

**«Удосконалення технології відновлення гідророзподільників методом  
електроіскрової обробки»**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

***01.12-КМР 463 «С» 2023.03.28.003 ПЗ***

**Іваненко Олексій Олександрович**

Форма № Н-9.02

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**  
**Формування та дизайн**  
 Факультет  
 УДК 681.533.-027.45

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завдувач кафедри  
 надійності техніки  
 (назва кафедри)  
 доц. Новицький А.В.  
 (підпис) (ПБ)  
 “ ” 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на «Удосконалення технології відновлення гідророзподільників методом електроіскрової обробки»  
 Спеціальність 133 - «Галузеве машинобудування»  
 (код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

Магістерська програма «Технічний сервіс машини та обладнання

сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Новицький А.В.

(ПБ)

Керівники магістерської роботи

К.Т.Н., доцен

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Новицький А.В.

(ПБ керівника)

Ст.викладач

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Бистрий О.М.

(ПБ керівника)

Виконав

(підпис)

Іваненко О.О.

(ПБ студента)

КИЇВ – 2023

Форма № Н-9.01

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

к.т.н., доцент

Повицький А.В.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

“ ”

20

року

## ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТА

Іваненко Олексій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Спеціалізація

(назва)

Магістерська програма «Технічний сервіс машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Удосконалення технології відновлення  
гідророзподільників методом електроіскрової обробки»

затверджена наказом ректора НУБіПГУ від «28» 03 2023 р. №463 «С»

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру 11.11.2023 р.

(рік, місяць, число)

1 стан питання, мета та завдання дослідження. 1.1 Аналіз причин відмов і  
порушень працездатності гідравлічних розподільників із плоскими  
золотниками. 1.2 Способи відновлення і зміцнення знощених поверхонь  
гідравлічних розподільників із плоскими золотниками. 1.3 Особливості  
електроіскрового оброблення металевих поверхонь [62... 70].

2 теоретичні передумови до експериментальних досліджень. 2.1

Статистичне моделювання процесу витoku рідини в плоских золотникових  
з'єднаннях.3 методичні засади експериментальних досліджень. 3.1 Програма  
досліджень. 3.2 Методика мікрометражних досліджень і обробки  
експериментальних даних

4 результати експериментальних досліджень. 4.1 Результати аналізу дефектів і мікрометражних досліджень з'єднань "золотник - зливні секції"

5 розробка технологічного процесу ремонту гідророзподільників із плоскими золотниками та оцінка його економічної ефективності. 5.1

Рекомендації щодо поліпшення ремонту гідравлічного розподільника з плоскими золотниками. 5.2 Розробка технологічного процесу ремонту

гідророзподільників із плоскими золотниками. 5.3 Техніко-економічна ефективність від впровадження технологічного процесу ремонту

гідророзподільників із плоскими золотниками. Висновки

Дата видачі завдання «22» жовтня 2022 р.

Керівники магістерської роботи

( підпис )

Новицький А.В.

( прізвище та ініціали )

Бистрий О.М.

( прізвище та ініціали )

Завдання прийняв до виконання

( підпис )

Іваненко О.О.

( прізвище та ініціали студента )

# НУБІП України

Зміст

ВСТУП..... 6

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ..... 9

1.1 Аналіз причин відмов і порушень працездатності гідравлічних розподільників із плоскими золотниками..... 9

1.2 Способи відновлення і зміцнення зношених поверхонь гідравлічних розподільників із плоскими золотниками..... 19

1.3 Особливості електроіскрового оброблення металевих поверхонь [62... 70]..... 31

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... 39

2.1 Статистичне моделювання процесу витоку рідини в плоских золотникових з'єднаннях..... 39

3. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... 48

3.1 Програма досліджень..... 48

3.2 Методика мікрометражних досліджень і обробки експериментальних даних..... 49

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... 56

4.1 Результати аналізу дефектів і мікрометражних досліджень з'єднань "золотник - зливні секції"..... 56

5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ІЗ ПЛОСКИМИ ЗОЛОТНИКАМИ ТА ОЦІНКА ЙОГО ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ..... 68

5.1 Рекомендації щодо поліпшення ремонту гідравлічного розподільника з плоскими золотниками..... 68

5.2 Розробка технологічного процесу ремонту гідророзподільників із плоскими золотниками..... 71

5.3 Техніко-економічна ефективність від упровадження технологічного процесу ремонту гідророзподільників із плоскими золотниками..... 77

ВИСНОВОК..... 80

Список літератури та інтернет джерела..... 83

# НУБІП України

# НУБІП України

## ВСТУП

Нині невідомою частиною роботи по економії коштів являється максимальне залучення до народного господарського обороту вторинних матеріальних ресурсів. Відомо, що більшість деталей гідравлічних систем сучасних машин і механізмів вибраковуються при дуже малому зносі.

При цьому значна кількість елементів і поверхонь деталей взагалі не зношується, що дозволяє ефективно використати вибракувані агрегати для відновлення їх працездатності.

Проте, індивідуальне або дрібносерійне ремонтне виробництво яке має місце нині в умовах машинно технологічних станцій (МТС) і ремонтно-технічних підприємств (РТП) породжує значні труднощі, пов'язані з неможливістю забезпечити традиційними методами високу якість і надійність відремонтованої техніки, оскільки ремонт вузлів і відновлення деталей на спеціалізованих ремонтних підприємствах практично не робиться, а РТП і МТС не мають в достатньому об'ємі спеціалізованого устаткування для відновлення деталей і подальшою їх механічної обробки.

При малих програмах відновлення деталей неможливо реалізувати раніше широко вживані прийоми селективного підбору високоточних з'єднань.

У зв'язку з цим вихід з ситуації, що створилася, бачиться в переході від повнокомплектного знеособленого ремонту до незнеособленого, який дозволяє більш повно використати залишковий ресурс машин і забезпечити зниження або істотне зменшення приробіткового зносу за рахунок індивідуальної підгонки однієї відновленої деталі до іншої.

Особлива увага має бути звернена на екологічно безпечні і ресурсозберігаючі технологічні процеси, які здатні підвищувати ресурс відновлюваних деталей за рахунок зміни властивостей робітників фізико-механічних.

Аналіз проблеми визначив мету дослідження - розробка і впровадження нової технології відновлення і зміцнення деталей гідравлічних розподільників з плоскими золотниками на основі електроіскрової обробки, підвищення довговічності відновлених, що забезпечує деталей не менше чим в 1,5 разу.

**Об'єкт дослідження** - зношені і відновлені деталі гідророзподільників Р12 П гідросистем тракторів, автомобілів, сільськогосподарських і інших машин. **Методика досліджень.** В якості основних методики застосовувалися: методика системних досліджень (системний підхід і системний аналіз) логіка наукових досліджень і методика математичного моделювання.

В результаті розроблені приватні методики лабораторних досліджень з використанням активного планування експерименту, регресійного аналізу і виробничих випробувань. Необхідні розрахунки виконані з використанням ЕОМ.

#### **Наукова новизна роботи:**

- визначено параметри розподілу зносу деталей з'єднання "плоский золотник - зливні секції"; - отримано статистичну модель зв'язку між витоком рідини та технологічним зазором і зазорами за зонами, що утворюються внаслідок локальних зносів по робочих поверхнях деталей вузла тертя "плоский

золотник - зливні секції"; - обґрунтовано можливість підвищення задиростійкості та поліпшення триботехнічних властивостей пар тертя, на робочі поверхні яких нанесено покриття електроіскровою обробкою;

обґрунтовано параметри шорсткості та маслоємності покриттів утворених електроіскровою обробкою; - визначено триботехнічні характеристики з'єднань

"плоский 8 золотник - зливні секції", робочі поверхні яких утворені електроіскровою обробкою; - визначено триботехнічні характеристики з'єднань електроіскровою обробкою; розроблено математичну модель кінетики зміни

товщини шару, утвореного під час нанесення бронзи БрАЖМц 10-3-1-5 на загартовану шару сталь 40Х залежно від часу обробки, енергетичних режимів установки та характеристик вібратора;

- уперше розроблено технологію відновлення зношених деталей

гідророзподільників типу Р12 П.

**Практична значущість роботи** полягає в розробленні та впровадженні в ремонтну практику технології ремонту гідророзподільників відновленням і зміцненням зношених деталей з'єднання "плоский золотник - зливні секції" електроіскровою обробкою.

**На захист виноситься:**

- статистична модель зв'язку між витокком рідини та технологічним зазором і зазорами по зонах, що утворюються внаслідок локальних зносів по робочих поверхнях деталей вузла тертя "плоский золотник - зливні секції";

зливні секції";

- результати теоретичних та експериментальних досліджень підвищення ресурсу плоских золотникових пар, утворених електроіскровим обробкою;

- математична модель товщини шару, утвореного під час нанесення бронзи/БРАЖМц 10-3-1,5 на загартовану сталь 40Х залежно від часу, що 9 ні обробки, енергетичних режимів установки та характеристик вібратора;

- результати експлуатаційних випробувань, впровадження та технікоєкономічної оцінки розробленої технології.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Аналіз причин відмов і порушень працездатності гідравлічних розподільників із плоскими золотниками

Сучасні трактори, комбайни, автомобілі, сільськогосподарські машини оснащуються значною кількістю гідролікованих вузлів та агрегатів. Від їхнього технічного стану багато в чому залежать надійність і експлуатаційні показники техніки.

Гідравлічний привід тракторів, автомобілів і меліоративних машин базується на таких основних елементах: баку, насосі, гідророзподільнику та силовому циліндрі. У реальних системах можуть мати місце кілька силових циліндрів і багатосекційний розподільник.

Робочі органи гідророзподільників можуть бути виконані у вигляді циліндричних або торцевих золотників, конусних пробок поворотного руху і клапанів (кулькових або тарілчастих).

Останніми роками набули широкого застосування, у зв'язку з високою надійністю порівняно з іншими, гідророзподільники з торцевими золотниками.

За конфігурацією торцеві золотники поділяються на плоскі і сферичні, за використовуваними матеріалами - на бронзові та сталеві. Основні моделі гідравлічних розподільників із плоскими золотниками що застосовуються в сільськогосподарській техніці, наведено в табл. 1.1.

У сільськогосподарській техніці гідророзподільники представлені у табл.

1.1 застосовують зазвичай у гідравлічних системах грейферних і фронтальних навантажувачів та екскаваторах, які встановлюють на базі тракторів МТЗ-80, 82; ЮМЗ-6Л; ЛТЗ-55, 60; Т-25 и самохідного шасі Т-16.

Крім того, торцеві золотники встановлюються на аксіально-поршневих, радіально-поршневих гідромашинах, пластинчастих насосах і гідро моторах застосовуваних у гідростатичній трансмісії комбайнів «ДОН», КСК-100 і в системах гідравлічного посилення керма автомобілів ЗИЛ, КамАЗ.

Таблиця 1.1

## Технічні характеристики гідророзподільників з плоскими золотниками

Марка	Умовний прохід, мм	Робоче тиск, МПа	Витрата робочої рідини, л/хв	Кількість секцій	управління
РП12П Р12П	12	100...250	40...60	01...11	Ручне
РР12 Р12ПР	12	100...250	40...60	01...11	гідравлічне
Р12ЕР111	12	100...250	40...60	01...11	Електро-гідравлічне
РС12П	12	100...250	40...60	01...10	електричне
Р20П	20	100...250	60...150	01...10	Ручне
ЕРР16ПР	16	100...200	90	01...8	Електро-гідравлічне
РСМ 12-16	12	100...200	50...60	02...8	Ручне

У роботі [1], що дає огляд діяльності американських і англійських фірм, серед різних типів електрогідравлічних підсилювачів потужності згадуються підсилювачі з плоскими золотниками

згадуються підсилювачі з плоскими золотниками фірм "Kievt Hydrolic" і "Vickers Division of Sperry Rand Limited".

Для виготовлення золотників застосовують високосортні конструкційні матеріали. Це леговані сталі з твердістю за НКС е 56...63 [2,

3. Найчастіше для цього використовують хромисті сталі аустенітного або мартенситного класу, рідше бронзові сплави. З хромистої сталі 15Х, 20Х, 40Х, 45Х, 111Х15, 95Х18, хромонікелевої 12ХН3А, хромонікелевольфрамової 18ХНВА, хромоалюмінієвої 38ХМЮА, з бронзових сплавів БрОСН, з сірого чавуну СЧ 18 ... 21, рідше - зі сплавів кольорових металів [4].

Плоскі золотники вимагають чистоти обробки робочої поверхні 8-12 класу і плоско паралельності в межах 1-10 мкм із допуском в 1-2 мкм [5, 6]. У наявних конструкціях плоских гідророзподільників зазор між золотником і

зливної секцією становить 6-40 мкм [5, 6]. Висота мікронерівностей золотника  $Ka=0,02-0,63$  мкм [5, 6].

У структуру позначення Р12П-1-1П-1У-У - VI, найбільш широко застосовуваних гідророзподільників із плоскими золотниками, наприклад Р12 П - М - 29.1 - 08 - 03 - 30 У, входять [7]: Р - розподільник; 12 - умовний прохід, мм - округлений до найближчого значення зі встановленого ряду (ГОСТ 16516-80) [8] - діаметр кола, площа якого дорівнює площі характерного прохідного перерізу каналу гідралічного пристрою або площі прохідного перерізу приєднувального трубопроводу; П - плоский золотник; I - тип різьблення отворів, що приєднуються; II - тип напірної секції з вбудованим запобіжним клапаном; III - кількість робочих секцій (1, II); IV - тип робочої секції; V - тип зливної секції; VI - виконання (ХП - холодне; Т - тропічне; У - помірне).

Аналіз принципу роботи гідророзподільника Р12 П дає змогу визначити основні причини, через які відбувається вибракування з'єднань "плоский золотник - зливні секції" (див. рис. 1.1):

1. Якщо золотник 2 зі зносом у зоні 1, 2, 4 або 5 (ни поєднання зон) перебуває в нейтральному положенні (рис. 1.1,а), а будь-який інший золотник у робочому положенні, то масло з нагнітальної магістралі 5 проходячи через канали 6 золотника 2 і канали, що утворилися в результаті зносу, потрапляє в канали 7, 8 зливної секції 1 і гідроциліндр. При цьому відбувається мимовільне увімкнення робочого органу і збільшується навантаження на насос.

### Схема роботи гідророзподільника P12 П

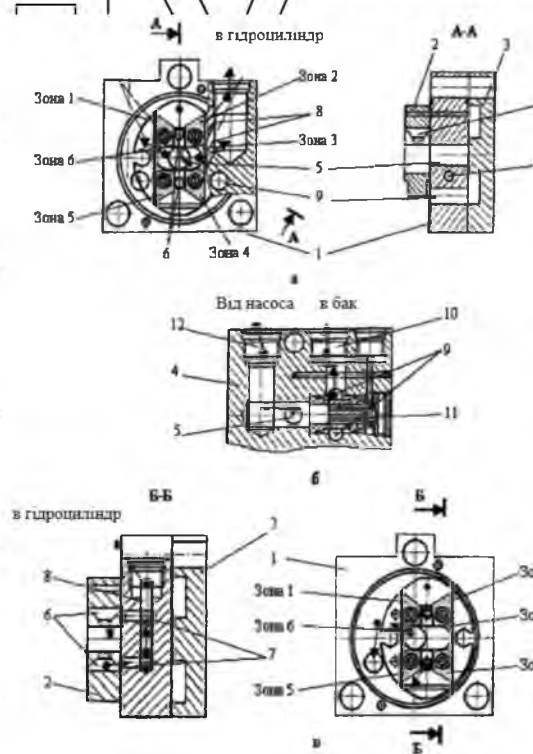


Рис. 1.1

- рух оливи через канали, що утворилися внаслідок зносу;  
 - рух основного потоку;  
 1 - зливна секція; 2 - золотник; 3 - опорна секція; 4 - напірна секція; 5 - нагнітальна магістраль; 6 - керуючі канали золотника; 7 і 8 - канали зливної секції; 9 - зливні магістралі; 10 - зливна порожнина; 11 - перепускний клапан; 12 - напірна секція.

Якщо у золотника зношена зона 5 або 6 (або поєднання зон), то з нагнітальної магістралі 5 масло потрапляє в бак гідросистеми через утворені канали, зливні магістралі 9 і порожнину 10 (рис. 1.1,б).

В цьому випадку у бак гідросистеми призводить до перевантаження насоса.

2. Якщо золотник 2 зі зносами перебуває в робочому положенні (рис.1.1,в), то знос в будь-якій зоні з'єднує нагнітальну магістраль 5 із баком гідросистеми через канали, що утворилися, зливні магістралі 9 і порожнину 10 (рис. 1.1,б), створюючи тим самим додаткове навантаження на насос.

3. Якщо всі золотники гідророзподільника перебувають у нейтральному положенні (рис. 1.1,а), то перепускний клапан 11 (рис. 1.1,б) відкритий і

нагнітальна порожнина 12 з'єднується зі зливною порожниною 10. Масло, минаючи нагнітальну магістраль 4, прямує в бак гідросистеми.

Аналіз принципу роботи показує, що в процесі експлуатації гідророзподільника вибракуваною ознакою буде мимовільне ввімкнення одного з робочих органів під час роботи іншого.

У золотникових парах четвертого типу, за класифікацією [2], відмови викликаються порушенням стабільності тертя, це локальне схоплювання і мікро захоплення, заклинювання внаслідок нерівномірних температурних:

розширень, облітерація, механічне заклинювання і відмови, пов'язані зі зміною розмірів і геометричних форм деталей унаслідок абразивного, втомного, ерозійно-кавітаційного зносу та корозії.

**Схоплювання поверхонь.** За дослідженнями Лозовського В.Н. [2].

однією з причин заклинювання дотичних поверхонь деталей є схоплювання. Воно зумовлене утворенням металевих зв'язків, міцних з'єднань, сполучених поверхонь на ділянках контакту вільних від оксидних і абсорбованих плівок [9...12]. На думку Костецького Б.І., металеві зв'язки утворюються в тому разі, коли відстань між ділянками поверхонь, що контактують, дорівнює розміру атомних решіток тіл, що труться [12],

Для золотникових пар, що працюють за невисоких температур довкілля і малих швидкостях, найважливішим фактором, що визначає руйнування плівок і виникнення схоплювання поверхонь, що труться, є величина питомого тиску на ділянку фактичного контакту сполучених деталей.

Особливість умов роботи більшості золотникових пар полягає в тому, що деталі через перекіс контактують між собою на ділянках, площа яких незначна порівняно з номінальною поверхнею тертя. Зворотньо-поступальне переміщення золотника відносно зливних секцій має осцилювальний вібраційний характер.

Відбувається це, тому що в процесі роботи золотник перебуває, як правило, під дією врівноважувальних одна одну сил, одна з яких створюється тиском ручки оператора, а інша - дією пружини. Внаслідок наявності ексцентриситету в застосуванні рівнодійних цих сил неминучі перекоси золотника щодо зливних

секцій. Хоча величина зазору у цих парах перебуває в межах кількох мікрометрів, торкання деталей унаслідок перекосу відбувається на велими обмежених ділянках поверхні тертя, що вимірюються кількома квадратними міліметрами [13].

Під час схоплювання неминуче відбувається пластична деформація поверхневих шарів металу і внаслідок цього відбувається їхнє зміцнення. Тому руйнування металевих зв'язків відбувається по менш міцному місцем вузла схоплювання. Процес супроводжується виривами частинок металу з однієї деталі та налипанням їх на поверхню сполученої. Налиплі частинки мають велику твердість і при відносних переміщеннях дряпають поверхню, що створює додатковий опір зміщенню поверхонь. Якщо розміри налиплених частинок за висотою перевищують величину зазору в парі тертя, то при відносному переміщенні деталей ці частинки створюють розклинувальну дію, що супроводжується підвищенням зусиль зсуву [2, 9... 12].

Причиною, що викликає тимчасове зависання золотника, також є мікрозхоплення, тобто утворення металевих зв'язків на мікроскопічних ділянках контакту деталей. Ушкодження, що виникають при цьому мають типовий для схоплювання характер (вириви і перенесення металу), але локалізовані на ділянках поверхні, вимірюваних десятими і сотими частками міліметра [2].

**Зміна розмірів деталей.** Поряд зі схоплюванням іншою можливою причиною підвищення тертя і заклинювання деталей золотникових пар є зміна їхніх розмірів унаслідок нерівномірних температурних розширень або структурних перетворень металу.

Через неоднакове нагрівання золотника і зливних секцій у процесі експлуатації відбувається різне за ступенем температурне розширення металів, і може статися зменшення зазору. Передумовою до цього служить те, що відведення тепла від зливних секцій здійснюється краще, ніж від золотника.

Основним джерелом нагрівання золотникової пари є робоча рідина. Звідси випливає, що найбільш небезпечним періодом для температурного

заклинювання є початковий період роботи гідросистеми. Найчастіше найчастіше цей процес відбувається в зимовий час [2].

**Гідростатичне та облітація.** Гідророзподільники з плоскими золотниками мають порівняно велике тертя і невірноваженість від сил гідростатичного тиску рідини, що значно збільшує зусилля страгування золотника під тиском [14].

Невірноваженість від сил гідростатичного тиску спричиняє гідрозашемлення золотника між зливними секціями. Крім гідравлічного защемлення, існують й інші причини підвищення посилювання страгування

золотника, це облітація зазорів у золотникових парах, що представляє зарощування зазорів поляризованими молекулами робочої рідини і сторонніми частинками, що перебувають у ній; механічне заклинювання золотника в корпусі, що спричиняється потраплянням у зазор між деталями твердих частинок [2, 15, 16].

**Абразивне зношування.** Одним із провідних видів зношування золотникових пар є абразивне. У робочу рідину за одну годину через сапун у бак гідросистеми надходить від 0,3 до 0,35 м<sup>3</sup> повітря, в 1 м<sup>3</sup> якого міститься від 0,06 до 160 г пилу (залежно від умов експлуатації) [3].

