

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ
ГІДРАВЛІЧНИХ НАСОСІВ МОДИФІКАЦІЇ НШ-У**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-24
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Гришкін Сергій Іванович

Керівник: _____ Мельянцов Петро Тимофійович

Рецензент: _____

Дніпро - 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц.

(вчене звання)

Дудін В. Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гришкіна Сергія Івановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Удосконалення технології капітального ремонту гідравлічних насосів модифікації НШ-У»

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Конструктивні особливості шестеренних насосів модифікації НШ-У. Аналіз зносу деталей та несправностей шестеренного насоса. Статистична оцінка надійності гідравлічних насосів. Існуючі методи відновлення деталей шестеренних насосів. Існуючі методи та засоби ремонту деталей поверхневим пластичним деформуванням.

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки: 1. Огляд сучасного рівня розробки питання та визначення цілей роботи. 2. Теоретичне обґрунтування методів оцінювання параметрів технічного стану насоса. 3. Методологічні принципи виконання роботи. 4. Підсумки проведених досліджень. 5. Забезпечення охорони праці під час аварійних обставин. 6. Оцінювання

економічної ефективності. Підсумки виконаного дослідження. Джерела інформації.

5. Склад матеріалу для демонстрації

1 Мета (2. Арк., А 4). 2. Теоретичні дослідження (3 арк., А4). 3. Методологія експеримента (2. аркуш, А 4). 4. Підсумки дослідження (5. Арк., А 4) 5. Оцінка ефективності (1. Арк., А 4). 6. Підсумки дослідження (3 арк., А 4)

6. Консультанти роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 6.	Мельянцов П.Т., доцент		
нормо контроль	Івлєв, В. В., доцент		

7. Дата видання завдання : _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН.

№ з/п	Етапи	Термін виконання	Примітка.
1	Сучасний стан питання	до 30.09.2025 р.	Викон.
2	Теоретичні дослідження	до 15.10.2025 р.	Викон.
3	Методологічні принципи виконання роботи	до 02.11.2025 р.	Викон.
4	Забезпечення охорони праці	до 15.11.2025 р.	Викон.
5	Підсумки роботи	до 25.11.2025 р.	Викон.
6	Презентація роботи	до 09.12.2025 р.	Викон.

Студент

(підпис)

Гришкін С. І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Мельянцов П. Т.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гришкін С. І. «Удосконалення технології капітального ремонту гідравлічних насосів модифікації НШ-У».

/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Технічний сервіс»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2025./

Існуючі способи ремонту шестеренних насосів модифікації НШ-У характеризуються значною трудомісткістю відновлення корпусних деталей та низькою післяремонтною їх довговічністю. Мета роботи полягала в розробленні ефективної технології відновлення корпусів шестеренних насосів модифікації НШ-У, яка зменшить трудомісткість їх ремонту та підвищить післяремонтну довговічність. Запропонована технологія базується на використанні поверхневого пластичного деформування робочої поверхні колодязя корпусу насоса з застосуванням гідравлічних оправок та нанесенні епоксидно-полімерної композиції, що дає можливість збільшити коефіцієнт відновленості деталі на ремонтних підприємствах. Експлуатаційна довговічність відновленого корпусу зростає за рахунок якісної фіксації полімерного композиту. Зростання післяремонтного ресурсу насосів, підтверджується також збільшенням середніх передзадирних навантажень в парах тертя та оптимальних експлуатаційних навантажень для даного методу відновлення корпусу.

Ключові слова: гідравлічний привід, шестеренні насоси НШ-У; відновлення корпусних деталей; поверхнєве пластичне деформування; гідравлічні оправки; післяремонтна довговічність; експлуатаційний ресурс; передзадирні навантаження.

ЗМІСТ

ВВЕДЕННЯ	7
1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО РІВНЯ РОЗРОБКИ ПИТАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ РОБОТИ	10
1.1 Особливості конструкції шестеренних насосів модифікації НШ-У	10
1.2 Аналіз зносу та несправностей шестеренного насоса.....	12
1.3 Існуючі методи відновлення деталей шестеренних насосів	15
1.4 Аналіз методів ремонту деталей поверхневим пластичним деформуванням	18
1.5 Мета і задачі роботи.....	20
2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ НАСОСА.....	22
2.1 Вплив зносу на витік гідравлічної оливи в місці з'єднання шестерні з корпусом.....	22
2.2 Дослідження впливу технічного стану шестерень на технічний ресурс насоса.....	26
3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ВИКОНАННЯ РОБОТИ	34
3.1 Комплексна програма і методичні основи експерименту.....	34
3.2 Визначення зношення основних деталей спряжень насоса.....	34
3.3 Пристрій для експериментального аналізу взаємозв'язку параметрів насоса.....	35
3.4 Методика відновлення колодязя корпуса насоса локальним пластичним деформуванням	39
3.5 Методика визначення зносостійкості рухомого з'єднання	41
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	44
4.1 Результати приймальних стендових випробувань насосів	44
4.2 Результати впливу пластичного деформування на зношення пари тертя «Сталь-алюміній»	47
4.3 Результати досліджень післяремонтної довговічності насосів	51
4.4 Технологія відновлення шестеренного насоса	54
5. ПРАЦЯ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ	59

5.1 Оцінка виробничого середовища та протипожежного захисту у сервісному підрозділі.....	59
5.2 Організаційно-технічні заходи для підвищення безпеки та комфорту праці.....	62
5.3 Дії при надзвичайних ситуаціях у виробничому приміщенні .. Ошибка! Закладка не определена.	
6. ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	68
ПІДСУМКИ ВИКОНАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	74
ЛІТЕРАТУРА	77
ДОДАТОК	79

ВВЕДЕННЯ

Гідравлічні системи широко використовуються для механізації виробничого процесу мобільних машин. Основним вузлом гідравлічної системи є гідравлічний шестеренний насос. Він відрізняється від інших типів об'ємних насосів суворими умовами експлуатації, великою вагою, простотою обслуговування і прямим доступом до приводного механізму [1, 2, 3].

Для гідронасосів шестеренчастого типу також характерні недоліки та переваги. Це наявність кутових вібрацій при обертанні шестерень в насосі, викликаних обмеженою точністю і низькою якістю виготовлення насоса. Ці вібрації створюють значні динамічні навантаження на елементи конструкції насоса і гідросистеми в цілому і разом з коливаннями тиску в гідравлічній рідині на високих швидкостях є однією з причин виникнення кавітації і призводять до виходу з ладу пар тертя гідроагрегату.

Аналіз технічного стану насосів, що надійшли в ремонт, показав, що напрацювання на відмову насосів, виготовлених за однаковою технологією, на однаковому обладнанні та з однаковою оснасткою, знаходиться в межах 250...3250 год., це майже більше на порядок. Практика показала, що основними причинами виходу з ладу відремонтованих шестеренних насосів є значний знос деталей качаючого вузла, розкриття робочого профілю контакту зубів шестерень, порушення ущільнень і зрізання шліців ведучої шестерні.

Середній термін служби відремонтованих шестеренних насосів становить менше 50 % від терміну служби нових насосів. У зв'язку з цим актуальним завданням ремонтної галузі є пошук нових технічних рішень для підвищення зносостійкості з'єднання деталей насоса, відновивши параметри зношеної поверхні і поліпшивши фізико-механічні властивості робочої поверхні.

Метою роботи є – забезпечення післяремонтної довговічності шестеренних насосів модифікації У удосконаленням технологічного процесу відновлення робочої поверхні корпусу насоса пластичним деформуванням.

Задачі досліджень.

1. Дослідити причини відмов шестеренних насосів, установити основні дефекти й зношення робочих поверхонь деталей.

2. Провести теоретичні дослідження по виявленню взаємозв'язку між структурними параметрами технічного стану насоса і об'ємними втратами.

3. Розробити спосіб і засіб відновлення колодязя корпусу насоса гідро-пластичним деформування.

4. Розробити технологічний процес відновлення насоса модифікації НШ-У гідросистем сільськогосподарської техніки.

5. Дати оцінку ефективності результатів проведених досліджень.

Об'єкт дослідження - технічний стан шестеренних насосів гідравлічних систем тракторів.

Предмет дослідження – процеси, що визначають зміну технічного стану деталей насоса, а також методи відновлення його працездатності.

Наукові інновації роботи.

