.1)$$

де M – величина шкідливих речовин, $\text{г} / \text{год}$;

N – тривалість операції, год .;

V – робочий об'єм лабораторії, м^3 ;

g_0 – дійсна кількість в повітрі шкідливих речовин, $\text{г} / \text{м}^3$.

$$g_{\phi} = \frac{(0,123 + 2)}{96} + 0,75 = 0,772 \text{ г/м}^3$$

Отримана дійсна концентрація шкідливих речовин за визначений час проведення експериментальних робіт не перевищує гранично допустиме значення - $g_{\phi} = 0,772 \text{ г/м}^3 < g_{\text{доп}} = 1,5 \text{ г/м}^3$, що вказує на ефективну роботу природнього повітрообміну.

Визначаємо необхідний мінімальний повітрообмін.

За умови, якщо використовується вимога з дотримання заданої величини кратності повітряного обміну, а для дослідної лабораторії з елементами випаровування мастила вона повинна відповідати не менше ніж десятикратному обміну повітря на протязі години, значення повітряного обміну буде дорівнювати:

$$Q = 10 \cdot V = 10 \cdot 96 = 960 \text{ м}^3/\text{год}$$

Забезпечення циркуляції повітря в приміщенні лабораторії за даною оцінкою потребує встановлення вентилятора.

Схема циркуляції повітря для приміщення лабораторії де виконується моделювання процесів в гідравлічних циліндрах, показана на рис. 5.1.

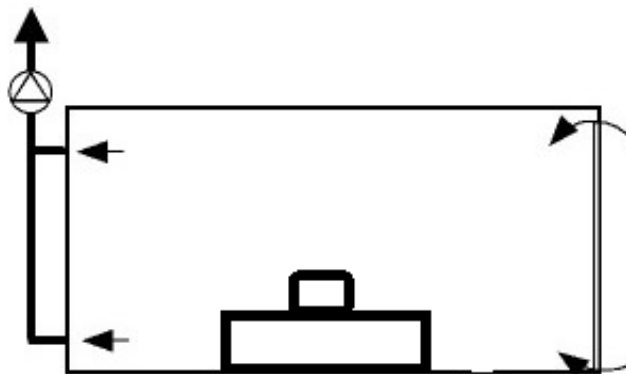


Рис. 5.1 – Циркуляція повітря в приміщенні лабораторії

Свіже повітря поступає через отвори в зовнішній стіні. Забруднене повітря видаляється через вентиляційні отвори внутрішніх вентиляційних каналів будівлі за допомогою вентилятора ВК 250.

5.4 Дії у надзвичайних ситуаціях при ремонті гідравлічних агрегатів

Основні вимоги безпеки при появі надзвичайних ситуацій в процесі проведення ремонтів гідравлічних агрегатів відмічаються в роботі [16].

В відповідності до [16] аварійну ситуацію можуть обумовити наступні дії: падіння агрегатів з підставок, враження електричним струмом, поранення від деталей, що обертаються, опіки кислотою, відліт частинок металу при виконанні пресових операцій, поломка оснастки або механізованого інструменту та ін.

При появі аварії або виникненні ситуації, яка може обумовити аварію, необхідно зразу завершити роботу і відключити механізоване обладнання від електричної мережі, провести огороження небезпечної зони і не допускати працюючих до неї.

Довести до відома адміністрацію про ситуацію, що склалась. При наявності потерпілих, обумовлених аварійною ситуацією, необхідно надати їм першу медичну допомогу, застосовуючи індивідуальний пакет. Якщо ситуація складна тоді треба викликати швидку допомогу.

Висновок по розділу.

1. Проведені розрахунки з витрат припливного повітря для приміщення лабораторії показують, що фактична концентрація шкідливих речовин у повітрі за час дослідження не буде перевищувати граничнодопустиму кількість $g_{\phi} = 0,772 \text{ г} / \text{м}^3 < g_{\text{доп}} = 1,5 \text{ г} / \text{м}^3$, отже в приміщенні можна буде обмежитися природним повітрообміном.

6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведення досліджень обґрунтована номенклатура контролюючих параметрів технічного стану гідроциліндрів гідравлічної системи трактора, запропоновано оптимальні способи відновлення основних деталей циліндра, розроблена технологія ремонту.

Ефективність проведених досліджень виявляється на основі співставлення експлуатаційних затрат на відновлення працездатності циліндрів за існуючим і проектним способами.