Частинки, що входять до складу пилу, зазвичай складаються з кварцового піску (70%) і найдрібніших частинок окису алюмінію (15-17%), окису заліза (3-5%), окису кальцію (2-4%), окису магнію (0,5-1,5%) тощо. Крім зазначених компонентів пилу в них містяться продукти окислення робочої рідини і металів, продукти зносу деталей, а також частинки органічного походження (волокна, частинки гуми тощо) [17]. Мікротвердість найпоширенішого абразиву, яким є окис кремнію, становить 10000-11000 МПа при розмірах від 1 до 30 мкм [17...22].

Механізм гідроабразивного зношування полягає в такому:

найдрібніші частинки сторонніх домішок, які перебувають у робочій рідині, переносяться потоком в область з'єднання "золотник - зливні секції". Частинки, розмір яких менший за зазор, проникають через з'єднання,

викликаючи гідроабразивне зношування пари тертя. Частинки, розміром значно більші за зазор, не проникають у з'єднання і не впливають на зношування золотникової пари. Частинки, близькі за розмірами до величини зазору між корпусом і золотником, потрапляють у зазор і спричиняють підвищений знос поверхонь, що поверхонь, що труться, а в деяких випадках можуть призвести до заклинювання деталей. Залежно від твердості абразивних частинок вони або вриваються в одну з поверхонь, як правило, з меншою твердістю, і продовжують зношувати сполучені деталі, або руйнуються під дією пари тертя, пошкоджуючи обидві деталі, після чого виносяться потоком робочої рідини.

Підвищення зносостійкості золотника в умовах абразивного зношування можна домогтися двома шляхами [23, 24]: підвищенням твердості деталі, що дасть змогу перевести дії абразиву на поверхню в сферу пружних деформацій; підвищенням стійкості поверхні до фрикційної втоми шляхом створення на поверхні захисного шару.

**Утомне зношування.** Встановлено, що в умовах граничного тертя, яке характерне для роботи плоскої золотникової пари, зношування деталей обумовлюється втомними поверхневими процесами [10,25]. За теорією І.В. Крагельського [23], руйнування поверхневих шарів під час тертя відбувається в результаті знакозмінних стискальних і розтягувальних напружень, що виникають перед рухомою поверхнею і за нею, починається втомне викрипування.

**Ерозійно-кавітаційне зношування.** На безвідмовність і довговічність гідравлічних агрегатів в умовах експлуатації впливає характер навантаження і режим роботи. Довговічність багато в чому залежить від фізико-механічних властивостей робочої рідини. Збільшення швидкості вузлів гідроагрегатів призводить до посилення ерозійно-кавітаційних процесів у гідросистемі,

У золотникових парах гідравлічних агрегатів ерозійний вид зносу є найпоширенішим [26]. Найбільше до цього зносу схильні ділянки поверхні деталей поблизу крайок [26, 27], ушкодження, що утворюються при цьому, мають вигляд численних канавок, що плавно убивають за глибиною,



У гідророзподільнику ерозія деталей зумовлюється як дією робочої рідини, так і частинок забруднень, що знаходяться в ній.

**Ерозія** являє собою процес руйнування поверхні деталі в результаті механічного впливу зовнішнього середовища. Частинки рідини і тверді частинки, що володіють під час руху потоку робочої рідини великими кінематичними енергіями, викликають руйнування оксидної плівки металу і сприяють розвитку численних дефектів (дислокації, мікротріщин) у поверхневих шарах тіла. У результаті цих впливів відбувається руйнування поверхні деталі, тобто ерозія [22, 26].

На процес ерозії металу має великий вплив наявність у рідині абразивних частинок. Причому інтенсивність руйнування під час гідроабразивної ерозії прямо пропорційна вмісту абразивних частинок у потоці рідини, і гідроабразивне руйнування протікає в лінійній залежності від часу роботи [26, 28]. Зі збільшенням вмісту абразиву в рідині інтенсивність ерозійного руйнування поверхонь деталей істотно зростає [26].

Явище **кавітації** виникає за різких перепадів тиску рідини. У локальних об'ємах рідини, де відбувається зменшення тиску, утворюються бульбашки, які потім осідають на поверхнях деталей. Подальша зміна тиску призводить до розриву бульбашок, що супроводжується мікроударами по поверхні металу. Тиск під час руйнування бульбашок досягає 200-350 МПа. У місцях дії мікроударів утворюються мікрораковини, розвиток яких спричиняє кавітаційне зношування [3, 26, 29]. Через велику швидкість стиснення повітряної бульбашки в ній розвивається висока температура, близько 1000-1500 °С.

Склад і структура металу визначають стійкість до ерозійно-кавітаційного руйнування. Підвищення вмісту вуглецю (С) у сталі збільшує її стійкість. Однак, починаючи з 0,8 % С і вище в сталі, вона починає падати. Тому для підвищення стійкості сталі до ерозії та кавітації в неї вводять нікель і хром. Значно підвищити стійкість до ерозійно-кавітаційного зносу дає змогу наплавлення твердими сплавами [22,29].

**Корозійне зношування.** У процесі експлуатації деталі гідросистем схильні до корозії [2, 3, 30, 31]. Вона виникає через контактивне середовище, яким є робоча рідина з металами, що мають неоднакові електрохімічні потенціали. Продукти корозії мають низьку міцність, тому вони легко руйнуються іншими абразивами. Навіть за наявності високотвердих складових, зношування деталей в умовах корозії йде набагато інтенсивніше, ніж за її відсутності.

Наявність робочої рідини створює умови для електрохімічної корозії.

Відомо, що моторні оливи, як-от М-8Б2 і М-10В2, що використовуються в гідросистемах сільськогосподарських машин, є кислим середовищем, тому корозійні процеси мають електрохімічний характер. Водневий показник рН дорівнює 8,0 одиницям. Кислотне число марки І ГМ дорівнює 0,01-0,03 мг КОР/г [32]. Однак, під час перевезень та експлуатації водневий показник падає до 5,6 одиниць, а кислотне число зростає до 2,98 мг КОР/г. При зміні рівня рН з 8,0 до 7,5 процес корозії чорних металів прискорюється в сім разів [31], а при зміні рН до 6,5 корозійні процеси посилюються в 60 разів [32].

Кислотне число оливи під час експлуатації може досягати значення 112,0 мг КОН/г [33]. За активністю таке масло аналогічне розчину соляної кислоти концентрацією 0,06% [34]. Таким чином, корозійні процеси сильно впливають на довговічність сполучення "золотник - зливні секції".

Виходячи з вищесказаного, підвищити безвідмовність роботи рухомих сполучень гідроагрегатів можна за рахунок:

1) зміни твердості поверхонь складання пари тертя за схемою:

$$H_{\mu_1} < H_{\mu_2}, \text{ а } F_1 < F_2$$

де  $H_{\mu_1} < H_{\mu_2}$  - відповідно, мікротвердості поверхонь золотника і поверхонь, що сполучаються;

$F_1 < F_2$  - відповідно, площі поверхонь тертя золотника і сполучених поверхонь.

Цю схему може бути реалізовано для пари тертя "золотник-зливні секції" шляхом нанесення антифрикційного м'якого покриття на золотник і зміцнення поверхні сполученої секції без нанесення покриття.

2) переведення роботи сполучених поверхонь у режим зовнішнього тертя за рахунок наявності позитивного градієнта механічних властивостей за глибиною.

3) поліпшення несучої здатності поверхні створенням нерегулярної шорсткості на робочих поверхнях деталей з масляними кишнями, що забезпечують високу маслоємність покриттів.

## 1.2 Способи відновлення і зміцнення зношених поверхонь гідравлічних розподільників із плоскими золотниками

Після вивчення основних дефектів і причин відмов плоских золотникових пар необхідно розглянути технології ремонту і методи відновлення та зміцнення деталей з'єднань "плоский золотник - зливні секції", що застосовуються в ремонтному виробництві.

Нині можна виділити дві основні технології відновлення працездатності з'єднань "плоский золотник - зливні секції".

До першої і найпоширенішої технології відновлення працездатності з'єднань належить перешліфовування.

У разі значного зносу в з'єднаннях поверхні зливних секцій шліфують до виведення слідів зносу (рис. 1.2,а). Золотники і робочі секції шліфують заодно до виведення слідів зносу на золотниках (рис. 1.2,б). Конструктивний зазор забезпечується подальшим шліфуванням золотників на задану величину (рис. 1.3,в). Шліфування зливних секцій і золотників здійснюють на плоскошліфувальному верстаті 371 П.

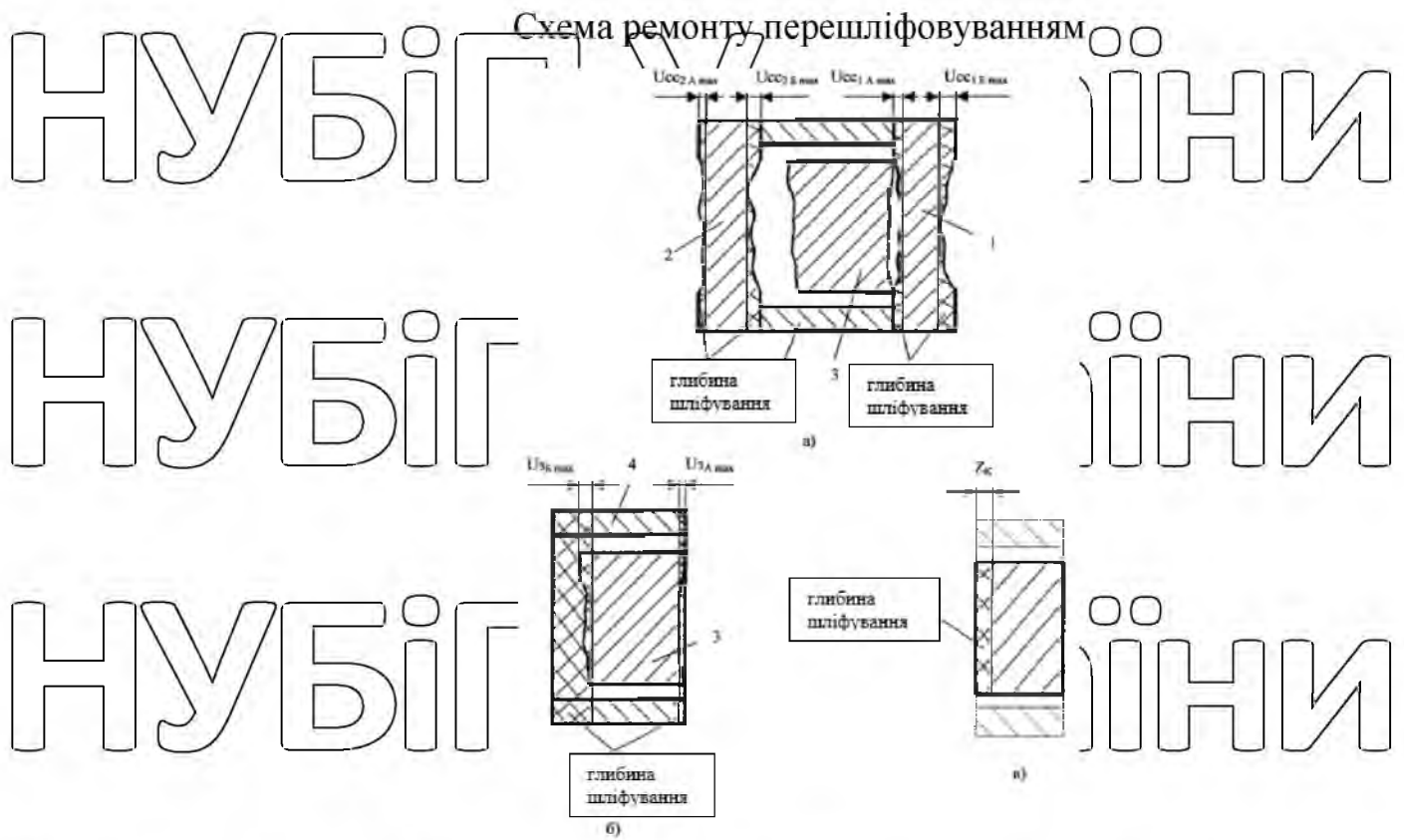


Рис. 1.2.

а - схема шліфування зливних секцій; б - схема шліфування золотників; в - схема утворення технологічного зазору; 1 - 2 - зливні секції; 3 - золотник; 4 - робоча секція;  $U_{сс2} A_{max}$  і  $U_{сс2} B_{max}$ ,  $U_{сс1} A_{max}$  і  $U_{сс1} B_{max}$  відповідно максимальні зноси 1 і 2 зливних секцій на сторонах А і Б;  $U_{с3} A_{max}$  і  $U_{с3} B_{max}$  - відповідно максимальні зноси золотника на сторонах А і Б;  $Z_с$  - технологічний зазор.

До недоліків цього варіанта ремонту слід віднести зменшення канавок під кільця ущільнювачів на зливних секціях і нерівномірне зменшення розвантажувальних канавок на золотниках по боках, що додатково збільшує нерівноваженість золотників.

Другою технологією ремонту відновлення працездатності з'єднань є перекомплектування, при цьому можливі такі варіанти. У разі невеликих зносів у з'єднаннях поверхні зливних секцій шліфують до виведення слідів зносу.

Золотники відновлюють доведенням на притиральній плиті. Поверхні золотників притирають попередньо і остаточно. Попередньо притирають для виведення слідів зношування і виправлення геометричної форми, остаточно - для отримання необхідної шорсткості [35]. Потім золотники і робочі секції

розбиваються на групи. Підбір технологічного зазору забезпечується селективним складанням.

Під час шліфування і притирання робочих поверхонь золотників зливних секцій відхилення від площинності паралельності площин для золотників не повинно перевищувати 2 мкм; для зливних секцій відповідно 2 і 10 мкм

Симетрична конструкція золотників і нерівномірне зношування по поверхнях золотників і зливних секцій у з'єднаннях дають змогу відновлювати працездатність з'єднання перевертанням золотників щодо їхньої вертикальної осі (рис. 1.3).

Недоліками цих варіантів ремонту є: обмежене використання ремфриду, не більш як 35% [36, 37] і зниження ресурсу відновлених з'єднань [3]. Тому виникає необхідність розгляду методів, що дають можливість змінювати фізико-механічні властивості робочих поверхонь, збільшуючи розміри відновлювальних з'єднань поверхонь, збільшувати розміри відновлюваних деталей золотникових пар.

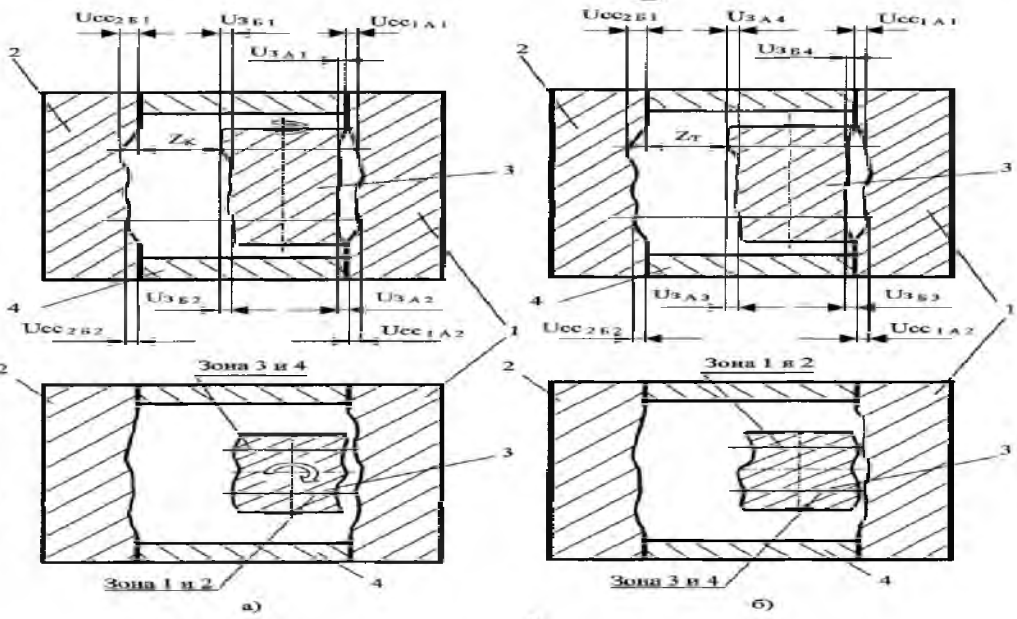


Схема ремонту перевертанням золотників

Рис 1.3.

а - схема початкового розташування золотника; б - схема розташування золотника після перевертання; 1, 2 - зливні секції; 3 - золотник; 4 - робоча секція;  $U_{cc1A1}$  і  $U_{cc1B1}$ ;  $U_{cc2A2}$  і  $U_{cc2B2}$  - відповідно зноси 1 і 2 зливних секцій на сторонах А і Б у зоні І, 2;  $U_{3A1}$  і  $U_{3B1}$ ;  $U_{3A2}$  і  $U_{3B2}$ ;  $U_{3A3}$  і  $U_{3B3}$ ;  $U_{3A4}$  і  $U_{3B4}$  - відповідно, зноси золотника на сторонах А і Б у зонах 1, 2, 3 і 4,  $Z_k$  - технологічний зазор.

Найбільшого поширення в ремонтній практиці серед методів, що дають приріст матеріалу, який компенсує знос і відновлює розміри деталей, набули електрохімічні методи відновлення (хромування і залізнення), лазерне напалвлення, детонаційне та плазмове напилення.

плазмове напилення.

**Електрохімічні методи** займають особливе місце в комплексі технологічних процесів відновлення зношених деталей машин завдяки їхнім високим техніко-економічним показникам, таким як:

відсутність температурного впливу на деталі, який пов'язаний зі структурною зміною; можливість нанесення покриттів необхідної товщини при збереженні якісних параметрів покриття; можливість цілеспрямованої зміни властивостей з переважним розвитком однієї з них (зносостійкості, антифрикційності, корозійної стійкості).

**Хромування.** Для отримання зносостійких покриттів застосовується електролітичне хромування. Твердість хромових покриттів коливається в широких межах від 6000 до 13000 МПа і залежить від складу електроліту і режимів електролізу [38...43]. У процесі хромування використовуються електроліти: сульфатні, тетрахромні, сульфатнокремнефторидні.

Покриття дуже високої твердості (18000 МПа) можна отримати при використанні так званих надсульфатних електролітів [41]. Але сульфатні, так і надсульфатні електроліти вимагають високих температур, близько 60...70 °С, і мають низький вихід за струмом - до 25% [38].

Більш перспективними є холодні електроліти. Найпоширенішими серед них є тетрахромні розчини. Холодні електроліти вирізняються вищою продуктивністю, більшим виходом за струмом. Процес у них іде за температур

17...23 °C. Однак для забезпечення низькотемпературного режиму потрібні потужні холодильники, що є їх істотним недоліком [38].

Втомлювальна міцність хромованої сталі знижується до 30%. Причому зниження у різних марок сталей відбувається по-різному, але особливо значне це зниження у конструкційних сталей підвищеної міцності. Величина зниження коливається в межах 210...550 МПа. За наявності на деталях будь-яких концентраторів напруження втомної міцності після хромування може бути ще більшим [41].

За товщини шару хрому понад 0,3 мм зчеплення хрому з основним металом деталі значно гірше, ніж під час нанесення тонших шарів. Процес хромування протікає повільно: за одну годину відкладається шар товщиною 0,015-0,17 мм. Шар хрому, внаслідок його високої твердості, механічно важко обробляти. До всього цього необхідно додати ще і те, що хромування як метод відновлення зношених поверхонь є порівняно дорогим через більшу витрату електроенергії, часу та дефіцитність електроліту [44].

**Залізнєння.** Широкого поширення при відновленні золотників набуло гальванічне залізнєння [38, 39, 43, 45]. Воно відрізняється більшою швидкістю осадження покриття (0,72... 1 мкм/с), можливістю одержання покриттів до 5 мм, нетоксичністю процесу і високим виходом по току 80...95% [38, 39, 43, 45]. Для залізнєння використовують сульфатні, хлоридні, борафтористоводневі та змішані електроліти.

Осадження проводять як у гарячих, так і холодних електролітах.

Найбільш широкого поширення набули хлористі електроліти. Для підвищення твердості покриття до 5000...6000 МПа використовують спеціальні добавки (аскорбінову кислоту, хлорид калію тощо).

Процес залізнєння, незважаючи на зазначені вище позитивні сторони, має суттєві недоліки. Це багатостадійність процесу, необхідність ретельної підготовки підкладки перед залізнєнням, утворення дендритів на краях золотника, низька корозійна стійкість, найголовніше – невисока твердість

покриття 5000...6000 МПа. Зчеплення металу з нанесеним шаром значно нижче, ніж при хромуванні.

**Лазерне наплавлення.** Застосування лазера дає змогу отримати покриття з високою твердістю й абразивною стійкістю, високою міцністю зчеплення .

Для утворення покриттів, що компенсують знос, перед лазерною обробкою на поверхні деталей наноситься наплавленований матеріал, який може бути у вигляді порошків, стрічки, дроту тощо.

Промінь лазера, проходячи підготовленою поверхнею, розплавляє присадний матеріал і утворює шар заданого складу із заданими властивостями.

З метою зменшення термічного впливу зазвичай вибирають як присадний матеріал сплави на основі нікелю, оскільки вони мають температуру плавлення за величиною нижчу, ніж у сталі 15Х, до того ж нікелеві сплави вирізняються високою стійкістю до зношування, корозії та міцністю. Однак вони порівняно дорогі [47].

При лазерному наплавленні товщина покриттів, що забезпечує хорошу якість становить 0,1... 1,0 мм. Твердість покриттів 8000-12000 МПа. Наплавленований шар має високий ступінь однорідності [48].

До числа дефектів у наплавленому шарі відносять наявність тріщин. У поверхневому шарі утворюються розтягувальні напруги невеликої величини 100-800 МПа [48, 49]. Процес лазерного зміцнення і відновлення потребує великих витрат електроенергії [50].