Граничне значення зазору в спряженні «зуб шестерні – колодязь корпусу» обґрунтовано аналітично на основі дослідження залежності між технічним станом деталей та витокami оливи.

Встановлено залежність між технічним станом шестерень насоса, що формуються при механічній обробці деталей до ремонтного розміру, та технічним ресурсом насоса через зміну його функціонального показника – коефіцієнта подачі.

Практична цінність роботи.

Розроблено спосіб відновлення колодязів корпусу шестеренного насоса модифікації НШ-У локальним пластичним деформуванням з застосуванням гідро пластичної оправки, що підготовлює підложку поверхні деталі для нанесення епоксидної композиції при нарощуванні зношеної поверхні.

Розроблена технологія ремонту корпусу шестеренного насоса модифікації НШ-У, яка забезпечує підвищення коефіцієнта відновлення

корпусної деталі в сервісних підрозділах та збільшення ресурсу відновлених агрегатів.

Висвітлення результатів.

Виступ на міжнародній конференції: Гришкін С. І. Вплив технологічних процесів ремонту гідравлічних насосів модифікації НШ-У на їх експлуатаційну довговічність. Scientific Collection «InterConf+». 2025. № 63(272). Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects» (19–20 листопада 2025 р., Рим, Італія) / уклад. LLC SPC «InterConf». Rome: Dana, 2025. С. 240–248. – 378 с. – ISSN 2709-4685.

Публікація. Гришкін С. І. Вплив технологічних процесів ремонту гідравлічних насосів модифікації НШ-У на їх експлуатаційну довговічність / С. І. Гришкін, П. Т. Мельянцов // *Scientific Collection «InterConf+»*. 2025. № 63(272). *Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects» (19–20 листопада 2025 р., Рим, Італія) / уклад. LLC SPC «InterConf»*. Rome: Dana, 2025. С. 240–248. – 378 с. – ISSN 2709-4685. DOI: 10.51582/interconf.19-20.11.2024.023.

1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО РІВНЯ РОЗРОБКИ ПИТАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ РОБОТИ

1.1 Особливості конструкції шестеренних насосів модифікації НШ-У

В даний час в гідравлічних системах сучасних тракторів та іншої сільськогосподарської техніки насос є основним перетворювачем енергії, необхідної для передачі гідравлічної рідини в систему гідроприводу для управління навісним, напівнавісним і причіпним робочим обладнанням на сільськогосподарських і промислових тракторах, самохідних сільськогосподарських машинах і дорожніх транспортних засобах. Насоси гідросистеми відносяться до шестеренних насосів і широко використовуються в народному господарстві [4].

Широкого застосування на мобільних технічних системах знайшли насоси шестеренного типу, що виробляються на Вінницькому, Одеському та Кропивницькому заводах. У гідросистемах зарубіжних мобільних машинах також використовуються насоси з внутрішнім зачепленням зубів шестерень для подачі оливи в контур гідросистеми і створення тиску.

Насоси НШ-У конструктивно відрізняються від інших насосів з внутрішнім зачепленням валів – шестерень наявністю суцільної гумової ущільнювальної втулки 10 (рис. 1.1), затиснутої між кришкою 1 і корпусом 5 [5].

В циліндричні отвори манжети 10 вставлені гумові кільця з металевими прокладками 9 для герметичності робочої поверхні втулки. Прокладки забезпечують стабільність зазору між втулкою та кришкою насоса.

Щоб попередити втрати рідини з нагнітаючої у всмоктуючу порожнину насоса, з боку всмоктування в розточку корпусу діаметром 59 мм вставлені клинові гумові ущільнення 8 та клиновий алюмінієвий вкладиш 7.

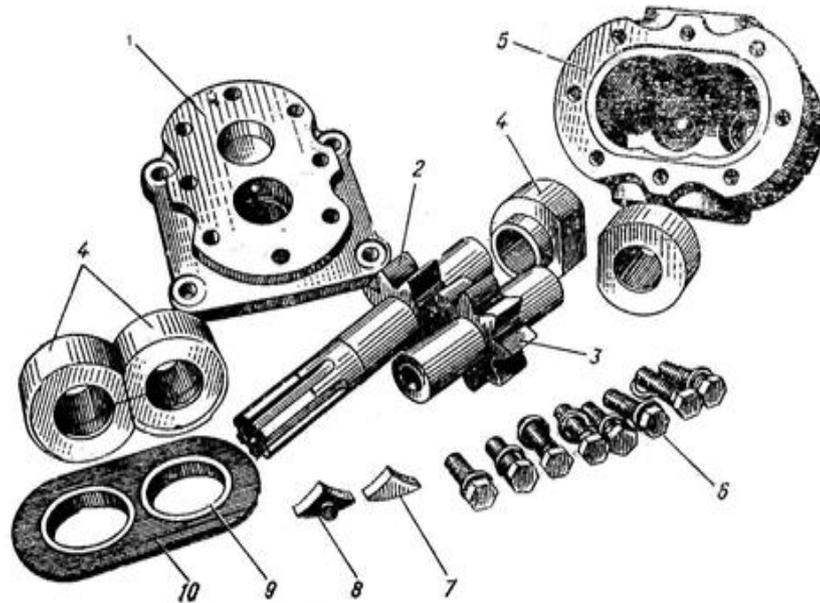


Рис. 1.1 – Насос з внутрішнім зачепленням зубів: 1 – кришка; 2, 3 – вал шестерня; 4 – підшипники ковзання; 5 – корпус; 6 – метизи; 7 – вкладиш; 8 – ущільнення; 9 – кільця; 10 – прокладка

Для запобігання перетікання оливи із зони високого тиску до низької вона поступає до робочої поверхні втулки під манжету, яка забезпечує підтиск втулок до зубів шестерні, що проявляється в компенсаційних заходах щодо торцевого зазору.

Отже у насосах даної модифікації передбачається механізм компенсації торцевого зазору, що відрізняє його конструкцію від насосів модифікації НШ-Т, НШ-Е та ін.

За конструкцією насоси модифікації НШ-У відрізняються від насосів модифікації НШ-К відсутністю системи компенсації радіального зазору між зубом шестерні та отворів колодязю корпусу. Відсутність ефективних систем компенсації радіального зазору та торцевого суттєво впливає на їх експлуатаційну довговічність.

1.2 Аналіз зносу та несправностей шестеренного насоса

Незважаючи на конструктивні особливості, шестеренні насоси залишаються найбільш вразливим компонентом механічних гідравлічних систем. Для того, щоб вибрати відповідні методи відновлення і зрозуміти фізичну природу таких відмов насосів, необхідно проаналізувати умови експлуатації та виявити основні причини виходу їх з ладу.

Найбільш повна класифікація причин відмов шестеренних насосів конструктивного, експлуатаційного, ремонтного та виробничого характеру наведена в [6].

Конструктивні відмови спричинені помилками проектування, недотриманням вимог стандартів, недооцінкою запасів міцності та помилками при розробці схем і конструкції обладнання.

Дефекти виробничі спричинені порушенням технології виробництва, недотриманням вимог проектної документації для виготовлення, використанням неякісних матеріалів і деталей, неналежним контролем якості при виробництві.

Відмови пов'язані з наявністю конструктивного та виробничого браку з'являються в гарантійний період роботи технічної системи або при проведенні прийомо-здаючих її випробувань.

В процесі експлуатації гідронасоси сприймають значні механічні та температурні навантаження, які спричиняють появу їх поломок і відповідно втрату працездатності.

При цьому поява поломок може проходити як в швидкому режимі так і в повільно протікаючому.

Високошвидкісні процеси включають вібрації деталей, повітря в рідинах і коливання тиску. Ці процеси характеризуються високою швидкістю і частою зміною параметрів порядку секунд. Повільні процеси, відбуваються на протязі гарантійного напрацювання обладнання.

Всі перераховані вище процеси є причиною виходу з ладу: Високі механічні навантаження на компоненти гідронасоса призводять до

розтріскування і руйнування; а постійні зміни навантажень призводять до втомного руйнування компонентів; Неякісна гідравлічна рідина (забруднення, газонасиченість, невідповідність функцій) збільшує інтенсивність зношування поверхонь деталей.

Наявність повітря або води в гідравлічній рідині швидко руйнує протизносні присадки, змінює технічний стан гідравлічної рідини, знижує в'язкість гідравлічної рідини, збільшує витoki і перегрів агрегатів. При експлуатації гідромашин в умовах низьких температур відбувається недозаповнення робочої камери і переривання потоку гідравлічної рідини, що викликає кавітаційні пошкодження елементів конструкції.