Впровадження проектної технології відновлення гідроциліндрів передбачає встановлення додаткового обладнання табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Перелік додаткового обладнання

№ п/п	Назва обладнання	Модель	Кількість	Ціна, грн.
1	Пост плазмовий	ОКС-9129	1	65000
2	Верстат токарно-гвинторізний	1624М	1	35000
3	Верстат круглошліфувальний	ЗБ145	1	45000
4	Гідравлічний прес 40т	ОКС-1671М	1	13000
5	Оснастка технологічна	ОРГ-1264	-	2000
Всього				160000

Економічна ефективність оцінюється за рівнем планового прибутку та рентабельністю виробництва з відновлення гідроциліндра.

Визначення ефективності запропонованої технології починається з розрахунку річної вартості ремонту:

$$B_P = \eta \cdot B_{OP}, \quad (6.1)$$

де η^B, η^P - існуюча і розроблена програми ($\eta^B = 500$ рем., $\eta^P = 1000$ рем.);

B_{OP} - вартість ремонту, грн ($B_{OP} = 800$ грн).

$$V_{\text{ПР}}^B = 500 \cdot 800 = 400000 \text{ грн}$$

$$V_{\text{ПР}}^B = 1000 \cdot 800 = 800000,0 \text{ грн.}$$

Затрати па ремонт (E_B):

$$E_B = Z_{\text{П}} + A + V_{\text{ЕЛ}} + V_{\text{Р.ОБ}} + V_{\text{З.Ч}} + I_B, \quad (6.2)$$

де $Z_{\text{П}}$ - заробітна плата, грн;

A - витрати на амортизацію, грн;

$V_{\text{ЕЛ}}$ - кошторис електроенергії, грн;

$V_{\text{Р.ОБ}}$ - затрати по ремонту обладнання, грн;

$V_{\text{З.Ч}}$ - витрати на запасні частини, грн;

I_B - не передбачені затрати 5% від (E_B), грн.

Заробітна плата робітників:

$$Z_{\text{П}} = Z_{\text{СР}} \cdot N_{\text{Р}} \cdot 12 + Z_{\text{П.Н}}, \quad (6.3)$$

де $Z_{\text{СР}}$ - середня заробітна плата, грн ($Z_{\text{СР}}^B = Z_{\text{СР}}^П = 9000 \text{ грн}$);

$N_{\text{Р}}$ - чисельність робітників, чол. ($N_{\text{Р}}^B = 1 \text{ чол.}$, $N_{\text{Р}}^П = 2 \text{ чол.}$);

$Z_{\text{П.Н}}$ - нарахування на зарплату, грн ($Z_{\text{П.Н}} = 0,22 \cdot (Z_{\text{СР}} \cdot N_{\text{Р}} \cdot 12)$).

$$Z_{\text{СР}}^B = 9000 \cdot 1 \cdot 12 = 108000 \text{ грн,}$$

$$Z_{\text{СР}}^П = 9000 \cdot 2 \cdot 12 = 216000 \text{ грн,}$$

нарахування на зарплату:

$$Z_{\text{П.Н}}^B = 0,22 \cdot 108000 = 23760,0 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{П.Н}}^П = 0,22 \cdot 216000 = 47520,0 \text{ грн}$$

Тоді

$$З_{II}^B = 108000 + 23760 = 131760,0 \text{ грн},$$

$$З_{II}^П = 216000 + 47520 = 263520,0 \text{ грн},$$

Амортизація обладнання:

$$A_{обл} = \frac{C_{Б.ОБ.} \cdot H_A}{100}, \quad (6.4)$$

де $C_{Б.ОБ.}$ - вартість обладнання балансова, грн ($C_{Б.ОБ.}^B = 100000 \text{ грн}$,
 $C_{Б.ОБ.}^П = 160000 \text{ грн}$)

H_A - норма амортизації, % ($H_A = 21,93\%$).

$$A_{Б.ОБ.}^B = \frac{100000 \cdot 21,93}{100} = 21390,0 \text{ грн}$$

$$A_{Б.ОБ.}^П = \frac{160000 \cdot 21,93}{100} = 35088,0 \text{ грн}$$

Витрати електроенергії:

$$B_E = (P_{обл.} \cdot t_{обл.} + P_{осв.} \cdot t_{осв.}) \cdot T_E, \quad (6.5)$$

де $P_{обл.}$ - потужність обладнання, кВт. ($P_{обл.}^B = 16 \text{ кВт}$, $P_{обл.}^П = 20 \text{ кВт}$);