**Детонаційне напилення** дає змогу отримати покриття з вищою міцністю зчеплення, ніж інші види металізації.

Міцність зчеплення плазмової металізації 10-30 МПа, в той час як при детонаційному напиленні 50-160 МПа [46...48, 50]. При цьому досягається більша щільність і більша однорідність нанесеного шару, що забезпечує високу твердість відновленої поверхні.

Але через складність обладнання та необхідність використання висококваліфікованих фахівців цей метод не знайшов широкого застосування.



**Плазмові покриття** мають високу стійкість до зношування. Зносостійкість покриттів зростає в 4-9 разів [48]. Плазмовим напиленням можна відновлювати практично будь-які деталі з будь-яких матеріалів, зокрема складної форми з одночасним зміцненням. Невеликий термічний вплив унеможливорює викривлення, відносно невисока пористість покриттів робить цей метод перспективним для відновлення золотників.

Недоліками методу є лущення і відшаровування покриттів через низьку адгезію покриттів з основою, великі втрати напилюваного матеріалу при відновленні деталей малих розмірів.

Також можна виокремити напрямок, який включає в себе методи зміцнення поверхневих шарів деталей. Наразі розроблено і застосовуються такі методи зміцнення поверхневих шарів деталей.

#### **Поверхнево-пластичне деформування. ППД (накочування,**

ударна обробка) широко застосовуються для підвищення ударної міцності, мікротвердості та зниження шорсткості.

ППД являє собою процес обробки матеріалів тиском, при якому пластично деформується тільки поверхневий шар деталі. Матеріал при цьому не руйнується. При незначних змінах розмірів і форми деформованих тіл ППД

дає змогу істотно видозмінити структуру і текстуру матеріалу з відповідним нерівномірним пружно-пластичним розорієнтуванням деформованого шару.

Способи ППД дають змогу в 1,5-2 рази підвищити мікротвердість і втомну міцність, підвищують чистоту поверхні від Rz 40 до Ra 0,63 мкм і створюють залишкову напругу стиснення до 400-700 МПа [39, 45, 51, 52].

Порівняно з поліруванням, способами ППД досягається мікрорельєф із замкнутими заглибленнями. В умовах обмеженого змащування у замкнутих заглибленнях зберігається мастило, що підвищує ефективність таких рельєфів.

Але способи ППД мають низьку недоліків. Зі збільшенням контактної тиску зростає ступінь пластичної деформації і, отже, залишкова напруга в поверхневому шарі, але їх зростання обмежене межею плинності зміцненого матеріалу. Більші залишкові напруги стиснення викликають лущення і відшар-

овування в зміцненому шарі. При великих контактних тисках залишкова напруга в зміцненому шарі утворюється зі зрушенням максимуму напружень з поверхні в підшарову область. Тоді тріщина зароджується в підшаровій зоні і виходить на поверхню [51,53]. Під час повторного оброблення деталей ППД спостерігається повне або часткове зниження зносостійкості та втомної міцності. Це пов'язано з тим, що процес формування залишкових напружень пов'язаний не тільки з інтенсивністю деформації, а й з її орієнтацією [51].

Якщо зміцнювати незагартовані сталі, то приріст твердості дворазовий, а загартованих - 10-50 %. Структура металу загартованих сталей після обробки ППД являє собою безладне нагромадження безформних пластин мартенситу [53].

За наявності підвищених експлуатаційних температур у деформаційно-зміцненому матеріалі відбуваються структурні зміни, вивільнення внутрішньої енергії. При цьому активуються дифузні процеси, які спричиняють у тонкому поверхневому шарі окислення металу та збіднення легуючими елементами, що призводить до знеміцнення матеріалу [51].

**Хіміко-термічне поверхнєве зміцнення.** Одним із найпоширеніших способів поверхневого зміцнення поширених способів поверхневого зміцнення є хіміко-термічна обробка (ХТО).

ХТО включає три послідовні стадії: утворення активних атомів у насичувальному середовищі поблизу поверхні або на поверхні металу; абсорбцію активних атомів, що утворилися, поверхнею насичення; дифузію - переміщення абсорбованих атомів у решітки оброблюваного металу.

На практиці широко застосовуються такі види ХТО: цементація, азотування, нітроцементація, ціанування, дифузійне хромування, дифузійне хромування і алітування.

**Цементацію** проводять для підвищення зносостійкості, ерозійної стійкості та межі витривалості сталевих деталей. Розрізняють цементацію твердим, рідким і газовим карбюратором.

Сумарна концентрація вуглецю на поверхні цементованого шару сталі, що цементується, може досягати 1,5-2,0 % і більше. Оптимальний вміст вуглецю в поверхневій зоні цементованого шару більшості сталей 0,8-0,9%, за такої його кількості сталь має високу зносостійкість [76]. Максимальний опір контактної втоми досягається підвищенням кількості вуглецю в поверхневому шарі до 1,1-1,2%. Але за такого вмісту вуглецю виникає схильність до утворення шліфувальних тріщин, що частіше поширюються по цементитній сітці [54]. Контактна втомна міцність або втомне викривлення зростає із вмістом вуглецю в поверхневій зоні шару малолегованих сталей, до 1,5% [54].

У структурі цементованого шару після термічної обробки зберігається велика кількість (до 50-60% і більше) залишкового аустеніту, що знижує твердість. Глибина цементованого шару перебуває в межах 0,5-2,0 мм.

Цементация з подальшою термічною обробкою підвищує межу витривалості сталевих виробів унаслідок утворення в поверхневому шарі залишкових напружень стиснення (до 400-500 МПа) і різко знижує чутливість до концентраторів напружень [54, 55, 56].

Недолік цементации з подальшою термічною обробкою полягає в складності технологічного процесу, підвищеному викривленні деталей, можливості окислення і зневуглецювання, тривалості процесу (2-20 годин).

Азотування проводять для підвищення твердості поверхневого шару деталей, зносостійкості та теплостійкості, а також корозійної стійкості.

Процес азотування може тривати від 3 до 90 год, а подальше повільне охолодження печі з деталями 4-5 год. Глибина азотованого шару залежить від температури і часу витримки і коливається від 0,01-0,08 мм. Твердість азотованого шару сталі (до Н V 1150) вища, ніж цементованого (до Н V 600).

Зносостійкість азотованої сталі в 1,5-2 рази вища за зносостійкість загартованих високовуглецевих, цементованих, а також ціанірованих і нітроцементованих сталей [54, 58]. В азотованому шарі виникають залишкові напруження стиснення, величина яких на поверхні становить 600-800 МПа. Це підвищує межу витривалості на 30-40% завдяки чому осередок втомного

руйнування переноситься під азотований шар [56, 57]. Азотування підвищує опір задирам і налипанню металу під навантаженням (особливо за високих температур), а також опір сталі кавітаційній ерозії [54, 56...58].

Недоліком є тривалість процесу і його складність. Азотовані деталі мало придатні в умовах високих питомих навантажень через невелику товщину азотованого шару. Крім того, ціаністі соди мають високу вартість і токсичність.

Для підвищення твердості та зносостійкості застосовують **нітроцементацию**. Дифузне насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем і азотом у процесі нітроцементації відбувається за температури

840-860 °С. Газове середовище складається з вуглецевого газу 2-100 і аміаку 90-98%. Тривалість процесу 4-10 годин. Після нітроцементації слідує загартування безпосередньо в печі. Потім проводять відпуск при 160-180 °С.

Твердість шару після загартування і низького відпуску HRC 50...63, HV 570-690 (5700...6900 МПа) [39, 40, 54...56, 60]. Високий вміст аустеніту забезпечує хороше припрацьовування. Однак, у нітроцементованому шарі утворюються дефекти, що знижують механічні властивості сталі.

У процесі **ціанування** дифузійне насичення поверхні деталі відбувається одночасно з азотом і вуглецем у розплавлених солях за температури 820-950 °С.

При середньотемпературному ціануванні деталі нагріваються до 820-860 у розплавлених солях, що містять NaCN. Тривалість процесу обумовлена необхідною товщиною шару і становить від 30 до 90 хв. Ціанований шар, одержуваний за 820-860 °С, містить 0,7% С і 0,8-1,2% N.

Загартування виконують безпосередньо з ціаністої ванни. Після загартування слідує низькотемпературний відпуск (180-200 °С). Твердість ціанованого шару після термічної обробки HRC 58-62. Ціанований шар має високу зносостійкість і ефективно підвищує межу витривалості [39, 40, 54...56].

Для отримання більшої товщини 500-2000 мкм застосовується високотемпературне ціанування за 930-950 °С. Час витримки виробу становить 1,5-2 години.

При ціануванні неможливо регулювати концентрацію азоту і вуглецю. Тому в ціанованому шарі утворюється велика кількість залишкового аустеніту.

Стискальні напруження створюються в ціанованому шарі, лише на деякій відстані від поверхні, що призводить до зниження межі витривалості, а отже, і до меншої довговічності та надійності деталей [54].

Також недоліком ціанування є висока вартість, отруйність ціаністих солей і необхідність у зв'язку з цим застосування заходів з охорони праці.

Для зміцнення підкладки та наплавленого шару сталевих деталей застосовують змінюють дифузійне насичення металами, такими як алюміній і хром. У результаті насичення поверхні цими елементами вироби набувають цінних властивостей, до числа яких належать висока жаростійкість, корозійна стійкість, підвищена зносостійкість і твердість.

Методи перенесення дифузійного елемента на насичувану поверхню можуть бути різними. В останні роки насичення металами проводять шляхом випаровування дифузійного елемента у вакуумі. Насичення поверхні сталевих виробів двома і великим числом компонентів (Al і Si, Cr і Si, Ba і Al тощо) дає змогу більшою мірою змінити властивості їхніх поверхонь. Хоча багатокомпонентне насичення сталі отримало обмежене застосування.

У процесі **алітування** поверхні сталевих і чавунних деталей підвищують окислостійкість і опір атмосферній корозії. Структура алітованого шару являє собою розчин алюмінію в  $\alpha$ -залізі. Концентрація алюмінію в поверхневій частині шару становить  $\sim 30\%$ . Твердість алітованого шару на поверхні до НУ 500 (5000 МПа). Незважаючи на це алітований шар має низьку зносостійкість [39,40, 54...58, 61].

Алітована сталь виявляється майже в 3 рази більш стійкою при корозії, ніж оцинкована. За високого вмісту алюмінію алітований шар відрізняється крихкістю. Коли в поверхневій зоні алітованого шару присутнє не більше 20-30% алюмінію, шар має задовільну в'язкість [54].

Поверхні, оброблені способом дифузійного **хромування**, мають підвищену корозійну стійкість і окислостійкість, підвищену твердість і зносостійкість.

Дифузійний шар, отриманий під час хромування, складається з розчину хрому в  $\alpha$ -залізі глибиною 0,05-0,15 мм. Шар, отриманий під час хромування

сталі, що містять вуглець, складається з карбідів хрому. Вміст хрому в карбідному шарі досягає 75-95%, а вуглецю 6-8%. Під шаром карбідів знаходиться перехідний шар з високим вмістом вуглецю (0,8%). Такі шари утворюються під час дифузії вуглецю з внутрішніх шарів до поверхні назустріч хрому. Твердість, отримана дифузійним хромуванням, становить НУ 250-1300 (2500-13000 МПа) [54].

Аналізуючи методи хіміко-термічної обробки, поряд із перевагами можна відзначити їхні сукондественні недоліки: значну деформацію деталей, що вимагає подальшого проведення механічної обробки на значну глибину або виправлення; необхідність застосування легованих сталей; труднощі під час локального зміцнення складних поверхонь деталей та підвищену зношувальну здатність за значної шорсткості зміцненого матеріалу. Шорсткості зміцненого шару.

**Лазерна термообробка** є одним із перспективних способів обробки поверхневих шарів концентрованими потоками енергії, що дає змогу змінити фізико-механічні властивості матеріалів унаслідок модифікації структури їхніх поверхневих шарів. Лазерне загартування дає змогу отримати на поверхнях деталей зносостійкі шари з високим опором втоми [49, 50].

Лазерному зміцненню піддаються як низьколеговані, так і високолеговані сталі, а також чавуни.

Твердість у зоні обробки підвищується з 650-800 до 850-1100 НУ, що зумовлено утворенням у структурі більш дрібнозернистого мартенситу і залишкового аустеніту внаслідок швидкого нагріву та охолодження. Глибина зміцненої зони досягає 0,2 мм. Шорсткість поверхні після обробки не змінюється. Зносостійкість поверхні збільшується у 2-4 рази, залежно від матеріалу [49].

Межа витривалості після лазерної обробки підвищується на 70-80%.

Однак, на сталях з великим вмістом вуглецю (понад 0,33%) відбувається падіння межі витривалості, яке може досягати 10% [50]. Це пов'язано з тим, що зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі збільшується вміст залишкового

аустеніту після загартування, що призводить до зменшення стискаючих напружень.

Недоліками лазерної обробки є: складність і дорожнеча лазерних установок; вимога робітників високої кваліфікації; малий к.к.д. перетворення; малий к.к.д. перетворення вихідної потужності джерела в теплову енергію, що виділяється на поверхні виробу (7-10%); оплавлення відсічних крайок

У зв'язку з недоліками розглянутих вище методів необхідний метод, що забезпечує локальність обробки, відсутність нагрівання деталей, можливість нанесення необхідних зносостійких покриттів з високою міцністю зчеплення з основою, що забезпечує низьку енергоємність і простоту здійснення технологічних операцій. Таким методом є електроіскрова обробка.

### 1.3 Особливості електроіскрового оброблення металевих поверхонь [62...

Перспективним методом відновлення деталей з малими зносами є метод електроіскрової обробки (ЕІО). Цей метод електроіскрової обробки (ЕІО). Цей метод був розроблений у 1943 році Б.Р. і М.І. Лазаренками стосовно зміцнення і легування деталей, різального інструменту і штампів [68, 71, 72].

Слід зазначити, що у науково-технічних працівників і виробничників склалася хибна думка, що ЕІВ належить до малопродуктивних методів відновлення. Досвід, наявний у ВНДІТУВІД "Ремдеталь" та Інституті механіки та енергетики, показує, що ЕІО не поступається за продуктивністю електродугу. поступається за продуктивністю електродуговим, газотермічним та іншим методам, а найчастіше їх перевершує.

Електроіскрова обробка дає змогу:

- проводити локальну обробку поверхні деталі на відкритому повітрі;
- відмовитися від використання флюсів або захисних газів;
- різко знизити теплову напруженість деталі під час обробки;

- забезпечити мінімальні втрати електродного матеріалу на розбризкування;  
 - забезпечити високу міцність зчеплення покриття з основою з утворенням металевого зв'язку;

- відмовитися від попередньої підготовки та обробки відновлюваної поверхні до наплавлення;  
 - забезпечити екологічну чистоту навколишнього середовища;  
 - створити малогабаритне, транспортабельне обладнання;

- використовувати для живлення установок побутову освітлювальну мережу;  
 - у десятки разів збільшити номенклатуру відновлюваних деталей із малими зносами, практично без ускладнення технологічної та конструкторської підготовки технічної документації.

Недоліки ЕІО:

- невеликі товщини покриттів;  
 - підвищена шорсткість;  
 - можливість нанесення покриттів тільки зі струмопровідних матеріалів  
 Можливість різкого розширення номенклатури відновлюваних деталей дає змогу, за інших рівних умов, вийти на зовсім інший рівень якості ремонту машин.

Процес електроіскрової обробки металів заснований на використанні дії електричного імпульсного розряду, що проходить між електродами, в результаті протікання якого спостерігається спрямований викид матеріалу (переважно анода) [62, 68, 70].

Різновиди електроіскрового оброблення робочих поверхонь деталей можна розділити умовно на три: наплавлення, легування та змінення [73].

Основою наплавлювальної обробки зношених поверхонь деталей є нанесення покриттів товщиною, що перевищує величину зносу, і



властивостями, близькими або поліпшеними щодо матеріалу деталі, що забезпечує надання їх зношеним елементам втрачених розмірів [73].

Основою легуючої обробки робочих поверхонь деталей машин, приладів і апаратів, електричних контактів є цілеспрямована зміна рельєфу поверхні, що найбільш повно відповідає умовам контакту деталей, фізичних і механічних властивостей приповерхневих шарів матеріалів з тим, щоб підвищити ефективність шарів матеріалів для того, щоб підвищити припрацьовуваність, задиристійкість, зносостійкість, жаростійкість, корозійну стійкість, теплостійкість, електричний опір тощо різних з'єднань [62, 74].

Основою зміцнювальної обробки робочих поверхонь деталей, штампового оснащення та ріжучих крайок інструментів є загартування і створення поверхневих шарів із поліпшеними експлуатаційними властивостями. Крім того, зміцнювальній обробці піддаються робочі поверхні деталей, що зазнали високотемпературного відпустки, на яких у процесі експлуатації з'явилися втомні ушкодження або сліди задирання [73].

В умовах виробництва наплавлення, легування та зміцнення можуть відбуватися як єдиний технологічний процес і як самостійні, залежно від поставленого завдання.

Для здійснення будь-якої технології головну і вирішальну роль відіграє технічне оснащення, за допомогою якого виконуються технологічні операції. Відновлення і зміцнення робочих поверхонь деталей ЕІО проводять, в основному, з використанням двох типів генераторів імпульсного струму: резисторно-ємнісного (КС) і тиристорно-транзисторного (ТТ).

ГТ - джерело струму складається (рис. 1.4) із зарядного Іі розрядного ланцюгів ІІ, ланцюга керування віброзбудником 2, що забезпечує електроду зворотно-поступальний рух до деталі-електрода 6, ланцюга керування зарядом накопичувальних конденсаторів (С1, С3, С4) 3, і ланцюга керування зарядним тиристором 1, транзисторного ключа 4, який забезпечує ввімкнення схеми блоків 7, 2, і 5.

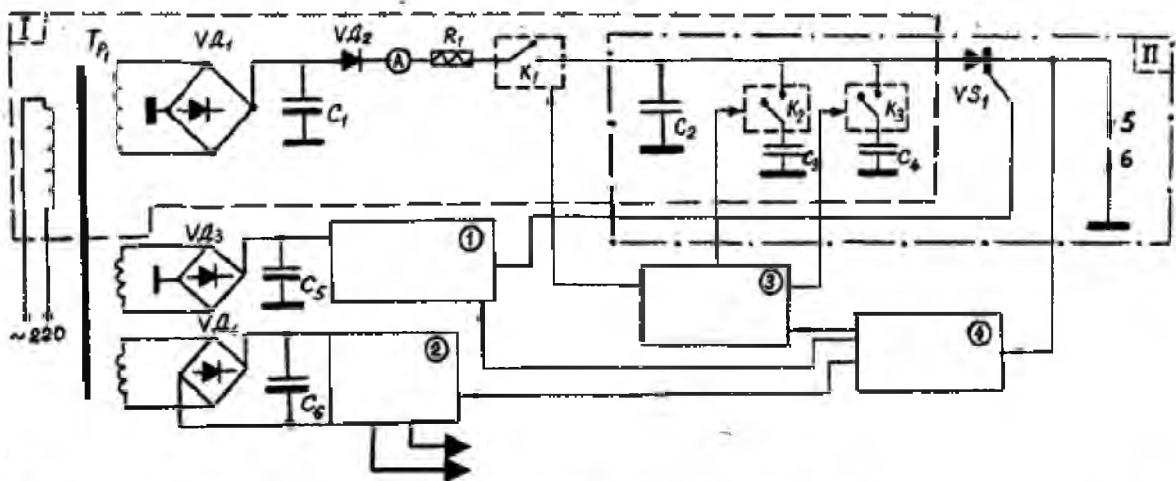


Рис 1.4.

I - схема заряду; II - схема розряду

КС - джерело струму складається (рис. 1.5) із зарядного ланцюга /, що включає трансформатор  $Tr1$ , дросель  $D$ , приєднаний послідовно до первинної обмотки трансформатора, випрямляча на діодах  $VD1$ ; і розрядного ланцюга Д, що включає батарею накопичувальних конденсаторів  $C$  розрядного резистора  $R$ , віброзбудника 7, що забезпечує зворотно-поступальний рух електроду 2 до деталі 3.

Під час увімкнення КС - генератора напруга із вторинної обмотки трансформатора подається через випрямляч на батарею накопичувальних конденсаторів. У момент торкання віброуючого електрода верпган шорсткостей деталі відбувається розряд батареї накопичувальних конденсаторів і виділення енергії в контактну зону. Після розряду конденсатора відбувається відхід електрода від деталі завдяки роботі віброзбудника.