В результаті зносу деталей насоса змінюються початкові їх розміри і геометрія, порушується взаємне розташування в зібраному агрегаті, змінюється режим роботи агрегату.

Відомо, що деталі гідромашин піддаються механічному та корозійно-механічному зношуванню внаслідок явищ і процесів, що відбуваються в поверхневих шарах (рис. 1.2) [7].

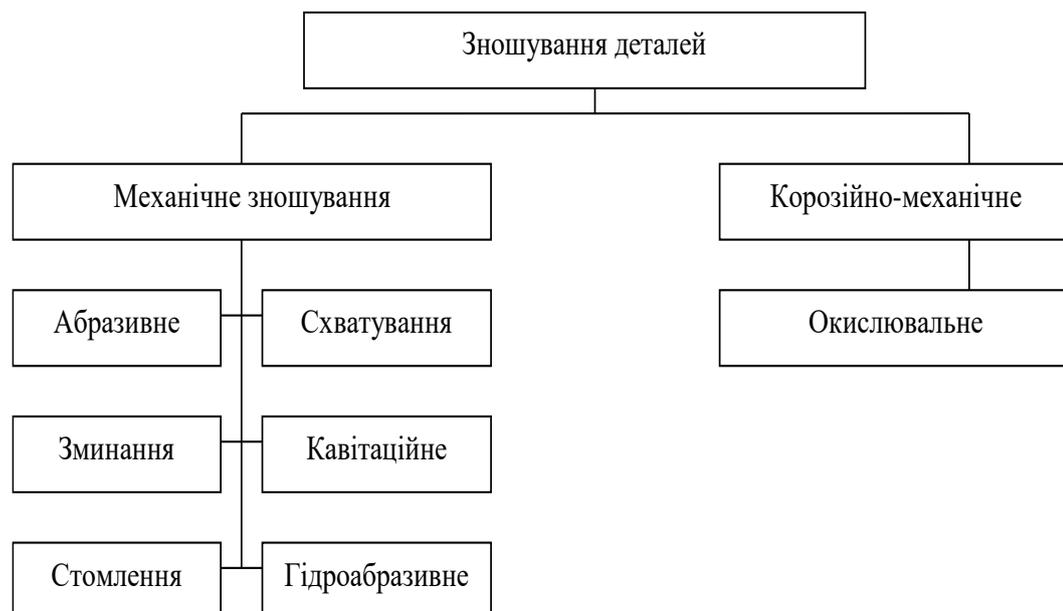


Рис. 1.2 – Види зносу і пошкоджень компонентів гідравлічних машин

Основними видами механічного зносу поверхонь компонентів насосів є абразивний знос, задири, дроблення, кавітація, в тому та гідроабразивне.

Зносу піддаються корпуси гідравлічних насосів, підшипники та шестерні. Знос викликається домішками (забрудненнями) в гідравлічній рідині і продуктами зносу на поверхнях тертя компонентів. Забруднення відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями.

Основними параметрами забруднень є твердість, розмір частинок і концентрація. Тверді частинки, що потрапляють в зазори на поверхнях тертя пар ковзання, збільшують знос.

Висока шорсткість поверхні і погана збірка виготовлених або відремонтованих компонентів можуть призвести до виникнення адгезійних ефектів на поверхнях тертя через високі температури і тиск, що створюються в точках контакту компонентів.

Руйнування - це тип механічного зносу, який зазвичай спостерігається на сполучених поверхнях підшипників насосів. Воно виникає, коли ударні навантаження, зумовлені гідравлічним тиском, сприймаються компонентом, а контактні напруження збільшуються через вищий питомий тиск. В результаті руйнування поверхневий шар металу стискається і початкові розміри поверхні змінюються. Також поширеним є втомне руйнування поверхневого шару компонента через утворення наклепних шарів.

Коли робоча рідина рухається, бульбашки (каверни), наповнені парою або повітрям, затримуються поблизу поверхні деталі. Це створює локальний надлишковий тиск, який руйнує поверхню (кавітаційний знос).

Корозійний знос включає хімічну та електричну взаємодію між матеріалами компонента і навколишнім середовищем. Він характеризується погіршенням стану поверхонь тертя і є результатом реакції матеріалів до окислювального впливу оливи. Процес пояснюється появою деформованих шарів в підлозці поверхні деталі і потраплянню до них кисню. Спочатку зносу видаляються мілкодесперсні частинки, в результаті поступання кисню в масляну плівку. Потім утворенням та появою крихких оксидів, які не

піддаються пластичній деформації. Цей тип зношування відбувається при відносно низьких швидкостях ковзання і низьких питомих навантаженнях.

1.3 Існуючі методи відновлення деталей шестеренних насосів

У ремонтній практиці існують різні методи ремонту і відновлення насосних агрегатів гідравлічних систем, які знайшли застосування в роботах багатьох авторів [8]. Розглянемо їх більш детально.

Реставрація корпусу. Корпуса шестеренних насосів марки У виготовляються з алюмінієвих сплавів Al-11 та Al-9, кокільною відливкою. Під час виробництва піддається термічній обробці для отримання твердості HB76...107.

Для відновлення корпусу методом пресування використовується наступна процедура. Очищені деталі в печі і тримають при температурі 470-490°C протягом 30-35 хвилин. Нагрітий корпус поміщають у форму і обжимають протягом 10-15 секунд. Обтискання завершується при температурі нижче 430°C. Оброблену корпусну деталь нагрівають до температури 520...535°C у печі, протягом 30 хвилин, і проводять загартування в підігрітій воді температурою 60...80°C. Загартований корпус піддають відпустці при температурі 170..180°C протягом 4...6 годин з наступним охолодженням на повітрі. Зачищають привалочні площини під кришку й муфти на плиті з абразивною шкуркою.

Недоліком даного способу є значна трудомісткість відновлення корпусу за рахунок тривалості термічних операцій. Крім того відновлений таким способом корпус при повторному потраплянні на ремонтне підприємство погано піддається пластичному деформування, що не дозволяє відновити його даним способом.

На ряді ремонтних підприємств корпус гільзують та наносять рідини на основі епоксидної смоли, рідким штампуванням.

Ремонт корпусу гільзуванням передбачає попереднє розточування під збільшений розмір. На знежирені поверхні гільз і корпуса наносять

епоксидну клейову рідину і запресовують гільзу. Потім протягом двох годин корпус висушується в сушильній шафі при температурі 180...220° С.

Недоліком даного способу являється те, що проведення розточування корпусу знижує його міцність, а наявність епоксидної клейової плівки між корпусом і гільзою порушує теплопровідність деталей, що приводить до перегрівання агрегату.

Технологія ремонту корпусу з застосуванням епоксидної композиції включає в себе операції з знежирення поверхні, нанесенням епоксидно-клейової рідини та її термічної фіксації в інтервалі температур 120...220 °С на протязі двох годин.

Недоліком цього методу є те, що процес термообробки займає багато часу і вимагає багато зусиль для ремонту корпусу. Разом з тим, частинки полімерної композиції можуть вириватись з поверхні колодязя корпусу і обумовлювати інтенсивне зношення прецизійних пар агрегатів.

Найскладніша операція-відновлення радіального зазору між вершиною зуба і стінкою колодязя корпусу. При не значних зношеннях деталей спряження корпус розточують з врахуванням зубового зачеплення в насосі.

Цей метод ремонту не був широко прийнятий, тому що ремонтні підприємства практично не мають зуборізальних верстатів, а заводи виготовлювачі шестірні з коригувальними зубами збільшеного діаметра не випускають.

Аналіз методів ремонту корпусів насосів показав, що вони потребують значних зусиль і характеризуються низькою довговічністю після ремонту. У зв'язку з цим пошук нових методів ремонту для відновлення колодязів корпусу насоса є актуальним і потребує детального вивчення.

Одним з найбільш перспективних методів відновлення, що дозволяє змінити геометричні розміри корпусу (відновити розмірний ланцюг насосного агрегату) і одночасно покращити фізико-механічні властивості корпусу для підвищення його довговічності, є використання місцевого пластичного деформування.

Реставрація валів-шестерень. У шестеренних насосів марки У вали-шестерні виготовляються з матеріалу сталь 18ХГТ, робочі поверхні цементовані на товщину 0,9...1,5 мм та загартовані 58...62 HRC.