$t_{обл.}$ - річне використання обладнання, год. ($t_{обл.} = 1500 \text{ год.}$);

$P_{осв.}$ - потужність освітлення, кВт. ($P_{осв.}^B = 1,4 \text{ кВт}$, $P_{осв.}^П = 1,6 \text{ кВт}$);

$t_{осв.}$ - річні витрати освітлення, год. ($t_{осв.} = 2010 \text{ год.}$);

T_E - тарифна вартість електроенергії, ($T_E = 2,64 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}$).

$$B_E^B = (16 \cdot 1500 + 1,4 \cdot 2010) \cdot 2,64 = 70789,0 \text{ грн}$$

$$B_E^П = (18 \cdot 1500 + 1,8 \cdot 2010) \cdot 1,96 = 80831,5 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання ($B_{P.OB}$):

$$B_{P.OB} = \frac{A_{обл} \cdot 30}{100}, \quad (6.6)$$

$$B_{P.OB}^B = \frac{21390,0 \cdot 30}{100} = 6417,0 \text{ грн}$$

$$B_{P.OB}^П = \frac{35088,0 \cdot 30}{100} = 10526,0 \text{ грн}$$

Вартість запасних частин:

$$B_{з.ч.} = 0,5 \cdot 3_{П}, \quad (6.7)$$

$$B_{з.ч.}^B = 0,5 \cdot 131760,0 = 65880,0 \text{ грн}$$

$$B_{з.ч.}^П = 0,5 \cdot 263520,0 = 131760,0 \text{ грн}$$

Витрати організаційні (на спецодяг, заходи з пожежної безпеки та ін.) складають 5% від загальних витрат:

$$I_O = 0,05 \cdot (3_{П} + A + B_{ЕЛ} + B_{P.OB} + B_{з.ч.}) \quad (6.8)$$

$$I_O^B = 0,05 \cdot (131760,0 + 21390,0 + 70789,0 + 6417,0 + 65880,0) = 14811,8 \text{ грн}$$

$$I_O^П = 0,05 \cdot (263520,0 + 35088,0 + 80831,5 + 10526 + 131760,0) = 26086,3 \text{ грн}$$

Згідно виразу (6.2)

$$E_B^B = 131760,0 + 21390,0 + 70789,0 + 6417,0 + 65880,0 + 14811,8 = 311047,8 \text{ грн}$$

$$E_B^P = 263520,0 + 35088,0 + 80831,5 + 10526,0 + 131760,0 + 26086,3 = 547811,8 \text{ грн}$$

Собівартість ремонтів:

$$C_P = E_B \cdot 1,02 \quad (6.9)$$

$$C_P^B = 311047,8 \cdot 1,02 = 317268,8 \text{ грн}$$

$$C_P^P = 547811,8 \cdot 1,02 = 558768,0 \text{ грн}$$

Загальний прибуток (Π_{3AG}):

$$\Pi_{3AG} = B_P - C_P, \quad (6.10)$$

$$\Pi_{3AG}^B = 400000,0 - 317268,8 = 82731,2 \text{ грн}$$

$$\Pi_{3AG}^P = 800000,0 - 558768,0 = 241232,0 \text{ грн}$$

Додатковий прибуток (D_{II}):

$$D_{II} = \Pi_{3AG}^P - \Pi_{3AG}^B, \quad (6.11)$$

$$D_{II} = 241232,0 - 82731,2 = 158500,8 \text{ грн}$$

Термін окупності капіталовкладень (T_o):

$$T_o = \frac{C_{Б.ОБ.}}{D_{II}}, \quad (6.12)$$

$$T_o = \frac{160000}{158500,8} \approx 1,0 \text{ року}$$

Показники ефективності проектної технології вказані в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати економічної оцінки

Показники	Варіанти		Відхилення (±)	
	Існуючий	Проектний	Дабс.	Двідн., %
Капіталовкладення, грн.	100000	160000	-	-
Річна кількість ремонтів, шт.	500	1000	+500	100,0
Число робочих, чол.	1	2	+1	100,0
Поточні витрати, грн:				
- заробітна плата	131760,0	263520,0	+131760,0	100,0
- амортизація устаткування	21390,0	35088,0	+13158,0	61,5
- електроенергія	70789,0	80831,5	+10042,5	14,2
- ремонт обладнання	6417,0	10526,0	+4109,0	64,0
- вартість запасних частин	65880,0	131760,0	+65880,0	100,0
- організаційні затрати	14811,8	26083,3	+11271,5	76,0
Загальні експлуатаційні витрати, грн	311047,8	547811,8	+236764,0	76,0
Повна собівартість робіт, грн.	317268,8	568768,0	+251499,2	76,0
Вартість ринкова (ціна) од. грн	800,0	800,0	-	-
Прибуток за рік, грн	82731,2	241232,0	+158500,8	-
Прибуток додатковий, грн	-	158500,8	-	-
Строк окупності затрат, р.	-	1,0	-	-