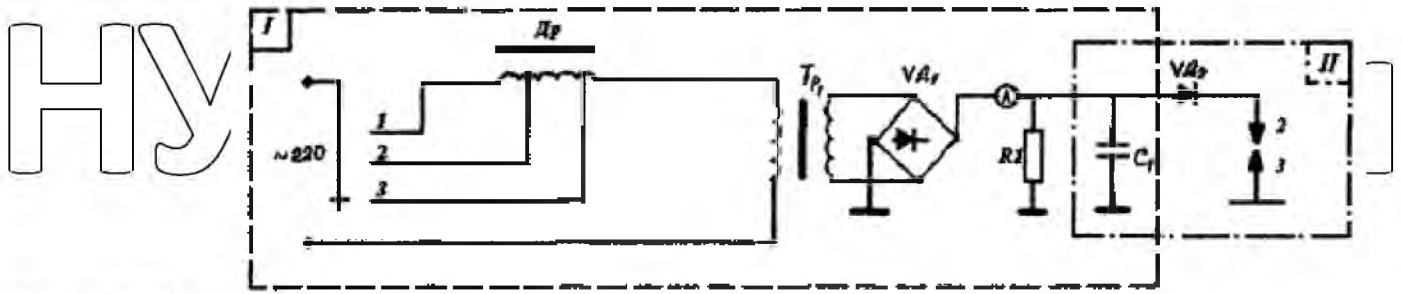
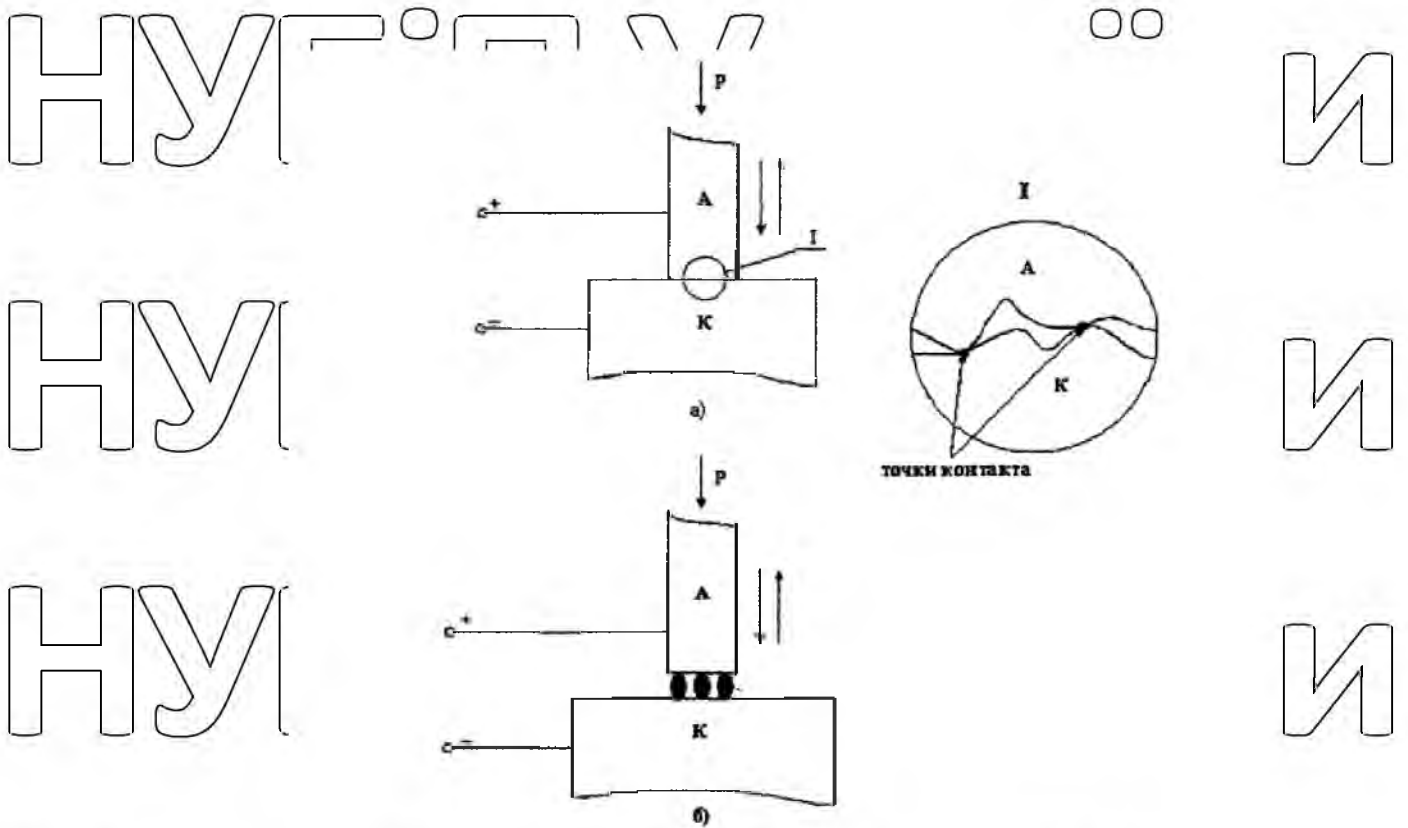


Рис. 1.5.

Під час увімкнення ТТ-генератора торкання електрода деталі відбувається відкриття зарядного ланцюга, зарядка накопичувальних батарей конденсаторів за рахунок енергії, що віддається буферним накопичувальним конденсатором більшої ємності  $C1$  ( $C1 \gg C2 + C3 + C4$ ), а потім відкриття розрядного тиристора  $VS1$  та імпульсне скидання накопиченої енергії. Стже, за період короткого замикання електрода з деталлю початок протікання струмів у ТТ-генераторів відбувається зі зрушенням у часі, що дорівнює часу зарядки конденсаторних батарей.

За однакової тривалості імпульсів і однієї й тієї ж частоти та амплітуди коливання вібратора, руйнування і перенесення матеріалу під час використання КС-генератора відбувається за більший час, ніж під час використання ТТ-генератора.

На рис. 1.6 представлена узагальнена модель процесу ЕІО. Під час проходження між електродом і деталлю одиночного електричного імпульсу на поверхні катода утворюється лунка з краями, децю піднятими над початковою поверхнею металу. Це результат деформації металу, що розплавився в місці прикладання розряду і дії електродинамічних сил, що виникли в мікроканні.



Узагальнена модель процесу ЕЮ

Рис 1.6.

а - момент контакту електродів, якому відповідає схоплювання; б - момент відскоку електрода від поверхні деталі; А - момент відскоку електрода від поверхні деталі; А - анод (електрод); К - катод (деталь); Р - навантаження

Під час продовження процесу нанесення покриття, з кожним наступним імпульсом лунка поглиблюватиметься. Вихлюпуватися з лунки металу буде дедалі важче і він почне перегріватися й окислюватися. У результаті утворюється лунка збільшеного розміру, порожнина якої, і особливо краї, складатимуться з окисленого зіпсованого металу. Однак під час переміщення анода вздовж оброблюваної поверхні сумарним результатом багаторазового впливу імпульсів є нанесення покриття, збільшення товщини і маси оброблюваного зразка. Якщо швидкість переміщення буде такою, що до моменту наступного імпульсу електрод встигне зміститися на діаметр лунки, то

поверхня катода, після одноразового проходу анод, буде мати профіль у вигляді зубчастої лінії, гребінцями якої є краї лунки, що етикуються.

У разі зміщення точки докладання наступного імпульсу щодо попереднього на величину, меншу за діаметр лунки, лунки, що утворюються, перекриватимуть одна одну. Таким чином, відбувається згладжування зубчастого профілю.

Швидкість переміщення анода щодо катода має бути такою, щоб електрод встиг за  $\sim 0,01$  с (проміжок між двома імпульсами) переміститися не більше ніж на  $1/4$  діаметра лунки. У цьому випадку відбувається необхідне

переміщення розплавлених і розмякшених зон матеріалу електрода і деталі, їх взаємне проникнення одна в одну, а також зменшення шорсткості поверхні.

Під час електроіскрової обробки процес нанесення покриттів може відбуватися або в режимі пробою міжелектродного простору, або при короткому замиканні поверхонь електрода і відновлюваної деталі.

Нині моделі процесу електроіскрового наплавлення, яка дала б змогу описати явища, що відбуваються за час одного циклу обробки, не існує [70]. Найповніше модель процесу викладено в роботах основоположників цього методу [68, 71, 72].

Сутність моделі нанесення покриттів у режимі пробою полягає в тому, що при зближенні електродів напруженість електричного поля збільшується. За деякої відстані між електродами вона буде достатньою для виникнення іскрового електричного розряду.

Через канал наскрізної провідності, що виникає, пучок електронів фокусовано вдаряється об тверду металеву поверхню анода. Енергія руху зупинених електронів виділяється в поверхневих шарах анода. У зв'язку з тим, що в цей момент система швидко звільняє накопичену енергію, щільність струму значно перевершує критичні значення. У результаті цього від анода

відділяється крапля розплавленого металу, яка рухається до катода. Крапля розплавленого металу, що летить нагрівається до високої температури, закидає і ніби вибухає. Ланцюг струму переривається, зусилля електромагнітного поля,

що стискають, зникають, і тому утворені частинки летять широким фронтом.

Оскільки перегріта

крапля і частинки перебувають у зіткненні з повітряним середовищем, то за складом і властивостями вони можуть відрізнитися від вихідного матеріалу

анода. Розплавлені частинки, досягнувши катода, зварюються з ним і частково

впроваджуються в його поверхню. Оскільки слідом за частинками рухається

електрод, то через розпечені частинки, розташовані на катоді, проходить

другий імпульс струму, що супроводжується механічним ударом рухомої маси

анода, що рухається.

Розплавлені частинки зварюються між собою, відбувається прогрівання

тонкого шару поверхні катода. Механічний удар по розпеченій масі проковує

отримане покриття, чим значно збільшує його однорідність і щільність. Далі

анод рухається вгору, а на поверхні катода залишається міцно з'єднаний з ним

шар матеріалу анода. Усі ці процеси протікають у відрізок часу, що становить

частки секунди. При цьому не відбувається розігрівання всієї маси катода, тим

більше відпалу його поверхні.

При нанесенні покриттів у режимі короткого замикання має місце так

зване місткове перенесення матеріалу. Під час контакту поверхонь електрода і

деталі починається розряд накопичувальних батарей установки, в зоні контакту

виділяється велика кількість тепла. За густини струму в контактній ділянці, що

перевищує певне критичне значення, в результаті дії тепла за законом Джоуля-

Ленца виникає вибухоподібне випаровування контактних майданчиків. Після

вибуху контактних областей і утворення зазору між електродом і деталлю, в

короткий проміжок часу, що залежить від швидкості комутації електричного

кола, потужності розряду і теплофізичних властивостей речовини, починає

діяти поверхневе джерело тепла. Оскільки дійсний контакт поверхонь

електрода і деталі відбувається лише на окремих виступах мікронерівностей

(так званих плямах контакту), то через одну або кілька плям проходить весь

струм. Метал у цій зоні розплавляється, і під час початку видалення електрода з

поверхні деталі в цих зонах виникають так звані розплавлені металеві

містки. Розміри містків можуть досягати 2 мм. Встановлено, що стійкість містка залежить від багатьох факторів, зокрема від механічних, теплофізичних характеристик

матеріалу. Перенесення матеріалу в розплавленому містку (місткове перенесення) багаторазово досліджувалося. Згідно з дослідженнями [68, 70],

воно є наслідком зміщення найбільш нагрітої точки, зазвичай у напрямку анода. Тобто перенесення матеріалу спрямоване в бік тієї поверхні, яка розташована далі від найбільш нагрітої точки, зазвичай у бік катода.

Нині численними, переважно вітчизняними, вченими виконано величезний обсяг експериментальних досліджень вченими, виконано величезний обсяг експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення закономірностей ерозії електродів при електроіскровому легуванні та формуванню при цьому зміцненого шару [62...72],

Основний внесок у розв'язання цієї проблеми внесли Б.Р. і Н.І. Лазаренко [68, 71, 72], Г.В. Самсонов [70, 75], А.Д. Верховуров [62, 76], І.І. Сафронов [74], Л.С. Палатник [77], Б.М. Золотых [63...67] та інші. Проте, шукані закономірності в повному обсязі не розкрито. У зв'язку з цим зусиллями Л.С.

Палатника, К. Альбінські, Ф.Х. Бурумкулова та інших до теперішнього часу розроблено наближені критерії ерозійної здатності (стійкості) електродів, які використовуються при вирішенні технологічних завдань, стосовно ЕО деталей, зокрема і зношен

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Статистичне моделювання процесу витоків рідини в плоских золотникових з'єднаннях

Як відомо [89], теоретичні значення об'ємних витоків рідини через різні зазори пропорційні величині зазору в третьому ступені. Якщо зон витоків безліч, а текстура поверхонь різноманітна, то розрахункове визначення витоків

практично ускладнене. Для дослідження таких систем ГОСТом 27.301-95 рекомендується застосовувати методи статистичного моделювання.

У цьому науковому завданні, щоб передбачити, як впливає на перебіг витoku рідини зміна зазорів, внаслідок зносу робочих поверхонь, проведено обробку експериментальних даних за допомогою поліномів, параметри яких визначено методом найменших квадратів.

На першому етапі дослідження було встановлено механізм впливу вихідного зазору з'єднання "плоский золотник - зливні секції" за нульового, локального зносу біля отвору нагнітання рідини.

Під технологічним зазором розуміється зазор, що дорівнює (див. рис. 3.5):  

$$Z_{\text{тyл}} = H_{\text{pC}} - (H_{3_{ij}} + H_{3_{ijA}} + H_{3_{ijB}})$$
 де  $H_{\text{pC}}$  - значення товщини 1-ї робочої секції, мм,  $H_{3_{ij}}$  - значення товщини 1-го золотника в j-й зоні, мм,  $H_{3_{ijA}}$ ,  $H_{3_{ijB}}$  - умовні зноси 1-го золотника в j-й зоні відповідно на стороні А і Б, мм.

За технічною документацією на гідророзподільник конструктивний зазор (за 99,73% довірчого інтервалу) з'єднання "плоский золотник - зливні секції" становить 9,0 - 13,0 мкм (середнє значення 11,0 мкм). За даними мікрометражних досліджень (додаток 1) 64 золотникових пар нових і 160 пар гідророзподільників, що були в експлуатації встановлено, що технологічний зазор (99,73% довірчого інтервалу) у нових становить 8,9 - 37,8 мкм (середнє значення 25,39 мкм), а у зношених 9-45 мкм (середнє значення 26,89 мкм).

Статистична оцінка за 1 - критерієм показала, що зазори в золотникових парах до і після експлуатації, за рівня значущості  $\alpha = 0,05$ , статистично значуще не відрізняються, отже, по площині тертя практично не відбувається зношування.

На рис. 2.1 наведено динаміку зміни витoku рідини залежно від зазору в парі тертя "плоский золотник - зливна секція", за умови, що зношування поверхонь за зонами практично дорівнює нулю.

**Витік рідини в новому з'єднанні  
плоский золотник - зливна секція**



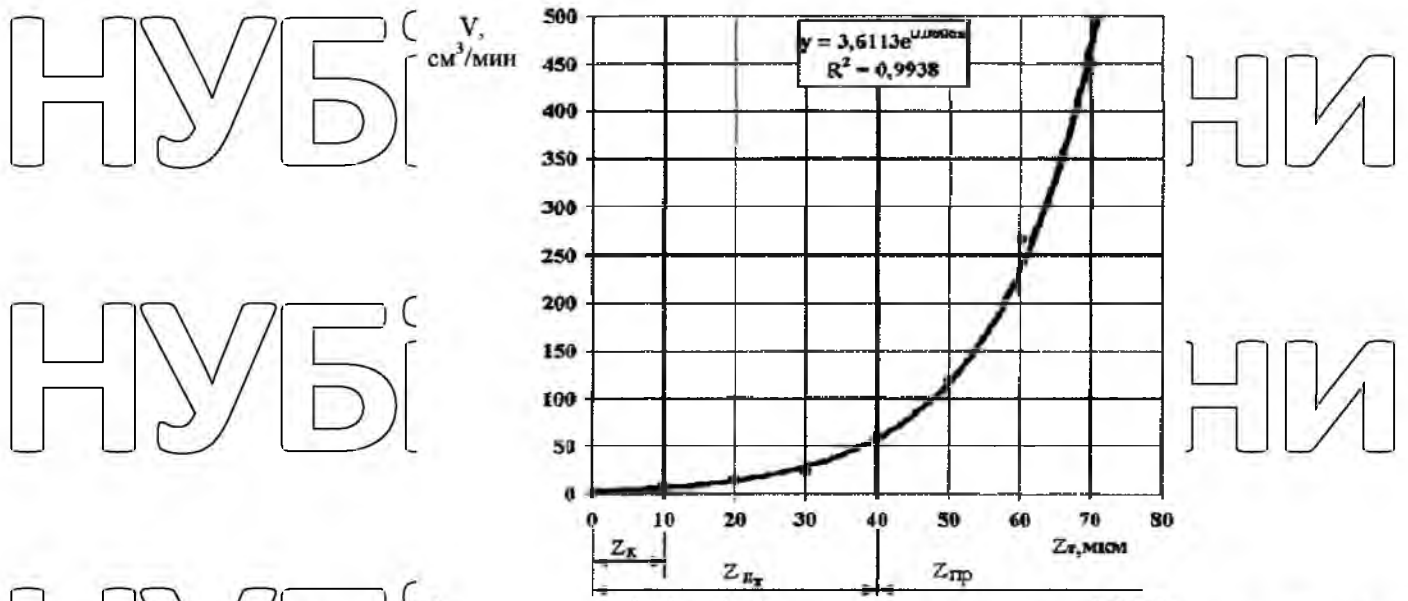


Рис. 2.1.

$Z_k \sim 9-13$  мкм – конструктивний зазор,  $Z_{дт} < 40$  мкм ( $V < 60$  см³/хв) – допустимий технологічний зазор,  $Z_{гр} > 40$  мкм ( $V > 60$  см³/хв) – граничний зазор, за якого з'єднання вибраковують.

Як випливає з графіка вплив технологічного зазору на витік рідини істотний і з його зростанням витік рідини збільшується за експонентою, що на перший погляд суперечить експлуатаційним даним. Але це протиріччя удавані,

тому що з перших годин експлуатації гідророзподільників починаються інтенсивні локальні зноси навколо отвору, по якому перетікає рідина, і їхній вплив на витік рідини починає переважати.

Під час прискорених стендових випробувань практично важко відтворити умови, за яких можна було б достовірно оцінити вплив зональних зносів на витік рідини. Тому прогноз витoku рідини в

плоских золотникових з'єднаннях проведено на основі бази даних стендових випробувань і мікрометражних вимірів і розрахунків зносу нових і гідророзподільників, що надійшли на капітальний ремонт (див. додатки 1,

2). Мета прогнозу полягала у виявленні параметрів зношених

робочих поверхонь, що підлягають відновленню металонакриттями і ремонтом.

Статистичне опрацювання експериментальних даних було проведено

з використанням методів дисперсійного, кореляційного та лінійного множинного регресійного аналізу,

Як математичну модель прогнозу витіку рідини обрано

рівняння лінійної множинної регресії в натуральному масштабі типу:

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 \ln Z_1 + b_2 \ln Z_2 + b_3 \ln Z_3 + b_4 \ln Z_4 + b_5 \ln Z_5 + b_6 \ln Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.8)$$

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 \ln Z_1 + b_2 \ln Z_2 + b_3 \ln Z_3 + b_4 \ln Z_4 + b_5 \ln Z_5 + b_6 \ln Z_6 + b_7 \ln Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.9)$$

$$\bar{V} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4 + b_5 Z_5 + b_6 Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad i = 1, \dots, 6, \quad (2.1)$$

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4 + b_5 Z_5 + b_6 Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.2)$$

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4 + b_5 Z_5 + b_6 \ln Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.3)$$

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4 + b_5 \ln Z_5 + b_6 \ln Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.4)$$

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 \ln Z_4 + b_5 \ln Z_5 + b_6 \ln Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.5)$$

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 \ln Z_3 + b_4 \ln Z_4 + b_5 \ln Z_5 + b_6 \ln Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.6)$$

$$\ln \bar{V} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 \ln Z_2 + b_3 \ln Z_3 + b_4 \ln Z_4 + b_5 \ln Z_5 + b_6 \ln Z_6 + b_7 Z_T + \varepsilon_i; \quad (2.7)$$

де  $V$  ( $\ln V$ ) - середній (натуральний логарифм середньої) витік рідини,  $\text{см}^3/\text{хв}$ ;

$b_0$  і  $b_i$  - невідомі параметри, що описують пряму лінію і які слід оцінити за спостереженнями ( $Z_1, Z_T, Z_{i,1,\dots,6}$  і  $N$ , де  $N$  - число спостережень);

$Z_T$  - вихідний, технологічний зазор, мкм;

$Z_i$  - вихідний, технологічний зазор, мкм;

• локальні зноси навколо отворів відведення рідин у злив або нагнітання рідин;  $\varepsilon_i$  - незалежні, неспостережувані випадкові помилки із середнім  $S$

невідомою дисперсією, що не змінюються від досвіду до досвіду, які інтерпретуються як помилки спостереження.

Щодо  $\epsilon_t$  передбачається, що вони не корельовані в різних досвідах і мають нормальний розподіл.

Значення змінних у рівняннях типу (2.1),..., (2.9) мають задовольняти таким умовам.

- середнє значення  $V$  ( $\ln V$ ) лінійно залежить від  $Z_1, \dots, Z_6, Z_T$ ;

- для будь-якого сукупного значень  $Z_1, \dots, Z_6, Z_T$  значення  $V$  ( $\ln V$ ) розподіляються нормально;

- значення ознак  $Z_1, \dots, Z_6, Z_T$  розподіляються нормально;

- відсутність лінійних кореляцій незалежних ознак і присутність сильних кореляцій між залежною ознакою і незалежними ознаками.

Розкид значень залежної ознаки складається з розкиду навколо лінії регресії  $V$  ( $\ln V$ ) у точці  $Z_1, \dots, Z_6, Z_T$  що задається стандартним відхиленням  $S_{v/\Sigma Z}$  та невизначеності положення самої цієї лінії, що задається стандартною помилкою регресії  $S_v$ .

Тоді статистична оцінка розкиду залежної ознаки

$$s_{\bar{v}} = \sqrt{(s'_{v/\Sigma Z})^2 + s_v'^2}, \quad (2.10)$$

де  $s'_{v/\Sigma Z}$  вибіркова оцінка  $S_{v/\Sigma Z}$ ;  $s_v'$  вибіркова оцінка  $S_v$ .

Вибіркова оцінка  $S_{v/\Sigma Z}$ , як розкид значень навколо лінії регресії, визначається як залишкове стандартне відхилення за формулою:

$$s'_{v/\Sigma Z} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [v_i - (\bar{v})]^2}{N - m}}, \quad (2.11)$$

де  $v_i$  - значення рівнянь регресії (2.1 - 2.9) у  $i$ -й точці;

$V$  - значення спостережуваного витoku рідини в  $i$ -й точці;

$t$  - число досліджуваних ознак;

$N$  - обсяг вибірки.

Вибір декількох математичних моделей зумовлений тим, що розподіл параметрів знесу та зазору, як правило, не підпорядковується нормальному закону або близький до нормального. Тому із сукупності моделей буде обрано ту модель, яка дасть більш стійкі оцінки коефіцієнтів регресійного рівняння.