До структурних параметрів, що формують продуктивність насоса, слід віднести геометричні розміри довжини шестерень та діаметру їх зубів. Поверхні, з не значним зношенням, ремонтуються механічною обробкою зношеної поверхні під ремонті розміри.

Якщо знос робочої поверхні яких перевищує ремонтний розмір, ремонтуються: висота і ширина зуба - контактним зварюванням порошкового матеріалу, запіканням порошкового матеріалу електричним імпульсом, цапфа – зварюванням сталевий стрічки, прасуванням, хромуванням.

Шестірні насосів зношуються як по висоті (зношення торцевих поверхонь), по вершинах зубів (зовнішній діаметр шестірні), так і по зовнішньому діаметру цапф.

Рекомендують при зношеннях шестірень по ширині й появі на їхніх торцевих поверхнях подряпин і задирів проводити шліфування поверхонь або притирання шліфувальною шкуркою зернистістю 5-6 на перевіірочній плиті.

Відновлення підшипників. Найпоширенішими методами ремонту підшипників (втулок) є пластична деформація (осадка, обтиснення, роздача) з наступною механічною обробкою. Обтиснення здійснюється під навантаженням 4,3...4,5 МПа протягом 2...3 с. Одночасно з ущільненням обробляється отвір, в якому підшипник фіксується у формі і калібрується шляхом проходження протяжки через отвір. Потім зовнішня поверхня обробляється спеціальною оправкою на токарному верстаті і обробляються торці.

Втулки насосів зношуються по внутрішньому й зовнішньому діаметрах. Їх рекомендують відновлювати осадженням. При осадженні деталь стискають під пресом у пристосуванні, виготовленому по її розміру. Діаметр оправлення, що обмежує деформацію підшипника по внутрішньому

діаметру, приймають на 0,2 мм менше розміру остаточно обробленого отвору (припуск на наступну механічну обробку).

Недоліком способу відновлення втулок осадженням є те, що відновлена деталь хоча й має необхідні внутрішній і зовнішній діаметри, але довжина її зменшується. Внаслідок цього в процесі експлуатації на внутрішню робочу поверхню підшипника збільшується питоме навантаження від рівнодіючих сил, що діють на шестірні насоса. Це спричиняє більш інтенсивне зношування відновленого підшипника, шестірень і корпусу, збільшення зазорів у з'єднаннях «цапфа шестірні – підшипник» «корпус – шестірня» і як наслідок, зниження подачі насоса нижче допустимої величини. Тому даний спосіб не знайшов широкого застосування в ремонтній практиці.

Аналіз технічного стану насоса показав, що має місце значний знос деталей качаючого вузла агрегату та корпусу насоса. При цьому, наявні методи ремонту характеризуються різною фізикою процесу і їх перевагами та недоліками.

Звідси з'являється потреба з розробленню ефективних способів відновлення ресурсолімітуючих деталей насосу до яких слід віднести корпус насосу, як корпусної деталі, яка служить основою для гідравлічного агрегату.

1.4 Аналіз методів ремонту деталей поверхневим пластичним деформуванням

Метою поверхневої пластифікації деталей є створення специфічних макро- і мікроформ, зменшення параметрів шорсткості поверхні, зміна розмірів заготовки за необхідністю і створення необхідного напруженого стану.

При відновленні колодязів корпусу насоса нас в більшій мірі цікавить застосування пластичної деформації в локальних місцях, уникаючи деформації всього корпусу.

Застосування обкаток (роликів, шарикових) при відновленні колодязів насоса в зоні контакту деформуючих елементів деталі

інтенсивність напруг перевищує поріг текучості в результаті чого відбувається пластична деформація нерівностей, змінюються фізико-механічні властивості поверхні деталі. При цьому об'ємна деформація деталі незначна, але за даним способом напрямок прикладеної сили співпадає з напрямком деформації, що не забезпечить відтворення необхідного діаметра колодязя корпусу насоса.

Алмазне вигладжування, являється різновидом поверхневої пластичної деформації, де в якості інструмента для обробітку використовують інструмент з закріпленими в державках алмазами. Сутність процесу алмазного вигладжування полягає в тому що при вигладжуванні інструмент притискається з необхідним зусиллям до оброблюваної поверхні. В процесі вигладжування поверхні в місці контакту деталі та інструменту виникають значні контактні напруги, і при певному навантаженні виникає пластична деформація поверхневого шару металу, в результаті чого знімаються мікронерівності та змінюються фізико-механічні властивості поверхневого шару металу.

До його недоліків слід віднести те, що його використовують в основному для підвищення класу чистоти поверхні і її фізико-механічних властивостей.

Відцентрова обробка поверхневим пластичним деформуванням характеризується застосуванням кульок або роликів, які розміщені в радіальних пазах диска. Диск з елементами обертається з високою швидкістю. При цьому деформуючі елементи наносять чисельні удари по поверхні деталі, пластично деформуючи її. Відцентрово-ударну обробку застосовують в основному при виготовленні деталей зі сплавів чавуну й сталі з твердістю не більше HRC 58-64.

Проведений аналіз існуючих способів проведення пластичного деформування показує, що в основному вони застосовуються для покращення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь і в меншій мірі застосовуються для зміни геометричних розмірів робочих поверхонь деталей з точки зору відновлення розмірного ланцюга.

Існуючі пристрої та оснастка, які застосовуються для реалізації пластичного деформування робочих деталей, в основному розроблені для конкретних деталей, що обумовлює їх конструкцію і вказує на спеціалізоване призначення і не дає можливості реалізовувати на деталях інших конструкцій.

1.5 Мета і задачі роботи

Аналіз літератури показує, що основними причинами відмов шестеренних насосів є: збільшення радіального зазору на з'єднанні «корпус – шестерня» внаслідок гідроабразивного зношення корпусу і шестерні; збільшення торцевого зазору через зношування торцевих поверхонь шестерні та втулок.

Сучасні методи ремонту таких з'єднань полягають у нанесенні металевого покриття на пошкоджену корозією поверхню з подальшою точною та якісною механічною обробкою. Недоліками цих методів є висока трудомісткість, вартість та енергоємність. Крім того, більшість сервісних виробництв не мають відповідної технологічної та організаційної підготовки.

Метою роботи є – забезпечення післяремонтної довговічності шестеренних насосів модифікації У удосконаленням технологічного процесу відновлення робочої поверхні корпусу насоса пластичним деформуванням.

Задачі досліджень.

1. Дослідити причини відмов шестеренних насосів, установити основні дефекти й зношення робочих поверхонь деталей.

2. Виконати теоретичні дослідження для встановлення залежності між параметрами технічного стану насосу та його об'ємними втратами.

3. Розробити спосіб і засіб відновлення колодязя корпусу насоса гідро-пластичним деформуванням.

4. Розробити технологічний процес відновлення насоса модифікації НШ-У гідросистем сільськогосподарської техніки.

5. Дати оцінку ефективності результатів проведених досліджень.

2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ НАСОСА

2.1 Вплив зносу на витік гідравлічної оливи в місці з'єднання шестерні з корпусом

У шестеренних насосних агрегатах на швидкість потоку впливає радіальний зазор між дугоподібною поверхнею корпусу і зовнішньою циліндричною поверхнею шестерні («зуб шестерні - колодязь корпусу»).

В більшості дослідженнях вважається, що більша частина об'ємних втрат гідравлічної рідини відбувається в радіальному просторі між колодязем корпусу гідронасоса і зубцями шестерень.

При цьому автор враховував зв'язок між конструктивними параметрами і втратами гідравлічної рідини для насосів певних марок, що характеризуються відповідними геометричними розмірами, і не розглядав цей зв'язок для насосів модифікації НШ-У.

Таке визначення дає змогу встановити значущість витрати робочої рідини через радіальний зазор у загальній витраті в насосному агрегаті та обґрунтувати граничні значення конструктивних параметрів технічного стану колодязів корпусу насоса, що є важливим для обґрунтування способу його ремонту.

Знос зони спряження зубів шестерні з колодязями корпусу насоса створює радіальний зазор, який можна представити у вигляді щілини, що утворюється між поверхнею колодязя корпусу та зовнішньою циліндричною поверхнею шестерні. Таку щілину можна розглядати як капілярну, що створилась між двома паралельними поверхнями. Плин рідини для неї під дією перепаду тиску $\Delta P = P_1 - P_2$ між двома паралельними пластинами можна представити за виразом:

$$d\rho \cdot dy + \rho dx \cdot dy \cdot n^2 \cdot 4\pi \cdot (r_o + x + \square x / 2) + (\tau - d\tau) dx = \tau dx , \quad (2.1)$$

де n - частота обертання ведучої шестерні;

ζ_0 - відстань від центра вала до вершини зуба;

ρ - щільність робочої рідини.