Реалізація розробленої технології з ремонту гідроциліндрів дає можливість збільшити виробничу програму, а також забезпечити додатковий прибуток в розмірі 158500,8 грн з терміном окупності капітальних вкладень на протязі одного року.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. За результатами аналітичних досліджень найкращу герметичність ущільнювального вузла зі збільшенням напрацювання показує обробка штока – «шліфування - полімерне покриття ФБФ-74Д». При напрацюванні $t = 5 \cdot 10^3$ мото-год. витoki робочої рідини становлять $Q = 80 \text{ см}^3$, що на 31,3% менші в порівнянні з проведенням однієї операції - шліфування для даного відрізка напрацювання.

2. Вибір способу відновлення штока з врахуванням розглянутих способів фінішної обробки його поверхні буде обумовлюватись безпосередньо технічним станом штока, а також економічним критерієм впровадження вибраного способу.

3. Відновлення працездатності штокового ущільнювального вузла в процесі ремонту можливе застосуванням механічної обробки поверхні штока під ремонтний розмір або до номінального розміру, застосовуючи ефективні способи нарощування зношеної поверхні з послідуною механічною обробкою фінішними операціями для забезпечення оптимальних параметрів шорсткості поверхні.

4. Експлуатаційна довговічність штокового ущільнювального вузла обумовлюється затримкою процесу старіння і зменшенням швидкості зношування гумових ущільнювальних кілець шляхом нанесення фторопластових покриттів на їхню поверхню.

5. Аналіз результатів експертної оцінки способів відновлення і фінішної обробки деталей штокового ущільнювального вузла з врахуванням реальних можливостей сервісних підприємств, показав, що для подальшого дослідження актуальними будуть способи відновлення поверхні штока: на ремонтний розмір - хромування, на номінальний розмір - плазмове наплавлення.

6. Переважаючим видом зношення деталей є гдіроабразивне зношення, яке характеризується наявністю рисок і каналів, які приводять до збільшення витрат робочої рідини і як правило, до втрати працездатності гідроциліндра.

7. Розміри діаметрів штоків показують, що вони з максимальною достовірністю описуються нормальним законом розподілу фізичної величини. При цьому середня величина зношування зовнішньої поверхні штока Ц90 становить 0,018 мм, Ц100 - 0,014 мм, Ц110 - 0,025 мм.

8. Розподіл діаметрів отворів під шток у передніх кришках гідроциліндрів підчиняється логарифмічно-нормальному закону. При цьому середнє зношування отвору під шток для передніх кришок Ц75 становить 0,15 мм; Ц90 - 0,161 мм; Ц100 - 0,217 мм; Ц110 - 0,252 мм.

9. Високий показник ймовірності технічного стану деталей гідроциліндра марки Ц100, які потребують ремонту - $P_p = 0,92...0,97$, обумовлюється наявністю на робочих поверхнях деталей слідів гідроабразивного зношення, які видаляються механічними або відновлювальними операціями в процесі ремонту.

10. Низька ремонтна технологічність поршня - $P_{p.m.}^n = 0,59$, пояснюється відносно низьким коефіцієнтом його економічної доцільності відновлення, так як в процесі ремонту гідроциліндра в більшості випадків виготовляють новий поршень збільшеного розміру.

11. Висока ремонтна технологічність корпусу гідроциліндра та його передньої кришки пояснюється трудомісткістю допоміжних операцій, які становлять 16-20 % від трудомісткості основних операцій, та високим показником економічної доцільності відновлення деталей, так як у них в своїй більшості відновлюються тільки внутрішні отвори під поршень і шток.

12. Герметичність штокових ущільнювальних вузлів, відновлених плазмовим наплавленням з наступним шліфуванням і остаточною обробкою поверхнево-пластичним деформуванням або нанесенням полімерного покриття (лак ФБФ-74Д) на поверхню штока й ущільнювальне кільце, не нижче герметичності нових стандартних штокових ущільнювальних вузлів.