Як критерій вибору математичної моделі прогнозу витoku рідини прийнято коефіцієнт множинної регресії, критерій Фішера, залишкове стандартне відхилення і критерій Дарбіна - Вотсона.

Для зручності оцінки невідомих коефіцієнтів лінії регресії (2.1, ..., 2.9) усі величини та їхню залежність виражено в стандартному масштабі, для чого використано формулу переведення

$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \tag{2.12}$$

де  $X_i$  - поточне значення вибірки;

$\bar{X}$  - середнє значення вибірки;

$S_x$  - дисперсія вибірки.

Рівняння регресії у стандартизованому масштабі має вигляд [90]:

$$\bar{t}_{0, \dots, 7} = \beta_1 t_1 + \beta_2 t_2 + \beta_3 t_3 + \beta_4 t_4 + \beta_5 t_5 + \beta_6 t_6 + \beta_7 t_7, \tag{2.13}$$

де  $t_1, \dots, t_7$  - стандартизовані значення величин  $X_1, \dots, X_7$ ;

$\bar{t}_{0, \dots, 7}$  - середнє значення стандартизованої залежної величини  $t_0$ , що відповідає заданим значенням незалежних величин  $t_1, \dots, t_7$ ;

$\beta_1, \dots, \beta_7$  - стандартизовані коефіцієнти множинної регресії.

Коефіцієнти  $\beta_1, \dots, \beta_7$  визначати методом найменших квадратів із системи лінійних рівнянь:

$$\begin{aligned} R_{01} &= \beta_1 + \beta_1 r_{21} + \beta_3 r_{32} + \beta_4 r_{42} + \beta_5 r_{52} + \beta_6 r_{62} + \beta_7 r_{72}; \\ R_{02} &= \beta_1 r_{12} + \beta_2 + \beta_3 r_{32} + \beta_4 r_{42} + \beta_5 r_{52} + \beta_6 r_{62} + \beta_7 r_{72}; \\ &\dots \dots \dots \tag{2.14} \\ R_{07} &= \beta_1 r_{17} + \beta_2 r_{27} + \beta_3 r_{37} + \beta_4 r_{47} + \beta_5 r_{57} + \beta_6 r_{67} + \beta_7 \end{aligned}$$

де  $r_{01}, r_{21}, r_{31}$  тощо - коефіцієнти кореляції між змінними  $X_1, \dots, X_7$  тощо, які розраховано з використанням ППП STATISTICA-5,  $X_7$  і т. д., які розраховані з використанням ППП STATISTICA-5.0 [91].

Для переходу в рівняння регресії в натуральному масштабі коефіцієнти  $b_0, b_1, \dots, b_7$  розраховують за формулами

$$b_i = \beta_i \frac{S_v}{S_i}, \quad i = 1, \dots, 7 \quad (2.15)$$

$$b_0 = \bar{X}_0 - b_1 \bar{Z}_1 + b_2 \bar{Z}_2 + b_3 \bar{Z}_3 + b_4 \bar{Z}_4 + b_5 \bar{Z}_5 + b_6 \bar{Z}_6 + b_7 \bar{Z}_7,$$

де  $Z_1, \dots, Z_6$  - середні значення локальних зазорів;

$Z_7$  - середнє значення технологічного зазору;

$X_0$  - середнє значення вільного члена.

Коефіцієнт множинної кореляції - тисноту зв'язку ознаки, витоку рідини з незалежними змінними - зазорами  $Z_1, \dots, Z_6, Z_7$  визначається за формулою:

$$R_{0,1,\dots,7} = \sqrt{\beta_1 R_{01} + \beta_2 R_{02} + \beta_2 R_{03} + \beta_3 R_{03} + \beta_4 R_{04} + \beta_5 R_{05} + \beta_6 R_{06} + \beta_7 R_{07}}, \quad (2.16)$$

незмщеною оцінкою, якою є

$$\bar{R} = \sqrt{1 - \left[ (1 - R_{0,1,\dots,7}^2) \left( \frac{N-1}{N-m} \right) \right]} \quad (2.17)$$

Іншим способом оцінки стандартної помилки обчислення незалежного параметра  $V$  - міри індивідуального розсіювання навколо лінії регресії є

$$S_{v/\Sigma z} = S_v \sqrt{\left[ (1 - R_{0,1,\dots,7}^2) \frac{N-1}{N-2} \right]}, \quad (2.18)$$

де  $S_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2}{N-1}}$  стандартне відхилення залежного параметра  $V$ ;

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i$$

середнє значення витоку рідини, визначене при випробуванні 160 золотникових пар, що були в експлуатації

$R_{0,1,\dots,7}^2 = \frac{SS_{Pr}}{SS}$  - коефіцієнт детермінації, що характеризує частку

варіації витоків рідини від загальної варіації незалежних ознак, включених у статистичну модель;

$SSPr = \sum_{i=1}^{90} (V_i - \bar{V})^2$  - сума квадратів передбачених витоків рідини, скоригованих на середне

$\bar{V}$  - 1-е значення витоків рідини, що визначається за регресійними моделями (2.1-2.9).

Середнє значення квадрата прогнозованого витоків рідини:

$$SSPr^2 = \frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^{160} (\bar{V}_i - \bar{V})^2. \quad (2.19)$$

Сума квадрата залишків, скоригованих на середнє

$SSOc = \sum_{i=1}^{90} (V_i - \bar{V})^2$ , а середні квадрати  $SSOc^2 = 8 \frac{2}{v/\Sigma z} - \frac{1}{160-8} \sum_{i=1}^{160} (V_i - \bar{V})^2$

Тоді загальна сума квадратів згорів

$$SS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{160} (V_i - \bar{V})^2 = SSPr + SSOc \quad (2.20)$$

Статистичний критерій Фішера для рівня значущості  $\alpha$

$$F(7.152) = \frac{SSPr^2}{SSOc^2} \quad (2.21)$$

Статистика Дарбіна - Вотсона використовується для перевірки гіпотези

про те, що залишки побудованої регресійної моделі некорельовані ( $\rho = 0$ ) проти

$$\varepsilon_i = \rho \varepsilon_{i-1} + \delta, \quad (2.22)$$

альтернативи: залишки пов'язані авторегресійною залежністю виду [92]:

де  $\varepsilon_i$  - незалежні випадкові величини, що мають нормальний розподіл із параметрами  $(0, s)$ ,  $i = 1, \dots, N$

Теоретичне значення критерію Дарбіна - Вотсона обчислюється таким чином:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^N (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2} = 2(1 - \rho). \quad (2.23)$$

Критичні точки статистики Дарбіна - Вотсона табулірні [92]. В таблиці наведено два критичних значення Дарбіна - Вотсона:  $DL-k$  і  $DU-k$  - нижнє і верхнє, що залежать як від числа спостережень  $N$ , за якими оцінюються параметри регресійного рівняння, так і від числа значущих незалежних ознак  $k$  і рівня значущості  $\alpha$ .

За критерієм Дарбіна - Вотсона перевіряють гіпотезу: "залишки незалежні, тобто  $\rho = 0$ ", проти загальної альтернативи  $\rho \neq 0$  або  $\rho > 0$ ;  $\rho < 0$ .

Якщо  $d < DL-k (d_{кр})$  або  $4-d < DL-k (d_{кр})$  то гіпотеза про незалежність залишків відкидається на рівні  $2\alpha$ . Якщо  $d > DU-k (d_{кр})$  або  $d > 4- DU-k (d_{кр})$

то гіпотеза про незалежність залишків не відкидається на рівні  $2\alpha$ .

Обчислення параметрів рівняння (2.1-2.9) проведено за допомогою ППІ СТАТИСТИКА-5.0.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

### 3. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Програма досліджень

Для успішного розв'язання поставленої мети, шляхом планомірного розв'язання завдань з урахуванням досвіду попередніх дослідників, необхідний комплексний підхід, що містить теоретичні та експериментальні дослідження, виробничу та експлуатаційну перевірки, техніко-економічний аналіз результатів досліджень.

Програма досліджень складалася з п'яти етапів.

На першому етапі виявлено основні причини відмов і порушення працездатності гідравлічних розподільників із плоскими золотниками, розглянуто їхні технології ремонту та методи відновлення і зміцнення зношених деталей з'єднань "плоский золотник - зливні секції"; показано особливості електроіскрової обробки металевих поверхонь; розглянуто якісні, кількісні показники поверхонь і технологічні методи підвищення несучої здатності покриттів утворених електроіскровою обробкою.

Відповідно до поставленої мети та завдань дослідження на другому етапі проведено теоретичні дослідження. На основі мікрометражних даних змодельовано процес формування витоку рідини в плоских золотникових парах, обґрунтовано напрям технологічних робіт із відновлення зношених поверхонь золотникового з'єднання та виявлено закономірності утворення шару на поверхні відновлюваної деталі під час електроіскрової обробки.

На третьому етапі проводилися експериментальні дослідження згідно з приватними та загальними методиками. Проведено мікрометражні дослідження та оброблено експериментальні дані. Встановлено зв'язок між ерозією матеріалів електродів і суцільності покриття від часу обробки. Досліджено текстуру покриттів, утворену при електроіскровому наплавленні різними бронзовими електродами і графітом. Проведено металографічні дослідження та визначено міцність зчеплення покриття з основою. Вивчена триботехнічні



характеристики відновленої та зміцненої поверхні деталей пари тертя "золотник – зливні секції". Отримано математичну модель товщини шару металопокриття з бронзи БрАЖМц 10-3-1-5 на загартовану сталь 40Х з бронзи БрАЖМц 10-3-1,5 на загартовану сталь 40Х залежно від часу та енергетичних режимів установки. Проведено стендові та експлуатаційні випробування.

Четвертий етап був присвячений розробці технологічного процесу відновлення деталей з'єднань "золотник - зливні секції" гідророзподільника Р12 П. За запропонованою технологією відновлена партія гідророзподільників і проведені експлуатаційні випробування агрегатора.

На п'ятому етапі проведено розрахунок техніко-економічної ефективності запропонованої технології та впровадження її у виробництво.

### 3.2 Методика мікрометражних досліджень і обробки експериментальних даних

Для проведення мікрометражних досліджень було відібрано дві партії гідророзподільників Р12 П у господарствах. Першу партію обстежували з грудня 2000 р. до квітня 2001 р., другу партію - у лютому 2003 р. Об'єктом дослідження були з'єднання "плоский золотник - зливні секції".

Мінімальна кількість (М) об'єктів дослідження, яка дає необхідну точність вимірювань, за заданої довірчої ймовірності  $\alpha = 0,95$  і відносної помилки  $\varepsilon = 0,15$ , визначали з виразу [103]:

$$\varepsilon = t_{\alpha, n-1} \frac{v}{\sqrt{N}} \quad (3.1)$$

де  $t_{\alpha, n-1}$  - коефіцієнт Стюдента;

М - коефіцієнт варіації (очікуване значення коефіцієнта варіації дорівнює 0,55).

За  $\alpha = 0,95$  і  $\frac{t_{\alpha} \cdot \varepsilon}{\sqrt{N} \cdot m} = \frac{0,15}{0,55}$ , за таблицею [103], знаходимо  $N=52$ . Нами прийнято: обсяг першої партії  $N_1 = 112$  золотникових пар.

Обсяг другої партії за  $\alpha = 0,90$ ,  $\varepsilon = 0,15$ ,  $v = 0,55$  [103] склав  $N_1 = 48$  золотникових пар.

Дослідженням піддавалися товщини золотників і зливних секцій. Номінальний розмір золотників становив 15 і 16 мм, а зливних секцій 23 мм. Золотники з різними номінальними розмірами відрізняються один від одного конструктивним виконанням, ці зміни не впливають на технічні характеристики гідророзподільника, але визначають товщину робочої секції.

Для вимірювання використовували важільний мікрометр МРП 0-25 ГОСТ 11098-75 з точністю 0,001 мм, мікрокатор типу ИПП ГОСТ 6933-81 з цінною поділки 0,001 мм. Усі прилади пройшли атестацію і мають відповідні сертифікати. Для налаштування вимірювальних інструментів використовували

плоскопаралельні кінцеві міри 1 класу точності, похибка налаштування блоків кінцевих мір становила не більше  $\pm \Delta_{lim} = 0,324$  мкм.

Після розбирання золотники і зливні секції гідророзподільника промивали в мийній машині і просушували. Потім для достовірного визначення фактичного зносу і зазору в парі проводилося маркування золотників і зливних секцій. Золотники і зливні секції маркувалися по торцю з боку керуючого отвору. Крім того, маркували протилежні боки золотників і зливних секцій (сторона А і Б). Маркування сторін здійснювалося на неробочих поверхнях.

Номер гідророзподільника фіксували на напірній секції з боку запобіжного клапана. Золотники і зливні секції вимірювали в шести зонах, нумерацію зон здійснювали відносно керуючого отвору за ходом годинникової стрілки (рис. 3.1 і 3.2).

Дефекти золотників і зливних секцій визначали зовнішнім оглядом із використанням лупи 4-6 кратного збільшення.

Золотник гідророзподільника Р12П

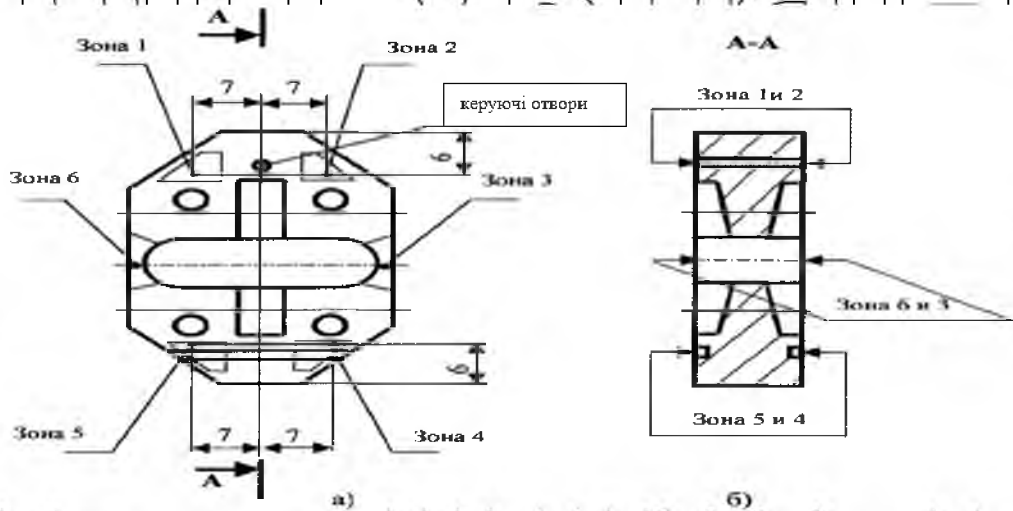


Рис. 3.1.

а - зони для вимірювання відхилення від площинності поверхні золотників; б - зони для вимірювання відхилення від паралельності площин золотників; 1,2...6 - зони вимірювання

Коефіцієнт повторюваності дефекту визначають за формулою:

$$K = \frac{n_D}{n_0} \quad (3.2)$$

де  $n_D$  - кількість поверхонь, що мають цей дефект;

$n_0$  - загальна кількість поверхонь

Зливна секція гідророзподільника Р12П

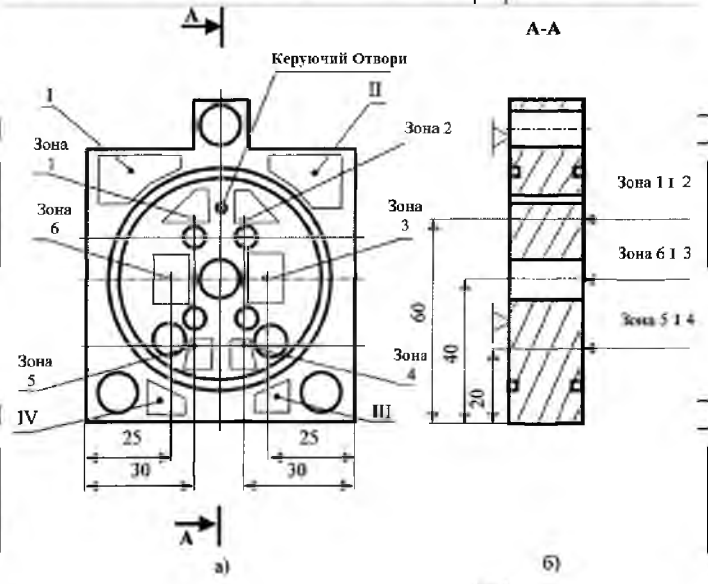


Рис 3.2.

а, б - зони для вимірювання відхилення від площинності зливних секцій 1, 2...б - зони вимірювання; I, II...IV - зони замірів на робочій поверхні.

У зв'язку з відсутністю відомостей про початкові розміри товщини золотників вивчали умовні зноси. У кожному золотнику з обох боків визначали зони максимального і мінімального зносів по поверхнях. Для цього використовували мікрокатор типу ИГЛ ГОСТ 6933-81.

Схема вимірювання показана на рис. 3.3. За незношену поверхню приймали зону мінімального зносу, а величину умовного зносу для сторін А і Б знаходили за формулами:

$$U_{z_{ijA}} = H_{z_{max\ ijA}} - H_{z_{ijA}}; \tag{3.3}$$

$$U_{z_{ijB}} = H_{z_{max\ ijB}} - H_{z_{ijB}}, \tag{3.4}$$

де  $U_{z_{ijA}}$ ,  $U_{z_{ijB}}$  - умовні зноси і-го золотника в j-й зоні відповідно на стороні А і Б, мм;

$H_{z_{max\ ijA}}$ ,  $H_{z_{ijA}}$ ,  $H_{z_{max\ ijB}}$ ,  $H_{z_{ijB}}$  - відповідно максимальні й поточні значення товщин і-го золотника j-ї зони на сторонах А і Б, мм.

Схема вимірювання зносу золотників

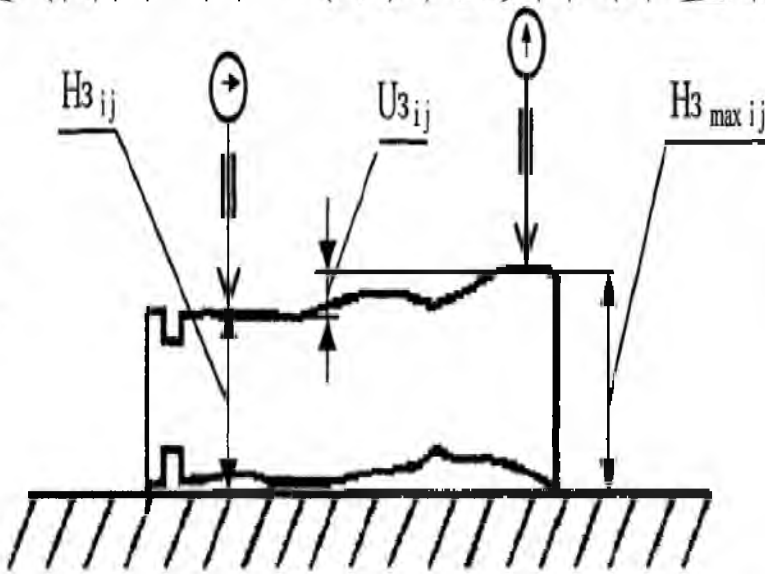


Рис. 3.3

Для зливних секцій величини зносів за зонами сторін А і Б визначали відносно середньої величини товщини неробочих поверхонь (рис. 3.2, зони I-IV). Схема вимірювання показана на рис. 3.4. Як вимірювальний інструмент використовували мікрокатор типу ІПІ ГОСТ 6933-81.

Значення зносів визначали за формулами:

$$U_{cc_{ijB}} = H_{cc_{нпiB}} - H_{cc_{ijB}}, \quad (3.6)$$

$$U_{cc_{ijA}} = H_{cc_{нпiA}} - H_{cc_{ijA}}; \quad (3.5)$$

де  $U_{cc_{ijA}}$ ,  $U_{cc_{ijB}}$  - умовні зноси 1-ї зливної секції в 3-ій зоні по сторонах А і Б,

мм;

$H_{cc_{нпi}}$  - товщина неробочої поверхні 1-ї зливної секції, мм;

$H_{cc_{ijA}}$ ,  $H_{cc_{ijB}}$  - відповідно поточні значення товщин і-ї зливної секції в j-й зоні по сторонах А і Б, мм.

Схема вимірювання зносу зливних секцій

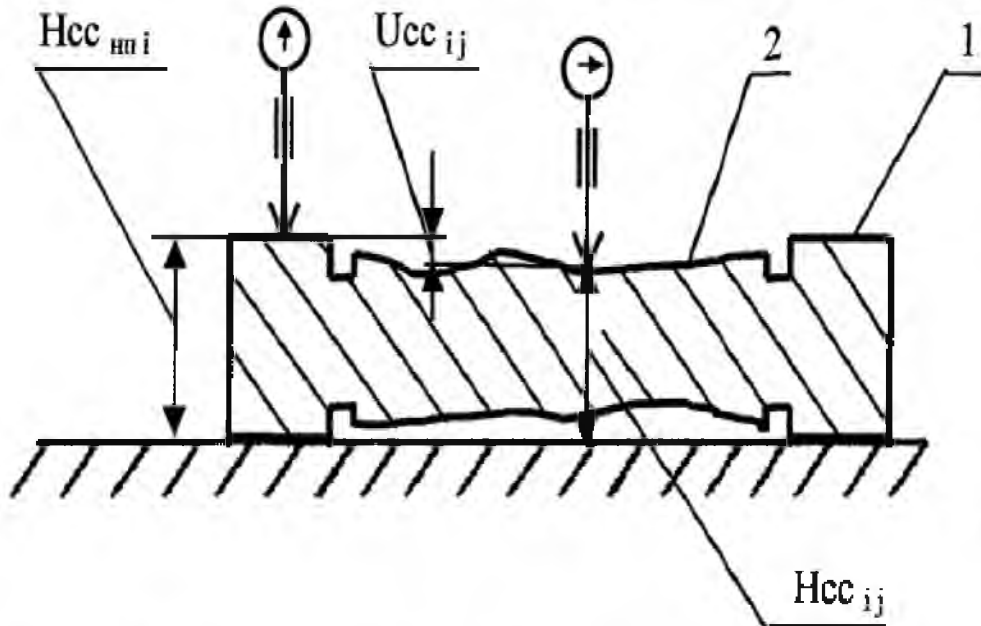


Рис. 3.4

1 - неробочі поверхні зливних секцій; 2 - робочі поверхні зливних секцій.