Тоді:

$$\frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_o + x/2) = \frac{d\tau}{dy}, \quad (2.2)$$

Враховуючи що $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ [2] отримаємо:

$$\frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_o + x/2) = \mu \frac{d^2 u}{dy^2}, \quad (2.3)$$

Вирішуючи рівняння (2.1) одержимо:

$$U = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_o + x/2) \right) \cdot \frac{y^2}{2} + C_1 + C_2 \quad (2.4)$$

C_1 і C_2 знаходимо з умови, що швидкість рідини U на стінках щілини дорівнює 0.

Звідси

$$U = -\frac{1}{\mu} \left(\frac{B^2}{4} + y^2 \right) \cdot \left(\frac{dP}{dx} + 4\rho n^2 \pi^2 (r_o + x/2) \right), \quad (2.5)$$

Приймаючи, зміна тиску в щілині проходить по лінійному закону отримаємо:

$$U = \frac{1}{3\mu} \cdot \frac{B^2}{4} \left(\frac{P_1 - P_2}{L} + 4\rho n^2 \pi^2 \left(r_0 + \frac{L}{2} \right) \right), \quad (2.6)$$

Тоді витрати рідини для одиниці довжини складуть:

$$Q = \frac{B^3}{12\mu} \left(\frac{P_1 - P_2}{L} + 4\rho n^2 \pi^2 \left(r_0 + \frac{L}{2} \right) \right), \quad (2.7)$$

І відповідно втрати оливи для щілини розміром W визначаються:

$$Q = \frac{W \cdot B^3}{12\mu} \left(\frac{P_1 - P_2}{L} + 4\rho n^2 \pi^2 \left(r_0 + \frac{L}{2} \right) \right), \quad (2.8)$$

Аналіз конструкції зуба шестерні показує, що на вершині зуба є плоска поверхня шириною 2 мм, а зазор, що утворюється між «зубом» і «колодязем корпусу», дорівнює довжині зазору.

Тому для аналітичного визначення витрати робочої рідини через щілину довжиною 2 мм також можна використовувати рівняння (2.8), припускаючи, що між «зубом» і «колодязем» утворюється плоска щілина довжиною 2 мм.

Розрахунок витоків робочої рідини обумовлених зазором b в щілині сполучення «зуб шестерні – колодязь корпусу» проводився за наступним даними: зазор в щілині $b = 40 \dots 150 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; довжина щілини $L = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; ширина щілини $W = 2,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; щільність оливи $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$; динамічна в'язкість $\mu = 25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; перепад тиску робочої рідини $\Delta P = 90, 110, 140 \text{ МПа}$. Результати розрахунку зведені в таблицю 2.1 і представлені графічно на рис. 2.1.

Аналіз графіків показує, що при зазорі в спряженні «зуб шестерні – колодязь корпусу» $b = 80 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, витік робочої рідини починає швидко зростати, що обумовлюється зменшенням дії облітерації, яка проявляється при мінімальних зазорах.

Таблиця 2.1 – Залежність витоку оливи від зазору і тиску в спряженні «зуб шестерні – колодязь корпусу»

Зазор при вході b , мкм	Витоки рідини см ³ /с згідно тиску		
	$\Delta P = 90 \text{ МПа}$	$\Delta P = 110 \text{ МПа}$	$\Delta P = 140 \text{ МПа}$
40	2,73	3,34	4,25
50	5,34	6,53	8,31
60	9,23	11,28	14,36
70	14,7	17,9	22,8
80	21,9	26,8	34,0
90	31,16	38,1	48,5
100	42,8	52,3	66,5
110	56,9	69,5	88,5
120	73,9	90,3	114,9
130	93,9	114,8	146,1
140	117,3	143,4	182,5
150	144,3	176,3	224,4

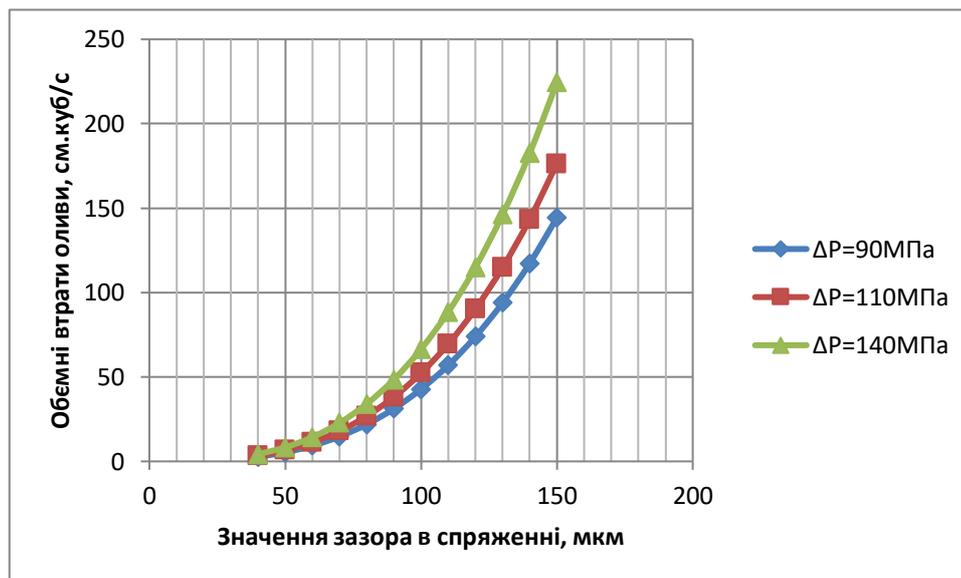


Рис. 2.1 – Аналітична залежність витоку гідравлічної рідини від зазору в спряженні «зуб шестерні – колодязь корпусу»

Для даної величини зазору витоки робочої рідини збільшуються на 35 % з ростом її тиску, від $Q = 21,9 \text{ см}^3/\text{с}$ при $\Delta P = 90 \cdot 10 \text{ МПа}$ і до $Q = 34,0 \text{ см}^3/\text{с}$ при $\Delta P = 140 \cdot 10 \text{ МПа}$, що обумовлюється зростанням швидкості перетікання оливи із зони високого тиску до зони низького.

При значення зазору $V = 150 \text{ мкм}$ при $\Delta P = 140 \text{ МПа}$ витоки робочої оливи дорівнюють $Q = 224,4 \text{ см}^3/\text{с}$, при яких коефіцієнт подачі насоса дорівнює 0,55, яке відповідає його граничному значенню. Таким чином можна припустити, що дане значення структурного параметра ($Q = 224,4 \text{ см}^3/\text{с}$) для спряження «зуб шестерні – колодязь корпусу» буде граничним.

2.2 Дослідження впливу технічного стану шестерень на технічний ресурс насоса

Детальний аналіз технологічних процесів показує, що для відновлення деталей качаючого вузла насоса використовувалися різні методи. Це підтверджується аналізом наявних методів і способів ремонту.

Особливістю використовуваних методів ремонту є те, що ремонтні підприємства використовують метод ремонтних розмірів для ремонту валів шестерень у шестеренних насосів модифікації НШ-У.

Валшестерня ремонтується шляхом шліфування зношених поверхонь (шийок шестерень, торець зуба і діаметр зубів) до ремонтних розмірів. Поверхні сполучених деталей також ремонтуються шляхом формування металевих шарів або встановленням ремонтних деталей.

Очевидно, що якість і довговічність ремонту насоса залежить від методу визначення ремонтних розмірів і точності обробки відремонтованих деталей, а також від фізико-механічних властивостей нанесеного покриття.

Тому довговічність відремонтованого насоса в основному визначається якістю механічної обробки зношених поверхонь, тобто деталей, оброблених

до ремонтного розміру без нарощування зношених поверхонь шестерень. Неправильна механічна обробка шестерень призводить до зменшення подачі насоса. Це означає, що якщо одна з шестерень в комплекті має «послаблений» розмір, вона може бути забракована.

У цьому контексті розглянемо взаємозв'язок між геометричними розмірами зубчастих коліс, оброблених під ремонтний розмір, і їх технічним ресурсом після ремонту.