13. Розроблена технологія відновлення деталей спряження «шток-отвір кришки», які в першу чергу обумовлюють втрату працездатності гідроциліндра, характеризується не значною тривалістю виробничого циклу і може бути реалізована на спеціалізованих підприємствах.

14. Проведені розрахунки з витрат припливного повітря для приміщення лабораторії показують, що фактична концентрація шкідливих речовин у повітрі за час дослідження не буде перевищувати граничнодопустиму кількість $g_{\phi} = 0,772 \text{ г/м}^3 < g_{\text{з\text{дк}}} = 1,5 \text{ г/м}^3$, отже в приміщенні можна буде обмежитися природним повітрообміном.

15. Реалізація розробленої технології з ремонту гідроциліндрів дає можливість збільшити виробничу програму, а також забезпечити додатковий прибуток в розмірі 158500,8 грн. з терміном окупності капітальних вкладень на протязі одного року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гідроциліндри, їх призначення, конструктивні особливості та класифікація.-Режим доступу- http://zapchasty.tradicia-k.ru/articles/?art_id=168
2. Ісаєнко В. Ю. Підвищення експлуатаційної надійності гідравлічних насосів модифікації НШ-К застосуванням епіламних покриттів робочих поверхонь деталей / В. Ю Ісаєнко, П. Т. Мельянцов // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej " Inżynieria i technologia. Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2016" - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2016. - S 22-28.
3. Тупчій І. В. Обґрунтування ефективних способів забезпечення герметичності та підвищення зносостійкості ущільнювального вузла гідравлічних циліндрів / І. В. Тупчій, П. Т. Мельянцов // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej " Inżynieria i technologia. Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2016" - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2016. – S 29-35.
4. Причины выхода из строя гидроцилиндров. – Режим доступу - <http://www.donvard.ru/industry/prichiny-vykhoda-iz-stroya-gidrotsilindrov/>
5. Дідур В. А. Діагностика та забезпечення надійності гідроприводів сільськогосподарських машин [Текст] / В. А. Дідур, В. Я. Єфремов. - К.: Техніка, 1986. – 128 с.
6. ДСТУ 18929-81 Кільця різьбові з повним профілем для трубного циліндричного різьблення діаметром від 1/16 "до 3 3/4". Конструкція та основні розміри – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 69 с.
7. Абрамов Є. І. Елементи гідроприводу: Довідник [Текст] / Є. І. Абрамов, К. А. Колесніченка, В. Т. Маслов. - Київ: Техніка, 1977. – 320 с.
8. Цехмістрова Г.С. Основи наукових досліджень: навч. Посібник. — Київ: Видавничий Дім «Слово», 2003. – 240 с.

9. Марцин В. С. Основи наукових досліджень: навч. посібник / В.С. Марцин, Н. Г. Міценко, О. А. Даниленко та ін. – Львів: Ромус-Поліграф, 2002. – 128 с.
10. Романчиков В. І. Основи наукових досліджень: навч. посібник. — Київ: Видавництво «Центр учбової літератури», 2007. — 254 с.
11. Ремонт машин. Підручник / За ред. О. І. Сідашенка, А. Я. Поліського – Х.: Міськдрук, 2010. – 744 с.
12. Дирда В. І. Технологія ремонту машин [підручник] / В. І Дирда., А. С. Кобець, П. Т. Мельянцов та ін. // - Дніпро: Журфонд, 2017. – 160 с.
13. Основи надійності технічних і технологічних систем в сільськогосподарському машинобудуванні : навч. посіб. / Ю. В. Армашов, А. С. Кобець, П. Т. Мельянцов ; за ред. проф. А. С. Кобця. – Дніпро: Видавець Біла К. О., 2022. – 632 с.
14. Соколов С. А. Оцінка ремонтної технологічності деталей шестеренного насоса модифікації НШ-К гідравлічної системи трактора / С. А. Соколов, П.Т. Мельянцов // Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej " Technics and technology. "- London Wydawca: «Diamond trading tour», 2020. – S 42-51.
15. Методичні вказівки для практичних робіт з дисципліни «Охорона праці в галузі» для магістрів спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання / Укладач: Г. Г. Капленко, Січко І. М. – Дніпро: ДДАЕУ, 2017. – 44 с.
16. ДНАОП 01.41-1.01-01. Правила охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання сільськогосподарського виробництва. – К.: Держстандарт, 2001. – 119 с.

ДОДАТКИ