Результати замірів представлені в додатку 1.

Аналіз конструкції показав, що під час виготовлення нових гідророзподільників зазор у парі регламентується товщиною робочої секції, в яку впираються з двох боків зливні секції, і товщиною золотника (рис.

3.5). У процесі роботи зазор збільшується внаслідок зношування робочих поверхонь зливних секцій і золотника при цьому товщина робочої секції залишається постійною.

Схема визначення фактичного зазору

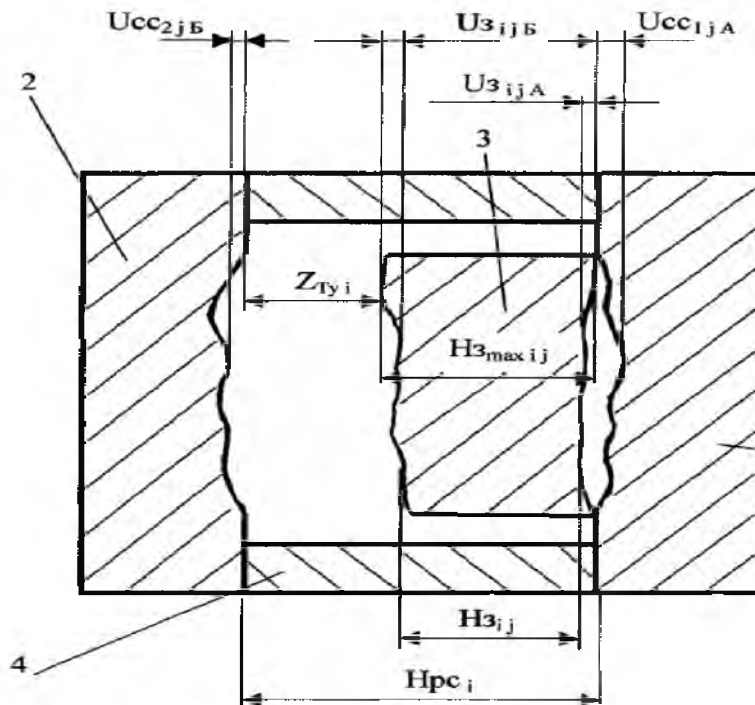


Рис. 3.5.

1 і 2 - зливні секції; 3 - золотник; 4 - робоча секція  $U_{сц_{1jA}}$  і  $U_{сц_{2jB}}$  - відповідно зноси 1 і 2 зливної

секції в  $j$ -й зоні по сторонах А і Б;  $Z_{Ty i}$  - умовний технологічний зазор для 1-го з'єднання;  $H_{з_{ij}}$  і  $H_{з_{max ij}}$  - відповідно поточні та максимальні значення товщини 1-го золотника  $j$ -ї зони;  $H_{рс i}$  - значення товщини зони;  $H_{рс}$  - значення товщини 1-ї робочої секції

Тоді експлуатаційний зазор (зазор, що утворюється в процесі експлуатації) в 1-му з'єднанні  $Z_{ij}$  за зонами визначали за формулою:

$$Z_{ij} = Z_{Ty i} + U_{з_{ijA}} + U_{з_{ijB}} + U_{сц_{1jA}} + U_{сц_{2jB}}, \quad (3.7)$$

де  $Z_{ij}$  - зазор у 1-му з'єднанні  $j$ -ї зони, мм;

$Z_{Tyi}$  - умовний технологічний зазор в  $i$ -му з'єднанні, мм.

Для  $i$ -го зношеного з'єднання (рис. 3.5) умовний технологічний зазор  $Z_{Tyi}$  визначали за формулою:

$$Z_{Tyi} = Hrc_i - (Hз_{ij} + U_{з_{jA}} + U_{з_{jB}}) \quad (3.8)$$

де:  $Hrc_i$  - значення товщини  $i$ -ї робочої секції, що вимірюється важільним мікрометром МРП 0-25 ГОСТ 11098-75, мм;

$Hз_{ij}$  - значення товщини  $i$ -го золотника в  $j$ -ї зоні, що вимірюється важільним мікрометром МРП 0-25 ГОСТ 11098-75, мм.

Для нових гідророзподільників технологічний зазор  $Z_{Ti}$  в  $i$ -му з'єднанні (рис. 3.5) визначали за формулою

$$Z_{Ti} = Hrc_i - Hз_{ij}, \quad (3.9)$$

Результати первинного опрацювання подано в додатку табл.2.

Далі проводилося статистичне опрацювання даних мікрометражних досліджень на ПЕОМ з використанням статистичних програм Stat, Excel, Statistika 5.0. Результатом статистичного опрацювання була побудова статистичного ряду та визначення основних характеристик емпіричного розподілу розмірів (зносів).

Щільності розподілу технологічного та експлуатаційного зазорів у з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції" підпорядковуються нормальному закону [104]:

$$f(Z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\left(\frac{Z-\bar{Z}}{2\sigma^2}\right)^2}, \quad (3.10)$$

де  $Z$  - теперішнє значення зазору, мкм,

$\bar{Z}$  - середнє значення зазору, мкм.

Зміщення (зсув) початку розсіювання зазор

$$Z_{cm} = Z_1 - \frac{Z_3 - Z_1}{2}, \quad (3.11)$$

де  $Z_1$  - перше за величиною значення зазору зі статистичного ряду, мкм;

$Z_3$  - третє за величиною значення зазору зі статистичного ряду, мкм.

Коефіцієнт варіації розподілу зазору без урахування нормативних вимог:

$$v = \frac{\bar{s}}{\bar{z}}, \quad (3.12)$$

де  $S$  - середнє квадратичне відхилення.

Результати мікрометражних досліджень і обробка експериментальних даних представлені в п.4.1.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

##### 4.1 Результати аналізу дефектів і мікрометражних досліджень з'єднань "золотник - зливні секції"

Для вивчення основних дефектів і зносів золотників і зливних секцій проводилися мікрометражні дослідження відповідно до методики, наведеної в п.3.2. Для перевірки стійкості та достовірності результатів мікрометражних досліджень обстежувалися дві партії  $N_1 = 112$  і  $N_2 = 48$  золотникових пар.

У результаті дослідження технічного стану гідравлічних розподільників із плоскими золотниками, що надійшли на ремонт, на робочих поверхнях деталей було виявлено такі дефекти: на золотниках - зношування, подряпини і корозія; на зливних секціях - зношування, сліди захоплювання, вириви матеріалу глибиною до 20 мкм, задираки і корозія. Коефіцієнт повторюваності та пропонувані метод усунення вищевказаних дефектів представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1  
Дефекти золотників і зливних секцій

гідрозподільників із плоскими золотниками

Дефекти	Повторюваність дефекту		Спосіб усунення
	коефіцієнт	в %	
Золотники			



Зноси	1	100	Метод ЕІО
Корозія	0,03	3	Метод ЕІО
Подряпини глибиною 10-15 мкм	0,13	13	Метод ЕІО
Зливні секції			
Зноси	1	100	Метод ЕІО
Следи схоплювання	0,58	58	Метод ЕІО
Задирки глибиною 25-30 мкм.	0,43	43	Метод ЕІО
Корозія	0,05	5	Метод ЕІО

Аналіз принципу роботи показав, що в процесі роботи відбуваються перекося золотника. Перекося утворюються через наявність ексцентриситету між двома рівнодіючими силами, які утворюються від дії ручки оператора і пружини. У результаті перекося торкання деталей відбувається на обмежених ділянках поверхні тертя. Граничний шар рідини, що залишився, на таких ділянках руйнується під час відносного переміщення деталей. Слідом за цим руйнуються оксидні плівки. Відновлення захисних плівок ускладнене через щільний контакт деталей, що визначається низькою шорсткістю і зусиллям стискання. У результаті здійснюється безпосередній металевий контакт і за недостатньої протизадірної стійкості матеріалу деталей виникає схоплювання і як наслідок утворюються задирки і подряпини.

Недотримання правил експлуатації та несвоєчасне проведення технічного обслуговування призводять до того, що відбувається забруднення робочої рідини частинками пилю і продуктами зносу. Частинки домішки що містяться в робочій рідині, призводять до абразивного зносу поверхонь.

Корозія на робочих поверхнях деталей утворюється через неправильну постановку на зберігання і порушення умов зберігання.

Мікрометражні дослідження показують, що зноси нерівномірні по поверхнях золотників і зливних секцій і мають локальний характер. Площа зносів у зонах 1, 2, 3 і 5 становить для золотників 110... 120 мм<sup>2</sup>, для зливних

секцій 220...230 мм<sup>2</sup> у зонах 3 і 6 для золотників 26...30 мм<sup>2</sup>, для зливних секцій 55...60 мм<sup>2</sup>

Дослідження двох партій гідророзподільників показують, що максимальні зноси у золотників спостерігаються біля відсічних крайок (рис. 4.1). Отримані значення величин зносів підкоряються закону Вейбулла у двопараметричній формі:

$$f(U) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{U}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{U}{a}\right)^b} \quad (4.1)$$

Щільності розподілу експлуатаційних зазорів у з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції" підпорядковуються нормальному закону (3.10).

Зони вимірювання золотників і зливних секцій

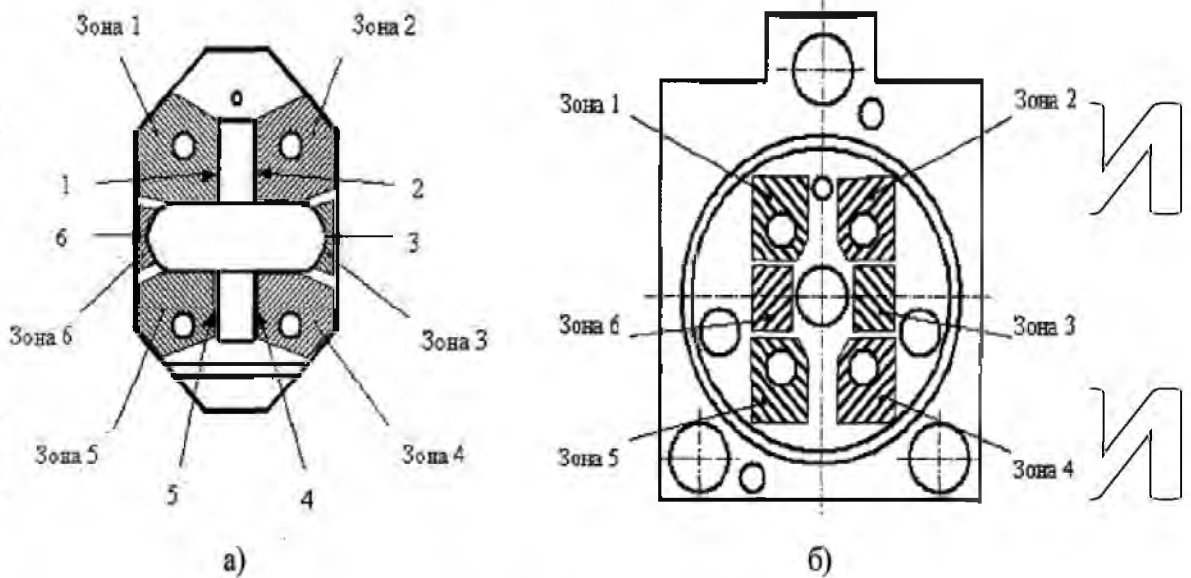


Рис. 4.1.

а - золотник; б - зливна секція; 1...6 - відсічні крайки.

У табл. 4.2 подано основні статистичні характеристики та параметри закону розподілу Вейбулла зносів поверхонь золотників і зливних секцій за зонами для вибірок об'ємом  $N_1=112$  і  $N_2=48$  золотників ЄС пар.

Основні статистичні характеристики і параметри закону нормального розподілу експлуатаційних зазорів за зонами в з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції" для вибірок обсягом  $N_1=112$  і  $N_2=48$  золотникових пар наведено в табл. 4.3

Таблиця 4.2

Основні статистичні характеристики та параметри закону розподілу Вейбулла зносів поверхонь золотників і зливних секцій для вибірок обсягом  $N_1=112$  і  $N_2=48$  золотникових пар

№ зон	п, шт	Статистичні характеристики					Параметри розподілу Вейбулла		Імовірність появи максимального зносу в j-й зоні $K_j$
		$U_{max}$ , мкм	$U_{min}$ , мкм	$U$ , мкм	$\sigma$ , мкм	$\nu$	b	a	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Золотники - сторона А									
1	112	45	0	28.64	15.50	0.54	1.90	31.63	0.094
2		49		27.14	17.94	0.65	1.60	29.54	0.078
3		56		34.86	15.15	0.43	2.50	39.87	0.109
4		47		24.43	20.81	0.85	1.20	26.34	0.125
5		65		37.44	14.57	0.44	2.40	42.48	0.360
6		60		37.61	14.82	0.38	2.80	43.58	0.234
Золотники - сторона Б									
1	112	43	0	19.44	13.18	0.67	1.50	21.60	0.313
2		55		21.31	14.22	0.66	1.60	24.94	0.276
3		45		15.46	8.90	0.57	1.80	17.45	0.023
4		48		19.27	14.59	0.75	1.35	20.14	0.353
5		45		11.43	11.90	0.64	1.60	20.87	0.094
6		46		13.99	8.52	0.61	1.70	15.77	0.035
Зливні секції									
1	112	63	4	41.56	14.12	0.34	3.20	45.40	0.088
2		73		41.24	14.81	0.36	3.00	44.88	0.143
3		77		40.59	14.92	0.37	2.95	44.53	0.080
4		73		41.45	15.21	0.37	2.95	45.40	0.107
5		90		46.31	19.09	0.41	2.60	51.59	0.383

6		92	1	43.35	17.35	0.40	2.70	49.57	0.199
Золотники -- сторона А									
1		44		22.78	13.28	0.58	1.80	26.05	0.097
2		46		23.55	14.92	0.63	1.65	25.28	0.075
3		54		27.64	15.39	0.56	1.85	30.79	0.122
4	48	46	0	18.4	18.72	1.02	1.00	18.72	0.097
3		61		30.85	15.52	0.50	2.10	35.27	0.365
6		54		29.71	14.24	0.48	2.20	33.12	0.244
Золотники -- сторона Б									
1		45		16.20	12.34	0.76	1.30	17.14	0.097
2		57		17.67	12.13	0.69	1.50	19.88	0.097
3		45		16.47	10.04	0.61	1.70	18.59	0.097
4	48	37	0	17.62	10.98	0.62	1.71	19.95	0.314
5		48		17.07	13.02	0.73	1.35	18.88	0.270
6		43		16.35	9.17	0.56	1.90	18.72	0.122
Зливні секції									
1		60	4	39.37	12.51	0.32	3.50	43.13	0.094
2		69	3	39.32	14.36	0.36	3.0	43.30	0.117
3		70	1	39.60	12.84	0.32	3.50	44.27	0.117
4	48	80	4	38.47	12.93	0.34	3.20	41.70	0.071
5		85	1	43.82	15.67	0.36	3.00	47.48	0.352
6		81	4	41.78	14.61	0.35	3.10	45.65	0.249

Таблиця 4.3

Основні статистичні характеристики та параметри закону нормального розподілу експлуатаційних зазорів за зонами в з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції" для вибірок обсягом  $n_1=112$  і  $n_2=48$  золотникових пар

№ зони	п, шт	Статистичні характеристики					Імовірність появи максимального зносу в j-й зоні $K_j$
		$U_{max}$ , МКМ	$U_{min}$ , МКМ	$U$ , МКМ	$\sigma$ , МКМ	$v$	
1	203	63	159.12	31.72	0.20	0.069	
2	223	54	168.84	34.14	0.21	0.122	
3	216	39	159.40	33.49	0.23	0.052	

4	112	210	51	154.50	34.41	0.22	0.086
5		255	47	169.58	42.29	0.24	0.500
6		238	21	166.01	41.78	0.25	0.180
1		190	62	141.25	30.33	0.21	0.075
2		201	60	143.00	33.45	0.23	0.050
3		214	64	146.70	35.34	0.24	0.100
4	48	202	50	137.70	33.12	0.24	0.030
5		218	73	158.90	38.77	0.24	0.350
6		207	79	152.82	36.44	0.23	0.375

Оцінка ймовірності нульової гіпотези про збіг ліній регресії в двох досліджуваних вибірках ( $N_1 = 112$  і  $N_2 = 48$ ), проведена в п. 2.2 за залишковими дисперсіями, показала, що лінії регресії значуще не розрізняються. Отже вибірки об'єднуємо ( $M = 160$  золотникових пар).

Аналіз об'єднаної вибірки показав, що на стороні А максимально поверхні золотників зношуються в зоні 5, величина зносу становить 65 мкм, мінімально - у зоні 1, величина зносу становить 45 мкм. Зона 5 зношується в 1,44 раза інтенсивніше, ніж зона 1. На стороні Б максимально поверхні золотників зношуються в зоні 2, величина зносу становить 57 мкм, мінімально - в зоні 1, величина зносу становить 45 мкм. Зона 5 зношується в 1,26 раза інтенсивніше, ніж зона 1.

Максимально поверхні зливних секцій зношуються в зоні 6, величина зносу становить 92 мкм, мінімально - в зоні 1, величина зносу становить 63 мкм. Зона 6 зношується в 1,46 раза інтенсивніше, ніж зона 1.

Основні статистичні характеристики і параметри закону розподілу Вейбулла зносів поверхонь золотників і зливних секцій за зонами для об'єднаної вибірки ( $K = 160$ ) подано в табл. 4.4. Щільності розподілу зносів поверхонь золотників і зливних секцій за зонами для об'єднаної вибірки представлені на рис. 4.2, 4.3 і 4.4.

Таблиця 4.4

Основні статистичні характеристики та параметри закону розподілу Вейбулла зносів поверхонь золотників і зливних секцій для об'єднаної вибірки  $N = 160$  золотникових пар

№ зони	Статистичні характеристики						Параметри розподілу Вейбулла		Імовірність появи максимального зносу в $j$ -й зоні $K_j$
	$n$ , шт	$U_{max}$ , МКМ	$U_{min}$ , МКМ	$U$ , МКМ	$\sigma$ , МКМ	$\nu$	$b$	$a$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Золотники - сторона А									
1	160	45	0	27,01	15,21	0,56	1,85	30,42	0,096
2		49		26,02	17,18	0,66	1,55	29,13	0,076
3		50		32,85	15,59	0,47	2,55	37,14	0,015
4		47		23,08	20,34	0,88	1,15	24,51	0,111
5		65		35,59	16,58	0,46	2,30	40,43	0,363
6		60		35,37	15,12	0,43	2,50	39,79	0,239
Золотники - сторона Б									
1	160	45	0	18,59	13,00	0,70	1,45	20,64	0,198
2		57		20,35	13,76	0,67	1,50	22,55	0,179
3		46		13,37	9,19	0,58	1,80	18,03	0,060
4		48		18,84	13,76	0,73	1,40	20,78	0,316
5		48		12,94	8,27	0,64	1,05	13,20	0,177
6		47		14,61	8,73	0,59	1,75	16,62	0,070
Зливні секції									
1	160	63	1	40,98	13,79	0,37	2,95	41,19	0,091
2		73		40,74	14,77	0,36	3,00	44,76	0,130
3		77		40,33	14,46	0,36	3,00	43,82	0,099
4		80		40,67	14,75	0,36	3,00	44,71	0,089
5		90		45,65	18,35	0,40	2,70	52,44	0,367
6		92		42,94	16,75	0,39	2,80	49,23	0,224

Щільності розподілу зносів золотників за зонами на стороні А

НУБІП України

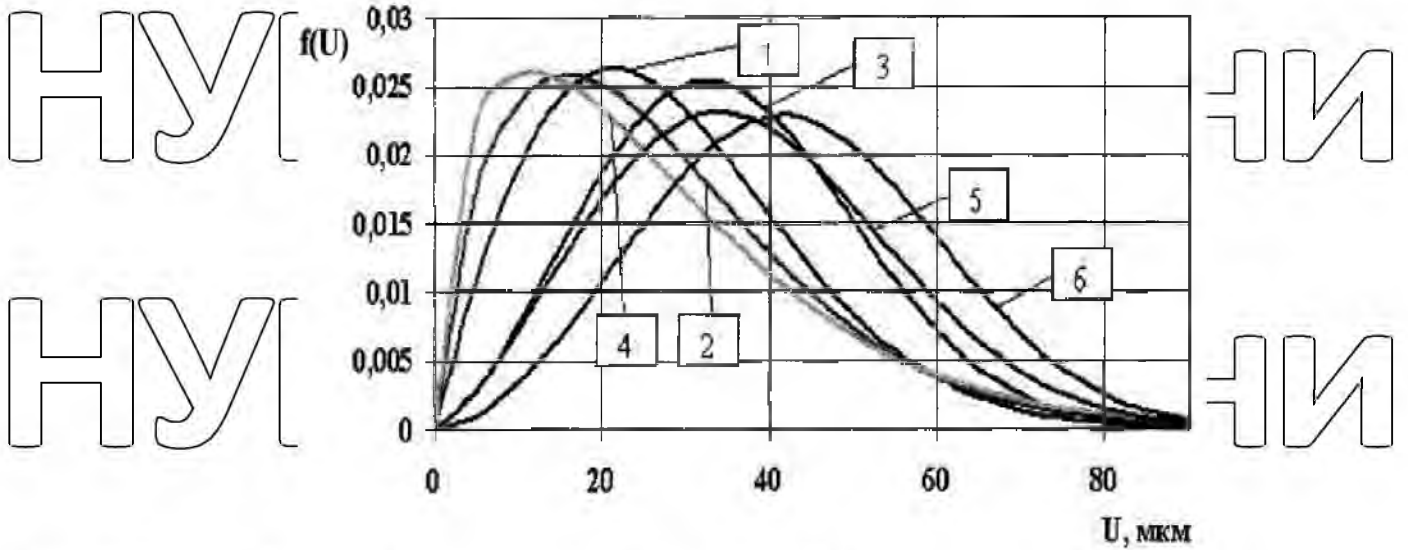
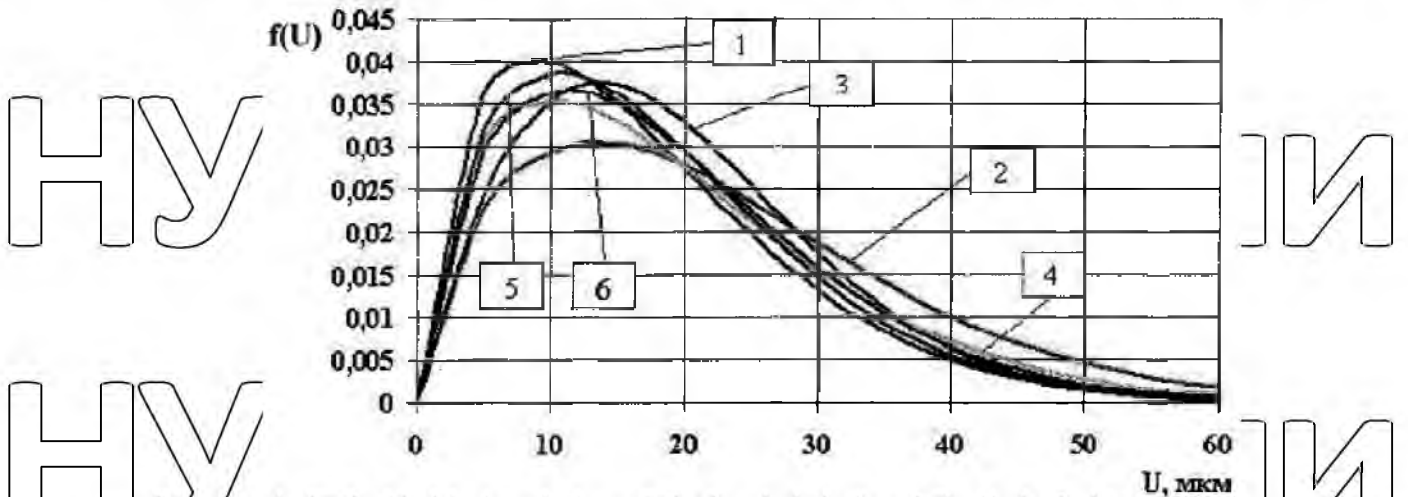


Рис 4.2.