Розміри шестерень, отримані в результаті механічної обробки, визначають термін служби (довговічність) насоса.

Для того, щоб визначити взаємозв'язок між геометричними розмірами шестерні, обробленої під заданий ремонтний розмір, і технічним ресурсом відремонтованого насоса, необхідно виконати наступні умови: відремонтована поверхня деталі насосного агрегату забезпечує ланцюг розмірів поверхонь з'єднання згідно з технічними вимогами; зносостійкість з'єднання однакова.

Обробка шестерні до ремонтного розміру характеризується зменшенням діаметра верхнього кола зуба і ширини зуба, що призводить до зменшення робочого об'єму насосного агрегату і, як наслідок, до зменшення теоретичної подачі відремонтованого насоса.

Залежно від типу гідравлічної системи існує мінімальна межа подачі, за якою подальша експлуатація гідравлічного насоса є небажаною. Як для нових, так і для відремонтованих насосів, гранична подача насоса за один оберт може бути виражена наступним рівнянням:

$$q_{t\text{гран.}} = q_t \cdot K_{Q\text{гран}} = q_{tp} \cdot K_{Qp\text{гран}} \quad (2.9)$$

де $q_{t\text{гран.}}$ – гранична подача за один оберт шестерні нового насоса, см³/об;

q_t – теоретична подача за один оберт шестерні нового насоса, см³/о

q_{tp} – теоретична подача за один оберт шестерні відремонтованого насоса, см³/об.

$K_{Q_{гран}}$ – граничний коефіцієнт подачі нового насосу,

($K_{Q_{гран}} = 0,50 - 0,55$) при його насос відправляють в ремонт;

$K_{Q_{ргран}}$ – граничний коефіцієнт подачі відремонтованого насоса, при якому він направляється до ремонту.

Теоретична подача відремонтованого і нового насосів може бути визначена за наступним рівнянням:

$$q_{тp} = 2 \cdot \pi \cdot B_p \left(R_{с.р}^2 - r^2 - K \frac{t_0^2}{12} \right) \quad (2.10)$$

де B_p – ремонтний розмір ширини шестерні, см;

$R_{с.р}$ - розмір кола шестерні під ремонтний розмір см;

r - початковий розмір утворюючої зуба, см;

K – показник зачеплення;

t_0 – інтервал зубів, см.

Знайдемо згідно (2.9) $K_{Q_{ргран}}$:

$$K_{Q_{ргран}} = \frac{q_t}{q_{т.р}} \cdot K_{Q_{гран}} \quad (2.11)$$

Згідно (2.4) маємо, що $K_{Q_{ргран}} \succ K_{Q_{гран}}$, тобто наробіток ремонтного насоса буде меншим в порівнянні з новим, за умови рівних питомих подач на одиницю наробітку.

Звідси можна записати:

$$\frac{K_Q - K_{Q_{гран}}}{T} = \frac{K_Q - K_{Q_{ргран}}}{T_p}, \quad (2.12)$$

З (2.12) ресурс ремонтного насоса визначиться за виразом:

$$T_p = \frac{K_{Qp} - K_{Qp_{гран}}}{K_Q - K_{Q_{гран}}} \cdot T, \quad (2.13)$$

де T, T_p – технічні ресурси нового і ремонтного насосів відповідно;

K_{Qp} – коефіцієнт подачі відремонтованого насоса, ($K_{Qp} \geq 0,90$).

Замінімо значення $K_{Qp_{гран}}$ виразом (2.11) та підставимо значення коефіцієнтів K_Q та K_{Qp} , і визначимо технічний термін служби відремонтованого насоса, виходячи з терміну служби нового насоса:

$$T_p = \left(4,18 - 3,18 \frac{q_t}{q_{t.p}} \right) \cdot T, \quad (2.14)$$

Аналіз рівняння (2.14) показує, що технічний ресурс відремонтованого насоса функціонально сильно залежить від величини q_t , яка визначається рівнянням (2.10).

Отже, якщо відома функціональна залежність між геометричними розмірами шестерень (ширина шестерні, окружність головки і початкова окружність) і теоретичним значенням ($q_{t.p}$) витрати на один оберт шестерні насоса після ремонту, то технічний ресурс (довговічність) насоса можна визначити за формулою (2.14).

Застосування способу ремонтних розмірів для відновлення насосу передбачає шліфування валів-шестерень до відповідного ремонтного розміру. Є явним, що ремонтні розміри шестерень в насосному агрегаті будуть впливати на післяремонтний їх наробіток. Геометричні розміри шестерень наведені в (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Геометричні розміри шестерень

Вид стану насоса	Розмір круга шестерні ($R_{с.р}$), мм	Начальний розмір утворюючої зуба (r), мм	Ремонтний розмір ширини шестерні (B_p), мм
Шестеренний насос - 50V			
Агрегат в стані поставки	29,9	24,7	31,0
Агрегат відремонтований P1	29,85	24,7	30,82
Агрегат відремонтований P2	29,8	24,7	30,62
Шестеренний насос - 32 У			
Агрегат в стані поставки	29,9	24,7	19,85
Агрегат відремонтований P1	29,85	24,7	19,62
Агрегат відремонтований P2	29,8	24,7	19,42

Використовуючи значення наведених вище типорозмірних параметрів шестерень, були проведені розрахунки для визначення теоретичної подачі насоса після ремонту та терміну служби насоса після ремонту. Результати розрахунків представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові значення взаємозв'язку структурних параметрів валів – шестерень з подачею агрегату та його напрацюванням

Вид стану агрегату	Структурний параметр		Аналітична подача агрегату (q_m), см ³ / об	Наробіток агрегату, год.
	Розмір шестерні за шириною, мм	Розмір шестерні за діаметром, мм		
Шестеренний насос - 32 У				
Агрегат в стані поставки	19,85	59,8	32,0	3500
Агрегат відремонтований P1	19,62	59,7	31,35	3260
агрегат відремонтований P2	19,42	59,6	30,72	3030
Шестеренний насос - 50V				
Агрегат в стані поставки	31	59,8	50,0	3500
Агрегат відремонтований P1	30,82	59,7	49,24	3325
Агрегат відремонтований P2	30,62	59,6	48,45	3140

Розрахункова залежність між теоретичною подачею q_T насоса, яка обумовлена його технічним станом і технічним ресурсом представлена на рис. 2.3 і 2.4.

Із аналізу аналітичних досліджень видно, що перешліфування шестерень насоса до першого ремонтного розміру (P1), що відповідає теоретичній подачі насоса НШ-32У ($q_t = 31,35 \text{ см}^3/\text{об}$), технічний ресурс насоса скорочується на 7,0%.

Для насоса НШ-50У при перешліфуванні його шестерень під перший ремонтний розмір (P1) подача становить ($q_t = 49,24 \text{ см}^3/\text{об}$), а ресурс зменшиться на 5 %. При шліфуванні шестерень під другий ремонтний розмір (P2) ресурс насосів відповідно зменшиться – на 13 % для насоса НШ-32У і на – 10 % для насосу НШ-50У.

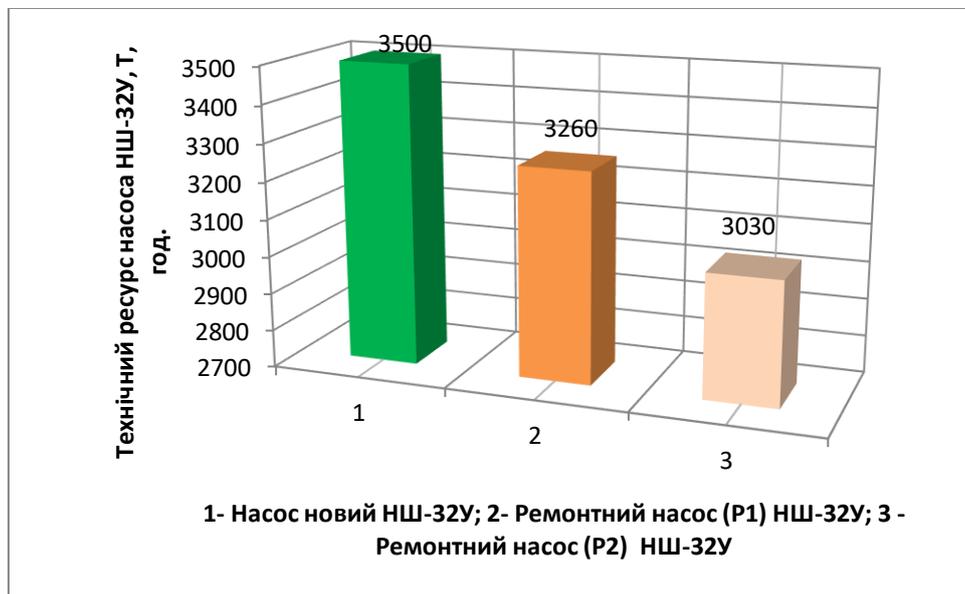


Рис. 2.3 – Залежність технічного ресурсу насоса НШ-32-2А від теоретичної подачі насоса: 1 – насос новий; 2 – насос відремонтований під перший ремонтний розмір (P1); 3 – насос відремонтований під другий ремонтний розмір (P2).