НУБІП України



Щільності розподілу зносів золотників за зонами на стороні Б

Рис 4.3.

Щільності розподілу зносів зливних секцій за зонами

НУБІП України

НУБІП України

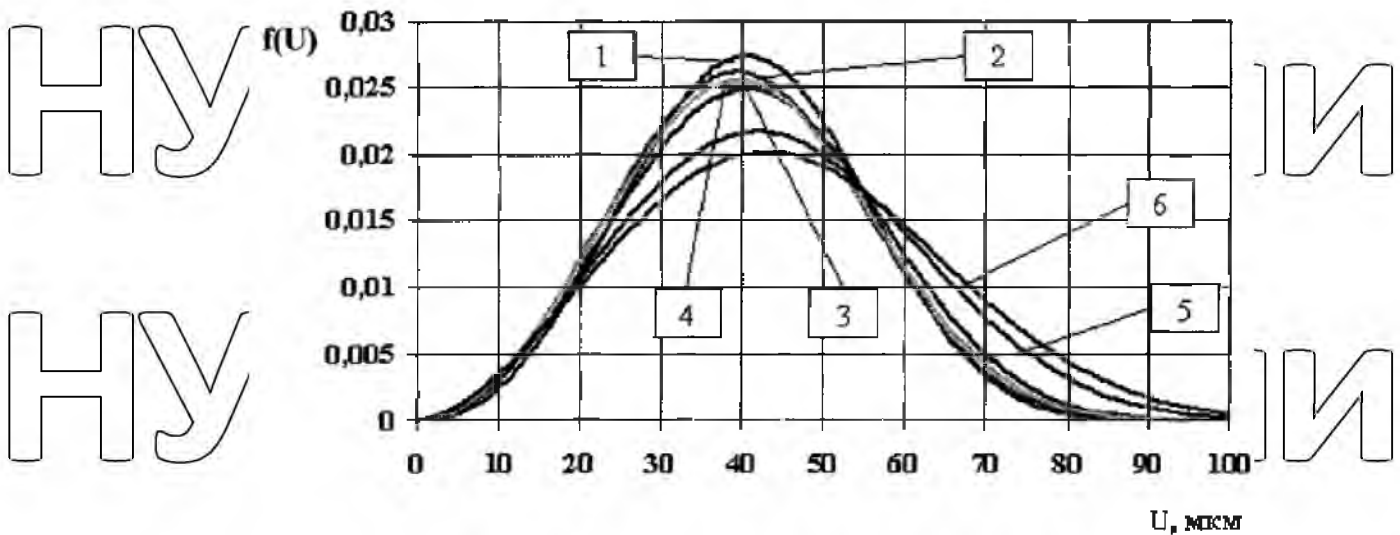


Рис 4.4.

За технічними умовами на гідророзподільник з ручним керуванням Р12 П конструктивний зазор у парі "золотник - зливні секції" має перебувати в межах 9... 13 мкм за середнього значення 11 мкм.

Вибракувальною ознакою під час контролю нових пар є витіки робочої рідини через робочу секцію з робочого відводу в злив або нагнітання при нейтральному положенні золотника і перепаді тиску 10 МПа понад 60 см<sup>3</sup>/кв [94].

За результатами мікрометражних досліджень партії 8-ми нових гідророзподільників ( $N_{\text{нов}} = 64$  золотниковим парам) встановлено, що технологічний зазор у парі "золотник - зливні секції" перебуває в інтервалі 9...37 мкм при середньому значенні 25,39 мкм, а виміри зношених ( $N = 160$ ) з'єднань показали, що умовний технологічний зазор перебуває в інтервалі 9...45 мкм за середнього значення 27,89 мкм.

Внаслідок невеликої відмінності між двома середніми значеннями отриманих сукупностей перевіряли гіпотезу, що середні розрізняються випадково. Перевірку здійснювали за допомогою  $t_{\text{кр}}$  - критерію. Для вибірки обсягом  $N > 20$  - критерій обчислювали за формулою [90]

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}, \quad (4.2)$$



де  $x_1, x_2, S_1^2, S_2^2, N_1, N_2$  - відповідно, середні значення, дисперсії та обсяги першої та другої вибірки.

Підставивши у формулу (4.2) числові значення, отримуємо:

$$t = \frac{|25,39 - 27,89|}{\sqrt{\frac{46,15^2}{64} + \frac{69,88^2}{160}}} = 0,285.$$

За додатком 2 [111] для  $F = N_1 + N_2 - 2 = 64 + 160 = 224$  і  $P = 0,95$  знайшли  $t_{кр} = 1,9719$ . За умовою, (якщо  $t < t_{кр}$  ( $0,285 < 1,9719$ )), то відмінності між середніми визнаються несуттєвими. Отже, вибірки технологічних зазорів нових і зношених з'єднань "золотник - зливні секції" можна об'єднати.

Основні статистичні характеристики та параметри нормального розподілу технологічних зазорів об'єднаної вибірки ( $N_t = 224$  золотниковим парам) у з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції" подано в табл. 4.5, щільність розподілу на рис. 4.5.

Таблиця 4.5

Основні статистичні характеристики та параметри закону нормального розподілу технологічних зазорів об'єднаної вибірки в з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції"

Статистичні характеристики						
п, шт	$Z_{Tcm}$ , мкм	$Z_{Tmax}$ , мкм	$Z_{Tmin}$ , мкм	$Z_T$ , мкм	$\sigma$ , мкм	$\nu$
224	75	45	9	26,98	7,88	0,29

Щільності розподілу технологічних зазорів об'єднаної вибірки в з'єднаннях "золотник - зливні секції"

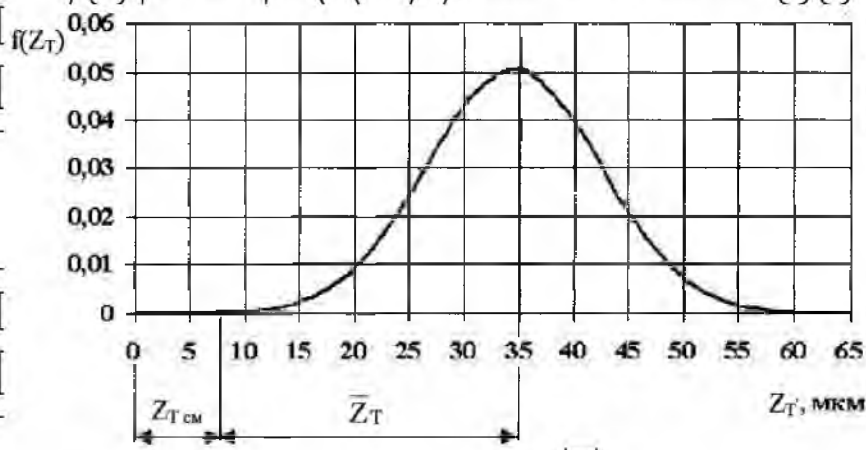


Рис 4.5.

Стендові випробування витоків у парах із різними значеннями технологічного зазору показали (рис. 2.1), що витoki більше ніж  $60 \text{ см}^3/\text{хв}$  починаються при досягненні зазором значення  $38\text{...}40 \text{ мкм}$ , тобто допустимий технологічний зазор становить  $Z_{\text{дт}}=40 \text{ мкм}$ . Однак збільшення конструктивного зазору через порушення технологічного процесу значно

Аналіз принципу роботи показав, що зношування робочих поверхонь золотників і зливних секцій мають локальний характер, отже, експлуатаційні зазори доцільно розглядати за зонами.

Основні статистичні характеристики та параметри закону нормального розподілу експлуатаційних зазорів за зонами в з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції" для об'єднаної вибірки подано в табл. 4.6, густини на рис. 4.6.

Щільності розподілу експлуатаційних зазорів

у з'єднанні "золотник - зливні секції" за зонами

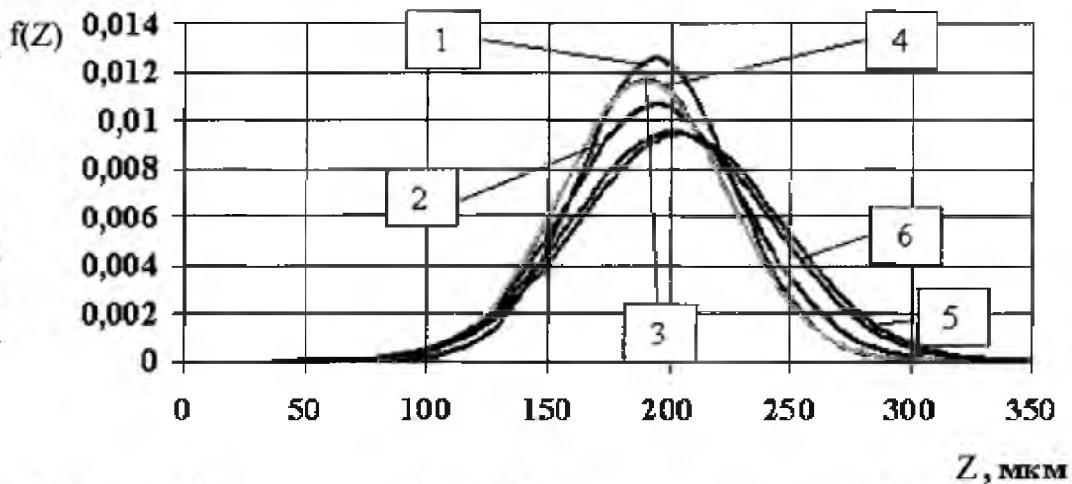


Рис 4/6

Таблиця 4.8

Основні статистичні характеристики та

параметри закону нормального розподілу експлуатаційних зазорів за зонами в з'єднаннях "плоский золотник - зливні секції" для об'єднаної вибірки  $N = 160$  золотникових пар

№ зони	n, шт	Статистичні характеристики					Імовірність появи максимального зазору в j-й зоні $K_j$
		$Z_{max}$ , мкм	$Z_{min}$ , мкм	$Z$ , мкм	$\sigma$ , мкм	$\nu$	
1	160	203	62	154,48	32,33	0,21	0,0675
2		223	54	154,90	34,64	0,22	0,086
3		216	39	156,01	37,23	0,24	0,076
4		210	50	149,83	34,71	0,23	0,068
5		252	47	166,39	41,21	0,25	0,425
6		238	21	162,48	40,73	0,25	0,2775

Із табл. 4.6 видно, що максимальні значення експлуатаційних зазорів розташовані в зоні 5 і становлять 252 мкм за значення середнього зазору 166,39 мкм.

Максимальні зазори в зоні 5 утворюються в такий спосіб: робоча рідина від насоса в нагнітальну порожнину гідроциліндра розподіляється каналами, розташованими між 1 і 2, 4 і 5 зонами золотників (рис. 4.1). Під час руху золотника робоча рідина протікаючи через зазор у з'єднанні "золотник - зливні секції" долає так званий "природний фільтр", який відсікає великі частки домішки. Дрібні ж частинки домішки проникають у зазор, дряпають поверхню, зношуючи її. Через перекіс золотника поверхні з'єднання контактують по обмеженій площині, якою є зона 5.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## 5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ІЗ ПЛОСКИМИ ЗОЛОТНИКАМИ ТА ОЦІНКА ЙОГО ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 5.1 Рекомендації щодо поліпшення ремонту гідравлічного розподільника з плоскими золотниками

На підставі проведених досліджень, для поліпшення якості ремонту плоских золотникових пар рекомендується таке:

1. Під час відновлення гідророзподільників малими партіями ремонт раціонально проводити, не знеособлюючи з'єднання.

2. Під час дефектації золотників і зливних секцій для визначення зносів виміри необхідно проводити за методикою, запропонованою в п.3.2.

3. Вибір притиральних паст для фінішної обробки доцільно проводити з умови, щоб абразивне зерно здійснювало мікрорізання металу [113]:

$$\frac{h}{p} \geq K_p, \quad (5.1)$$

де  $h$  - глибина впровадження в метал зерна;

$r$  - радіус зерна в зоні контакту;

$K_p$  - критерій переходу від мікрорізання до пластичної деформації.

За даними І.В. Крагельського [114]:  $K_p=0,3$  - для змащених поверхонь;

$K_p=0,1$  - для поверхонь без змащення.

Величина  $h/r$  залежить від твердості оброблюваного матеріалу і пригону, геометричної форми абразивного зерна і його твердості. Абразивна паста має у своєму складі стеарин, парафін, олеїнову кислоту тощо. Тому можна приймати

$K_p=0,3$ .

Для забезпечення максимального знімання металу має дотримуватися наступна умова:

$$\frac{H_a}{H_M} \geq K_H, \quad (5.1)$$

де  $H_a$  і  $H_M$  - відповідно твердість абразиву і матеріалу;

$K_H$  - коефіцієнт, за якого досягається найбільше знімання металу абразивом у конкретних умовах; величина  $K_H$  перебуває в межах 1,4...2,0.

Мікротвердість електроіскрових покриттів на деталях з'єднань "плоский золотник, зливні секції" становить 1500...5500 МПа.

Зі співвідношення (5.2) випливає, що максимальна продуктивність процесу різання абразивом спостерігатиметься за умови:  $H_a > K_H \cdot H_M$ .

Приймаючи величину коефіцієнта  $=2,0$ , отримуємо необхідну умову - твердість абразивного матеріалу  $H_a = 3000... 11000$  МПа.

У табл. 5.1 наведено фізико-механічні характеристики абразивних матері

Таблиця 5.1

Фізико-механічні характеристики абразивних матеріалів

Матеріал	Щільність, г/м <sup>3</sup>	Мікротвердість, МПа	Модуль пружності, МПа	Межа міцності на стиск, МПа	Температурна межа стійкості, °С
Алмаз	3,48-3,56	400000	900000	2000	700-800

Боразон	3,45-3,47	90000	720000	500	1300-1500
Карбід бору	2,48-2,52	37000-43000	296000	1800	700-800
Карбід кремнію	3,12-3,20	30000-32000	365000	1500	1300-1400
Електрокорунд білий	2,00-2,10	20000-24000	-	760	1700-1900
Карбід титану	4,93	32000	322000	3850	3140
Карбід вольфраму	16,60	17300	72000	3000	2600

З табл. 5.1 видно, що необхідну твердість мають усі представлені матеріали. За даними М.М. Хрущова підвищення твердості абразиву вище твердості, яка визначається співвідношенням  $H_a = K_n \cdot H_m$  практично не впливає на знімання металу.

4. Згідно з ГОСТ 2789-73 на кресленнях відновлених або зміцнених електроіскровою обробкою деталей мають бути вказані параметри  $r$ ,  $R_{max}$  або  $R_a$ ,  $S_m$ ,  $t_p$ ,  $L_b$ . Між масляними "кишеннями"  $R_a$ , оскільки регламентація та оцінка шорсткої опорної поверхні тільки за параметром  $R_a$  призводить до спотворення істинної несучої здатності відновлених поверхонь.

5. Робочим матеріалом електрода для відновлення золотників методом ЕО, за результатами експериментальних досліджень, обрано бронза марки БрАЖМц 10-3-1,5, також можливе застосування бронз БрАМц 9-2 і БрАЖ 9-4. У табл. 5.2. наведено енергетичні режими установки "Елітрон-22БМ", на яких можна відновлювати зноси золотників різної величини.

Таблиця 5.2

Матеріал електрода	Енергетичний режим установки (Дж)		
	3(0,28)	4(0,81)	5(1,66)
	Величина зносу, мкм		
БрАЖМц 10-3-1,5	22	73	105
БрАМц 9-2	22	60	96
БрАЖ 9-4	17	54	75

## 5.2 Розробка технологічного процесу ремонту гідророзподільників із плоскими золотниками

Технологічні процеси проєктують відповідно до вимог стандартів ЄСКД і ЄСТД, а також з урахуванням доповнень, роз'яснень і обмежень, викладених у керівних технічних матеріалах і галузевих стандартах.

В основу проєктування технологічного процесу покладено такі вихідні дані:

**1. Пропонована номенклатура відновлюваних виробів.** Об'єктами відновлення є з'єднання "плоский золотник – зливні секції" гідравлічних розподільників Р12П.

**2. Умови роботи і матеріал відновлюваних виробів.** З'єднання "плоский золотник - зливні секції" працюють у гідравлічних системах із тиском до 20 - 25 МПа і витратою робочої рідини до 120... 160 л/хв. Матеріал золотників – сталь 40Х, сполучених зливних секцій – чавун СЧ45.

**3. Відомості про дефекти.** До основних дефектів плоских золотників пар належать сліди захоплення, зносу, вириви матеріалу глибиною до 20 мкм, подряпини і корозія.

### 4. Максимальні величини зносу і припуски на механічну обробку.

Результатами мікрометражних досліджень (див. п. 4.1) було встановлено, що середнє зношування по поверхнях золотників становить 35,59 мкм за максимального зносу 65 мкм. Середній знос зливних секцій становить 42,94 мкм за максимального зносу 92 мкм. Для відновлення золотників необхідно на їхні поверхні нанести шар товщиною 100...150 мкм. Ця величина шару металопокриття обґрунтовується з урахуванням максимальних зносів золотників і припуску на подальшу механічну обробку [16]. За технологією (див. нижче) поверхні зливних секцій шліфують до виведення слідів зносу, а потім зміцнюються графітом.

**5. Передбачувана програма відновлення.** Результати мікрометражних досліджень (див. п.4.1) показали, що з розглянутої партії

гідророзподільників із плоскими золотниками Р12. П необхідно відновлювати 88 - 93 % золотникових пар.

### 6. Проектування маршруту обробки.

Під час використання цього технологічного процесу допускається заміна в ньому обладнання та оснащення іншим обладнанням і оснащенням, що забезпечують задані параметри обробки та вимірювання поверхонь.