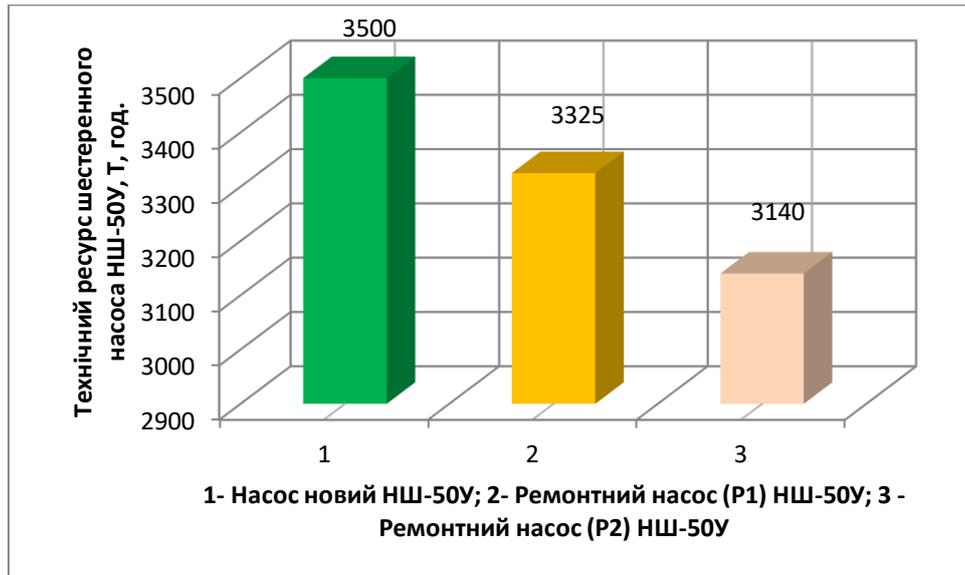


Рис. 2.4 – Залежність технічного ресурсу насоса НШ-50-2А від теоретичної подачі насоса: 1 – насос новий; 2 – насос відремонтований під перший ремонтний розмір (P1); 3 – насос відремонтований під другий ремонтний розмір (P2)

Отримані результати також показують, що у насоса розміру НШ-50У зміна ресурсу має менші показники в порівнянні з насосом НШ-32У, що обумовлюється геометричними параметрами ширини шестерні.

Таким чином, результати теоретичних досліджень показують, що відхилення геометричних розмірів валів шестерень від їх номінальних значень, в результаті процесу механічної обробки, призводять до зниження вихідних функціональних параметрів насоса і скорочення запланованого технічного ресурсу.

Висновок по розділу.

1. При зазорі $B = 80 \text{ мкм}$ в спряженні «зуб шестерні-колодязь корпусу» витоки робочої рідини починають різко збільшуватися, що обумовлюється зменшенням дії облітерації, яка особливо проявляється при мінімальних зазорах в щілині. Витоки робочої рідини також збільшуються з ростом тиску робочої рідини, що обумовлюється зростанням швидкості перетікання оливи із зони високого тиску до зони низького.

2. При значення зазору $B = 150 \text{ мкм}$ і робочому тиску $\Delta P = 140 \text{ МПа}$ витоки оливи дорівнюють $Q = 224,4 \text{ см}^3/\text{с}$, при яких коефіцієнт подачі насоса

дорівнює 0,55, який відповідає його граничному значенню, що вказує на граничне значення даного зазору за структурним параметром.

3. При обробці шестерень насоса до першого ремонтного розміру (P1), що відповідає теоретичній подачі насоса НШ-32У ($q_t = 31,35 \text{ см}^3/\text{об}$), технічний ресурс насоса скорочується на 7,0%, а для насоса НШ-50У ресурс зменшиться на 5 %. При шліфуванні шестерень під другий ремонтний розмір (P2) ресурс насосів відповідно зменшиться – на 13 % для насоса НШ-32У і на – 10 % для насосу НШ-50У.

4. Теоретичні дослідження показують, що відхилення геометричних розмірів валів шестерень від їх номінальних значень, в результаті процесу механічної обробки, призводять до зниження вихідних функціональних параметрів насоса і скорочення запланованого технічного ресурсу.

3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1 Комплексна програма і методичні основи експерименту

Весь обсяг експериментальних робіт розділено на наступні етапи.

На першому етапі було проаналізовано причини відмов насосів та режиму їх роботи. Це дозволило сформулювати вимоги до довговічності та ремонтпридатності відновлених агрегатів. Аналізуються способи ремонту гідроагрегатів та методи відновлення їх складових.

Другий етап досліджень розглядав на аналітичному рівні залежність витoku оливи від зазорів в парах тертя гідронасоса та взаємозв'язок між ремонтними розмірами деталей та гарантійним ресурсом відремонтованих агрегатів.

На третьому етапі були проведені стендові випробування насосів, дефектоскопічний аналіз та мікрометричні дослідження. Розробка інструменту для ремонту колодязів корпусу гідро пластичним деформуванням. Лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей робочих поверхонь корпусу насоса, відновлених пластичним деформуванням.

Четвертий етап був присвячений розробці технологічного процесу відновлення корпусу насоса з застосуванням гідро-пластичного деформування та епоксидної композиції. На останньому етапі проведена розробка технології ремонту насоса й оцінка її техніко-економічної ефективності.

3.2 Визначення зношення основних деталей спряжень насоса

Метою цього дослідження є вивчення характеру, дефектів і величини зносу деталей насоса, а також загальних закономірностей розподілу значень зносу.

Характер і ступінь зносу деталей насосів визначають за допомогою мікрометрії, запису характеристик поверхні та фотографування робочих поверхонь.

Як вимірювальний прилад для цапф валів-шестерень застосовувався мікрометр МК 25-50 з похибкою 0,01 мм. Для виміру зовнішніх діаметрів шестерень і втулок застосовували важільну скобу ВС 50-100 з похибкою 0,01 мм. Вимірювання внутрішніх діаметрів в корпусі насоса і втулках проводилось з застосуванням нутромірів відповідно НІ 50-100 і НІ 18-50 з похибкою 0,002 мм.

Після розбирання деталі насоса були промиті, висушені і промарковані. Дефекти поверхні деталі (подряпини, розводи, задирки) були виявлені при зовнішньому огляді поверхні. Вимірювання проводилися індивідуально для кожного насоса, що запобігало знеособлення пари тертя. Еліптичність визначали шляхом вимірювання зубчастих коліс в двох взаємно перпендикулярних площинах, а конусність визначали в двох перетинах. Зовнішній діаметр шестерні вимірювали в 4-х перерізах та 2-х площинах.

Діаметри колодязів вимірялись в зоні веденої і ведучої шестерень. Знос робочої поверхні корпусу вимірюється за допомогою індикаторної головки тип I MIG з ціною поділки 0,001 мм, закріпленої на магнітній підставці і оснащеної спеціальним наконечником голки. Суть методу вимірювання зносу полягає в тому, що кінчик голки індикаторної головки встановлюється на незношену деталь. Потім деталь переміщується в бічному напрямку. Відхилення голки вказує на знос деталі.

3.3 Пристрій для експериментального аналізу взаємозв'язку параметрів насоса

Для того, щоб дослідити функціональну залежність між структурними параметрами технічного стану насоса та об'ємною подачею робочої рідини, необхідно визначити об'ємну подачу насоса, яка визначається з рівняння:

$$\eta = q_{\phi} / q_m, \quad (3.1)$$

де q_{ϕ} - отримана подача агрегату, $см^3/об$;

q_m - конструктивна подача агрегату (*НШ – 32У* - $q_m = 32,0 \text{ см}^3/об$,
НШ – 50У - $q_m = 50,0 \text{ см}^3/об$).