Найменування операцій	№ пере-ходу	Зміст операцій
1	2	3
005. Мийна		Мийка
010. Контрольна		Встановити гідророзподільник на стенд КИ-4815М за допомогою спеціального пристосування. Перевірити роботу перепускного клапана і витоку в золотникових парах.
015. Розбиральна		Розібрати гідророзподільник згідно з технічною документацією
020. Мийна		Видалити з відновлюваних поверхонь деталі іржу, бруд, мастило ганчіркою, змоченою в розчиннику (уайт-спирті, ацетоні, гасі).
025. Дефектувальна		Дефектувати деталі згідно з ТУ4144-001-255649-94.
030. Електроіскрове наплавлення	1	Установити золотник у лещата і закріпити
	2	Нанести на робочу поверхню шар електродом з алюмінієво-марганцевої бронзи 04 мм. Режими: режим установки - 5 (I = 3,8 А; V = 96 В); амплітуда 7-8; частота подачі імпульсів 200-250 Гц; тривалість імпульсу $\tau_N = 3,0 \times 10^{-3}$ ; $t_H = 1,5-2,0$ хв/см <sup>2</sup> ; кут нахилу електрода 20-35° до поверхні.
	3	Зняти золотник.
	4	Заміряти товщину шару, що наплавляється



035. Шліфувальна		Шліфувати поверхню оброблену ЕІН. <u>Режими:</u> швидкість золотника 5 м/хв, поперечна подача столу $S_{\text{поп}} = 8 \text{ мм/хід}$ .
040. Електроіскрове наплавлення	1	Встановити золотник у лещата необробленою поверхнею і закріпити.
	2	Нанести на робочу поверхню шар електродом з алюмінієво-марганцевої бронзи $\varnothing 4 \text{ мм}$ . <u>Режими:</u> режим установки - 5 (1 = 3,8 А, V = 96 В); амплітуда 7-8; частота подачі імпульсів 200-250 Гц; тривалість імпульсу $\tau_N = 3,0 \times 10^{-3}$ ; $t_H = 1,5-2,0 \text{ хв/см}^2$ ; кут нахилу електрода $20-35^\circ$ до поверхні.
	3	Зняти золотник.
	4	Заміряти товщину шару, що наплавляється
045. Шліфувальна		Шліфувати поверхню оброблену ЕІН. <u>Режими:</u> швидкість золотника 5 м/хв, поперечна подача столу $S_{\text{поп}} = 8 \text{ мм/хід}$ .
050. Доводочна		Доводити поверхні золотників після шліфування до Ra 0,32 мкм. <u>Режими:</u> питомий тиск $Q=0,8-1,5 \text{ кгс/см}^2$ ; рух притирача "вісімкою". Промити золотник гасом (керосин)
055. Шліфувальна	1	Установити зливну секцію.
	2	Шліфувати поверхню зливної секції до виведення слідів зносу; швидкість зливної секції 5 м/хв, поперечна подача столу $S_{\text{поп}} = 8 \text{ мм/хід}$ .
	3	Повернути деталь.
	4	Шліфувати другу поверхню зливної секції до виведення слідів зносу. <u>Режими:</u> швидкість зливної секції 5 м/хв, поперечна подача столу

		$S_{\text{поп}} = 8 \text{ мм/хід.}$
060.	5	Зняти зливну секцію.
Електроіскрова обробка	1	Установити зливну секцію в лещата і закріпити.
	2	Зміцнити робочу поверхню зливної секції графітовим електродом $\phi$ 3-4 мм; режим установлення - 2 ( $I=0,4 \text{ А; } V=67$ ); амплітуда 4-5; частота подачі імпульсів 200-250 Гц; тривалість імпульсів імпульсу $\tau_N = 3,0 \times 10^{-3}$ , $t_H = 2-2,5 \text{ хв/м}^2$ кут нахилу електрода $20-35^\circ$ до поверхні.
	3	Зняти деталь, перевернути і закріпити в лещатах.
	4	Зміцнювати протилежну робочу поверхню зливної секції графітовим електродом $\phi$ 3-4 мм; режим установлення - 2 ( $I=0,4 \text{ А; } V=67$ ); амплітуда 4-5; частота подачі імпульсів 200-250 Гц; тривалість імпульсів $\tau_N = 3,0 \times 10^{-3}$ ; $t_H = 2-2,5 \text{ хв/м}^2$ ; кут нахилу електрода $20-35^\circ$ до поверхні.
	5	Зняти деталь.
065. Доводочна		Доводити поверхні зливних секцій після шліфування до $R_a$ 0,32 мкм.
		Режими: питомий тиск $P=0,8-1,5 \text{ кгс/см}^2$ ; рух притирача "вісімкаю"
070. Складальна		Зібрати гідророзподільник згідно з технологічною документацією. Якщо під час перевірки, операція 010, робота перепускного клапана задовольняє вимогам ТУ, то перед установкою його необхідно промити. В тому випадку якщо робота перепускного

075.	1	клапана не задовольняє вимогам ТУ, то його необхідно замінити. ТУ, то його необхідно замінити
		Контролювати з'єднання "золотник - зливні секції" за гідрощільністю згідно з ТУ4144-001-255649-94, допустимі витoki не більше 60 см <sup>3</sup> /хв.
	2	Налаштувати запобіжний клапан на тиск спрацьовування 12. ЛЗМПа

### 7. Вибір засобів технологічного оснащення.

Операція 005. Мийна

*Обладнання.* Мийна машина.

Операція 010. Контрольна

*Обладнання.* Контрольно-випробувальний стенд КИ-4815 М

Операція 015. Розбірна.

*Обладнання.* Верстат слюсарний, пристосування спеціальне.

Операція 020. Мийна

*Обладнання.* Мийна машина.

Операція 025. Дефектувальна

*Обладнання.* Контрольний стіл ОРГ 1468-01-060А.

*Мірний інструмент.* Мікрометр МК 0-25 ГОСТ 6507-78, мікрокалор ИГП ГОСТ 6933-81, плоскопаралельні кінцеві міри довжини ГОСТ 9038-83.

Операція 030. Електроіскрове наплавлення.

*Обладнання.* Установка "Елітрон-22БМ" з ручним вібратором 05-

31-277.009

*Пристосування.* Лещата слюсарні ГОСТ 5698-76, мікрометр МК 0-25 ГОСТ 6507-78, плоскопаралельні кінцеві міри довжини ГОСТ 9038-83.

Операція 035. Шліфувальна

*Обладнання.* Плоскошліфувальний верстат моделі 371 П.

*Ріжучий інструмент.* Шліфувальний круг 14А25НС18К1

ПП200\*16\*32.

Операція 040. Електроіскрове наплавлення

*Обладнання.* Установка "Елітрон-22БМ" з ручним вібратором 05-31-277/009.

*Пристосування.* Лещата слюсарні ГОСТ 5698-76, мікрометр МК 0-25 ГОСТ 6507-78, плоскопаралельні кінцеві міри довжини ГОСТ 9038-83.

Операція 045. Шліфувальна.

*Обладнання.* Плоскошліфувальний верстат моделі 371П.

*Ріжучий інструмент.* Шліфувальний круг 14А25НСТ8К1 ПП200\*16\*32.

Операція 050. Доводочна

*Обладнання.* Верстат слюсарний, плита притиральна чавунна.

*Ріжучий інструмент.* Паста ельборова ЛП М3-М2 ГОСТ 9206-80.

*Контрольний інструмент.* Мікрокагор ИПТ ГОСТ 6933-81, мікрометр МК 0-25 ГОСТ 6507-78, плоскопаралельні кінцеві міри довжини. ГОСТ 9038-83.

Операція 055. Шліфувальна

*Обладнання.* Плоскошліфувальний верстат моделі 371П.

*Ріжучий інструмент.* Шліфувальний круг 14А25НСТ8К1 ПП200\*16\*32.

Операція 060. Електроіскрова обробка

*Обладнання.* Установка "Елітрон-22БМ" з ручним вібратором 05-31-277/009.

*Пристосування.* Лещата слюсарні ГОСТ 5698-76.

Операція 065. Доводочна

*Обладнання.* Верстат слюсарний, плита притиральна чавунна.

*Ріжучий інструмент.* Паста ельборова ЛП М3-М2 ГОСТ 9206-80.

*Контрольний інструмент.* Мікрокагор ИПТ ГОСТ 6933-81, мікрометр МК 0-25 ГОСТ 6507-78, плоскопаралельні кінцеві міри довжини. ГОСТ 9038-83.

Операція 070. Складальна

*Обладнання.* Верстат слюсарний, пристосування спеціальне.

Операція 075. Контрольна

*Обладнання.* Контрольно-випробувальний стенд КИ-4815-М.

### 5.3 Техніко-економічна ефективність відупровадження технологічного процесу ремонту гідророзподільників із плоскими золотниками

Економічний ефект визначається із зіставлення наведених приведених витрат на відновлення перекомплектуванням і пропонованою технологією:

$$\epsilon = (C_{\text{пер}} - C_{\text{відн}} \frac{P_2}{P_1}) \cdot N_{\text{рем}} \quad (5.3)$$

де  $C_{\text{пер}}$  - собівартість ремонту одного гідророзподільника ремкомплект =

995 грн;

$C_{\text{відн}}$  - собівартість відновлення одного з'єднання "плоский золотник - зливні секції" за розробленою технологією, грн;

$P_1, P_2$  - середні міжремонтні ресурси відновлених гідророзподільників за пропонованою технологією ( $P_1 = 6750$  годин) і перекомплектуванням ( $P_2 = 2500$  годин);

$N_{\text{рем}}$  - річна програма відновлення 100 гідророзподільників (800 з'єднань).

Собівартість відновлення за пропонованою технологією розраховується за формулою, грн:

$$C_{\text{відн}} = C_{\text{озп}} + C_{\text{дзр}} + C_{\text{ес}} + C_{\text{м}} + C_{\text{тзв}} + C_{\text{ц}} + C_{\text{о}} + C_{\text{пз}} + C_{\text{зз}} + C_{\text{пкв}}, \quad (5.4)$$

де  $C_{\text{озп}}$  - основна зарплата виробничих робітників, грн;

$C_{\text{дзр}}$  - додаткова зарплата, грн;

$C_{\text{ес}}$  - нарахування за єдиним соціальним податком, грн;

$C_{\text{м}}$  - вартість матеріалів, грн;

$C_{\text{тзв}}$  - транспортно-заготівельні витрати на матеріал, грн;

$C_{\text{ц}}$  - цехові витрати, грн;

$C_{\text{о}}$  - витрати на утримання обладнання, грн;

$C_{\text{пз}}$  - позавиробничі витрати, грн;

$C_{\text{зз}}$  - загальнозаводські витрати, грн;

$C_{\text{пкв}}$  - питоми витрати на капітальні вкладення, грн.

Основна зарплата на відновлення однієї золотникової пари:

$$C_{\text{озп}} = k_{\text{в}} \cdot T_{\text{в}}, \text{ грн} \quad (5,5)$$

де  $k_{\text{в}}$  - норма часу на відновлення одного з'єднання "плоский - золотник зливні секції" (за хронометражем) - 1,09 год;

$T_{\text{в}}$  - годинна тарифна ставка слюсаря V I розряду, грн./год, = 46 грн./год.

$$C_{\text{озп}} = 1,09 \cdot 46 = 50,14 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна плата:

$$C_{\text{дзп}} = \frac{14,6 \cdot C_{\text{озп}}}{100}, \text{ грн} \quad (5,6)$$

$$C_{\text{дзп}} = \frac{14,6 \cdot 50,14}{100} = 7,3 \text{ грн}$$

Нарахування з єдиного соціального податку:

$$C_{\text{ес}} = \frac{35,6 \cdot (C_{\text{озп}} + C_{\text{дзп}})}{100}, \text{ грн} \quad (5,7)$$

$$C_{\text{ес}} = \frac{35,6 \cdot (50,14 + 7,3)}{100} = 20,44 \text{ грн}$$

Вартість матеріалу визначаємо за формулою

$$C_{\text{м}} = k_{\text{м}} \cdot C_{\text{е}}, \text{ грн} \quad (5,8)$$

Вартість 1 кг електродів під час ЕЮ становить  $C_{\text{е}} = 168$  грн. Витрата електродів на один золотник становить 0,0064 кг. Тоді вартість матеріалу:

$$C_{\text{м}} = 0,0064 \cdot 168 = 1,07 \text{ грн}$$

Транспортно - заготівельні витрати на матеріал становлять:

$$C_{\text{тзв}} = \frac{12 \cdot C_{\text{м}}}{100}, \text{ грн} \quad (5,9)$$

$$C_{\text{тзв}} = \frac{12 \cdot 1,07}{100} = 0,12 \text{ грн}$$

Цехові витрати:

$$C_{\text{ц}} = \frac{116,3 \cdot C_{\text{озп}}}{100}, \text{ грн} \quad (5,10)$$

$$C_{\text{ц}} = \frac{116,3 \cdot 50,14}{100} = 58,61 \text{ грн}$$

Витрати на утримання обладнання:

$$C_{\text{о}} = \frac{118,3 \cdot C_{\text{озп}}}{100}, \text{ грн} \quad (5,11)$$

$$C_{\text{о}} = \frac{118,3 \cdot 50,14}{100} = 59,31 \text{ грн}$$

Загальнозаводські витрати:

$$C_{зз} = \frac{73,7 \cdot C_{озп}}{100} \text{ грн} \quad (5,12)$$

$$C_{зз} = \frac{73,7 \cdot 50,14}{100} = 36,95 \text{ грн}$$

Невиробничі накладні витрати:

$$C_{пз} = \frac{1,116 \cdot (C_{озп} + C_{дзп} + C_{гс} + C_{м} + C_{тзв} + C_{ц} + C_{о})}{100} \text{ грн} \quad (5,13)$$

$$C_{пз} = \frac{1,116 \cdot (50,14 + 7,3 + 20,44 + 1,07 + 0,12 + 58,61 + 59,31 + 36,95)}{100} = 2,61 \text{ грн}$$

Питомі витрати на капітальні вкладення:

$$C_{пкв} = E \cdot \frac{C_{уст} + C_{пр} + C_{пшв}}{H_{рем}}, \quad (5,14)$$

де  $E$  - коефіцієнт ефективності капітальних вкладень,  $E = 0,15$ ;

$C_{уст}$  - вартість установа "Елітрон-22БМ",  $C_{уст} = 19140$  грн,

$C_{пр}$  - вартість пристосування,  $C_{пр} = 1530$  грн;

$C_{пшв}$  - вартість плоскошліфувального верстата 3E711,  $= 90000$ .

Питомі витрати на капітальні вкладення з програмою ремонту

$H_{рем} = 100$  гідророзподільників на рік (800 з'єднань) складуть:

$$C_{пкв} = E \cdot \frac{19140 + 1530 + 90000}{800} = 138,33 \text{ грн}$$

Собівартість відновлення одного з'єднання "плоский золотник - зливні секції" гідророзподільника за пропонованою технологією буде дорівнюватиме

$C_{відн} = 374,88$  грн. Тоді собівартість одного 8-ми секційного гідророзподільника

- 2999,04 р.

Звідси

$$E = (995 - 2999,04 \cdot \frac{2500}{6750}) \cdot 100 = 11575,5 \text{ грн}$$

НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## ВИСНОВОК

1. У результаті дослідження робочих поверхонь деталей плоских золотникових пар гідророзподільників виявлено такі дефекти: зношування, сліди схоплювання, подряпини та корозія. Мікрометражними дослідженнями встановлено, що поверхні золотників і зливних секцій зношуються локально. Максимальне значення зносу для золотників становлять 65 мкм, для зливних секцій 92 мкм. Отримані значення зносу підкоряються закону Вейбулла у двопараметричній формі.

Статистичним моделюванням, проведеним на базі мікрометражних досліджень, виявлено, що основними факторами, що визначають працездатність гідророзподільника, є вихідний (технологічний) зазор, утворений у з'єднанні "плоский золотник - зливні секції", і локальними зносами по робочих поверхнях. За конструктивного зазору 9-13 мкм, золотникові з'єднання гідророзподільника виготовляють із зазором 9-13 мкм. Збільшення конструктивного зазору через порушення технологічного процесу значно знижує ресурс пари



2. Встановлено, що підвищити безвідмовність і довговічність відремонтованих підпорозподільників можна за рахунок відновлення зношених поверхонь з'єднань "плоский золотник - зливні секції" таким чином, щоб зазор перебував у межах 9-13 мкм (99,73 % довірчого інтервалу), а твердість робочих поверхонь золотника була меншою, ніж у зливної секції; відновлення зношених поверхонь з'єднань "плоский золотник", ніж у зливної секції; підвищення несучої здатності робочих поверхонь з'єднань створенням нерегулярної шорсткості на робочих поверхнях деталей з масляними "кишенями", що забезпечують високу маслоємність і гідрощільність покриттів

3. Експериментально встановлено, що для відновлення плоских золотників необхідно наносити покриття товщиною до 110 мкм. Дана товщина покриття із суцільністю не менше 88 % і коефіцієнтом перенесення матеріалу не менше 55 % досягається під час наплавлення електродом із бронзи БрАЖМц 10-3-1,5 на 5 енергетичному режимі (енергія розряду 1,66 Дж) установки "Елітрон-22БМ".

4. Виявлено, що текстура наплавленого шару має однакову шорсткість у всіх напрямках, із замкнутими масляними каналами, що перешкоджає витокам рідини і забезпечує зниження коефіцієнта тертя. Комплексний параметр шорсткості поверхонь, відновлених бронзами різних марок, у 3,23... 12,9 разів менший, ніж у нових поверхонь золотникових пар. Найбільша умовна товщина масляної плівки і відносна опорна площа поверхонь тертя, отриманих електроіскровим наплавленням, відповідно електроіскровим наплавленням, відповідно в 2,48, 4,55 і 1,18...2,05 рази більше, ніж у нових поверхонь золотникових пар.

5. Встановлено, що у покриттів, утворених бронзою БрАЖМц 10-3-1,5, середнє значення мікротвердості білого шару становить  $H_{\mu}^{6.c.} = 2410$  МПа.

Середні значення мікротвердості даних шарів, утворених бронзами БрАМц 9-2 і БрАЖ 9-4, становлять відповідно  $H_{\mu}^{6.c.} = 1520$  і  $H_{\mu}^{6.c.} = 1822$  МПа.

Під час зміцнення чавуну СЧ45 графітовим електродом на поверхні формується "білий" шар з мікротвердістю  $H_{\mu}^{6.c.} = 5190$  МПа.

Коефіцієнт міцності зчеплення бронзових покриттів з основою становила 36,21 - 56,03 МПа.

6. Триботехнічні випробування покриттів за ГОСТ 23224-86 показали, що навантаження до заїдання у відновлених пар у 1,31...2,37 раза вище, а коефіцієнт тертя ковзання в 1,02... 1,21 раза нижчий, ніж у нових. Інтенсивність зношування поверхонь, утворених електроіскровою обробкою, у 6... 22 рази нижча порівняно з вихідною.

Таким чином можна зробити висновок, що найкращими триботехнічними характеристиками володіє пара тертя, золотник якої відновлений бронзою БрАЖМц 10-3-1,5, а зливні секції зміщені графітом.

7. Отримано математичну модель товщини електроіскрового покриття  $h$  при наплавленні бронзи БрАЖМц 10-3-1,5 на зразок зі сталі 40Х залежно від енергетичних режимів установки, часу обробки і характеристик вібратора.

Проведена оцінка впливу коефіцієнтів регресії засвідчила, що найбільший вплив на товщину металопокриття чинить енергія одиничного іскрового розряду з коефіцієнтом чутливості 0,927; час обробки - 0,436; частота вібрації електрода - 0,138 і поєднання чинників: енергія одиничного розряду і частота вібрації електрода - 0,040; час обробки і частота вібрації електрода - 0,0006.

8. За результатами експлуатаційних випробувань встановлено, що нижня довірна межа прогнозованого середнього ресурсу відновлених гідророзподільників склала 6750 годин, а нижня довірна межа 80 % ресурсу - 4050 годин. Нормативна величина середнього ресурсу нових гідророзподільників становить 6000 годин, а нормативна величина середнього 80% ресурсу - 4800 годин.

9. Розроблено технологію ремонту гідророзподільника Р12 П, засновану на відновленні зношених робочих поверхонь з'єднань "плоский золотник - зливні секції" електроіскровою обробкою, що забезпечує вихідний зазор у золотниковій парі в межах 9-20 мкм.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## Список літератури та інтернет джерела

1. [https://e-](https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/19636/mod_resource/content/0/0%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%203.pdf)

[tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/19636/mod\\_resource/content/0/0%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%203.pdf](https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/19636/mod_resource/content/0/0%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%203.pdf)

2. [https://mmi-dmm.kpi.ua/images/pdf/lab\\_3.pdf](https://mmi-dmm.kpi.ua/images/pdf/lab_3.pdf)

3. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/57451/1/Luhovets\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/57451/1/Luhovets_bakalavr.pdf)

4. <https://buklib.net/books/36357/>

5. [https://h-](https://h-g.com.ua/ua/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=lp_performance-max_higher-than-3k&utm_id=18482266271&utm_content=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwTJKqBhCaARIsAN_yS_IPaxsuxdcwb7JpmOaa0AJGRE15Iwfx8oWVK-XK1I7LAKcR2HtJdw8aAuXhEALw_wcB)

[g.com.ua/ua/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=lp\\_performance-max\\_higher-than-](https://h-g.com.ua/ua/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=lp_performance-max_higher-than-3k&utm_id=18482266271&utm_content=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwTJKqBhCaARIsAN_yS_IPaxsuxdcwb7JpmOaa0AJGRE15Iwfx8oWVK-XK1I7LAKcR2HtJdw8aAuXhEALw_wcB)

[3k&utm\\_id=18482266271&utm\\_content=&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwTJKqBhCaARIsAN\\_yS\\_IPaxsuxdcwb7JpmOaa0AJGRE15Iwfx8oWVK-](https://h-g.com.ua/ua/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=lp_performance-max_higher-than-3k&utm_id=18482266271&utm_content=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwTJKqBhCaARIsAN_yS_IPaxsuxdcwb7JpmOaa0AJGRE15Iwfx8oWVK-XK1I7LAKcR2HtJdw8aAuXhEALw_wcB)

[XK1I7LAKcR2HtJdw8aAuXhEALw\\_wcB](https://h-g.com.ua/ua/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=lp_performance-max_higher-than-3k&utm_id=18482266271&utm_content=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwTJKqBhCaARIsAN_yS_IPaxsuxdcwb7JpmOaa0AJGRE15Iwfx8oWVK-XK1I7LAKcR2HtJdw8aAuXhEALw_wcB)

6. <https://propozitsiya.com.ua/defekty-gidrorozpodilnykiv-ta-yih-usunennya>

7. [https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/5860/1/0%D0%A5%D0%BE%D1%](https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/5860/1/0%D0%A5%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%9C.%D0%9E..pdf)

[80%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%9C.%D0%9E..pdf](https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/5860/1/0%D0%A5%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%9C.%D0%9E..pdf)

8. <https://studfile.net/preview/7832258/page:12/>

# НУБІП України

9 [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82)  
[https://www.bibus.ua/fileadmin/product\\_data/sauerdanfoss/documents/SAUER\\_DANFOSS\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5\\_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B8\\_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F\\_PVG32\\_%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3\\_](https://www.bibus.ua/fileadmin/product_data/sauerdanfoss/documents/SAUER_DANFOSS_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B8_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F_PVG32_%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3_)

ru.pdf  
 НУБІП України

11. [http://journ.univ.kiev.ua/files/mag\\_vymohy.pdf](http://journ.univ.kiev.ua/files/mag_vymohy.pdf)  
 12. <https://core.ac.uk/download/pdf/241043411.pdf>  
 НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України