Для визначення коефіцієнта подачі гідронасоса треба знати значення його дійсної подачі. Її отримують експериментально з застосуванням спеціального обладнання марки КІ-4815М. Методика визначення фактичної подачі насоса аналогічна методиці, яка застосовується для проведення випробувальних робіт шестеренних насосів на сервісних підприємствах.

Загальна схема установки гідроагрегату на стенд КІ-4815М наведена на рисунку 3.1. Розташування контрольних та вимірювальних пристроїв показано на рисунку 3.2.



Рис. 3.1 – Фіксація гідронасоса НШ-50У на установці КІ-4815М

Основою стенда являється зварна рама, яка облицьована листовим металом, що дозволяє закріпити на ньому контрольні і вимірювальні

пристрої. Робота агрегатів здійснюється завдяки клинопасовій передачі через електричний двигун потужністю 22 кВт. Гідравлічна схема станда складається з головного контуру, для визначення технічного стану агрегатів, та допоміжного, для очищення робочої рідини установки.



Рис. 3.2 – Контрольні та вимірювальні пристрої установки KI-4815M :
 1 – кнопки керування; 2 – дросель; 3 – ручка лічильників; 4 – лічильник рідини; 5,8 – манометри; 6 – термометр; 7 – датчик частоти обертання

Тестовий період випробування становить 50...60 год., оскільки для цього інтервалу роботи вже спостерігається прискорене зношення деталей, а також приробіток спряжень.

Всі агрегати перед вхідними стендовими випробуваннями зазнали

зовнішнє очищення та діагностику на пряму. При наявності у корпусах пошкоджень, слідів розбирання агрегатів та їх не комплектності вони відправлялись на розбирання.

Дійсну подачу агрегату визначали при температурі оливи 50 ± 5 °С, частоті обертання привідного валу - 1200 хв^{-1} , тиску в головній магістралі 10,0 МПа для НШ-32У і 14,0 МПа відповідно НШ-50У .

Для перевірки було обрано 2 ділянки шкали у рідинного лічильника, які відмічають початок та кінець відліку. Коли стрілка проходила через ділянки, що відповідають початку і кінцю відліку, лічильник імпульсів вмикався і вимикався тумблером. Сумарна швидкість (імпульси) і контрольний об'єм рідини використовувалися для визначення фактичної подачі насоса (продуктивності).

Для виявлення впливу радіального зазору в качаючому вузлі агрегату на фактичну подачу проводилось його фізичне моделювання. Для цього проводиться мікрометраж колодязів насосу, що були в експлуатації, а комплект шестерень мав постійний розмір по діаметру. Це дозволило встановити інтервальний ряд зміни зазору, який представлено в табл. 3.1.

З метою уникнення впливу торцевого зазору на результати досліджень його встановлювали постійним згідно технічних вимог.

Таблиця 3.1 – Значення радіального зазору у насоса НШ-32У

Номер насосу	Радіальний зазор, мм
1.0	0,040
2.0	0.048
3.0	0.056
4.0	0.064
5.0	0.074
6.0	0.084
7.0	0.094
8.0	0.104
9.0	0.114
10.0	0.124
11.0	0.134
12.0	0.144
13.0	0.154

Після визначення фактичної подачі насоса його розбирають і для наступного фізичного моделювання зазору підбирають корпус з іншим зношенням колодязя, залишаючи без змін шестерні качаючого вузла.

3.4 Методика відновлення колодязя корпусу насоса локальним пластичним деформуванням

Для відновлення радіального зазору в качаючому вузлу насоса передбачається відновлення колодязя корпусу гідро-пластичним деформуванням.

Попередньо бокові поверхні колодязів корпусу насоса піддають поверхневному пластичному деформуванню за допомогою спеціальної оправки з корончатими видавлювачами, що розміщуються по її діаметру через 45° і здійснюють рух за рахунок гідравлічного удару (рис. 3.3).

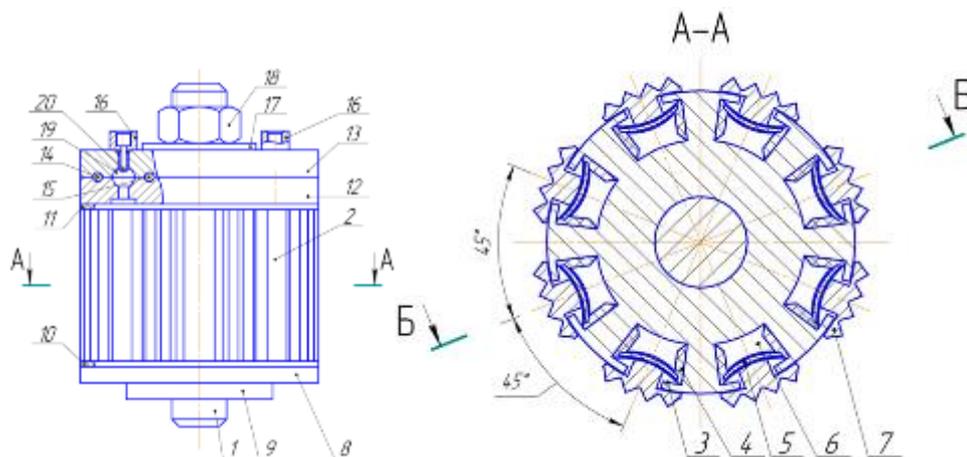


Рис. 3.3 – Оправка з корончатими видавлювачами: 1.. – стрижень; 2. – основа; 3 – вибірки; 4 – ущільнювачі; 5. – пружні металеві пластини; 6. – гідравлічні порожнини; 7. – корончатий втискач; 8 – ущільнювач; 9 – кільце пластинчатє; 10, 11 – парафінові укладки; 12 – розподільувач; 13 – верхня криша; 14, 15 – кільцеві ущільнювачі; 16 – приєднувач; 17 – шайби; 18 – гайки.

Оправка складається з валу 1, на якому в пазу 3 розміщений циліндричний корпус 2, на якому розміщена манжета 4, манжета 4 виконана з пружно-демпфуючого матеріалу і включає пружну сталеву пластину 5, що утворює камеру 6 для гідропластичної деформації під дією гідравлічного удару. Корончастий вдавлювач 7 постійно з'єднаний з манжетою 4. На ній передбачено ущільнення 11, на якому розміщено розподільник 12 і ковпак 13, ущільнення з'єднання забезпечується ущільнювальними кільцями 14 і 15. У кришки 13 є штуцер 16, через який підводиться і зливається олива.

Гідропластична оправка вводиться в колодязь корпусу насоса свердловину, який закріплюється в спеціальному пристрої концентрично його осі. Потім робоча рідина подається в гідроімпульсному режимі в штуцери 16 ковпака 13, розподіляється плоским розподільником 12 в камеру гідропластичної деформації 6, яка разом з корончастим вдавлювачем 7 переміщує манжету 4 до робочої поверхні колодязя в корпусі насоса, де під дією тиску відбувається пластична деформація. В результаті матеріал у колодязі насоса переміщується до порожнини корончатого вдавлювача 7 у напрямку, який зменшує внутрішній діаметр колодязя. Коли гідравлічний вплив закінчується, пружна сталеві пластина 5 повертається у вихідне положення і забезпечує виведення корончатого вдавлювача 7 з колодязя корпусу насоса.

Поверхнево-пластична обробка корпусу виконувалась за наступними ступенями деформування (20 %, 40 %, 60 %). Ступінь деформації визначали виходячи із врахування деформації на границю текучості матеріалу (ε_T) і миттєвого навантаження ($P_{роб}$). Тобто процеси пластичної деформації виникнуть при умові $P_{роб} \succ \varepsilon_T$. Тоді для отримання 20% ступеня деформації необхідно збільшити робоче навантаження ($P_{роб}$) на 20%. Так для алюмінієвого сплаву ($\varepsilon_T \approx 20 \text{ кгс/мм}^2$). Корпус насоса виготовлено із алюмінієвого сплаву АК9М2 литтям в кокіль без термічної обробки.

Поверхня корпусу, оброблена пластичною деформацією, підлягає знежиренню та нанесенню полімерного композитного шару, який термофіксується за температурою 120-200°C.

Нарощена поверхня корпусу підлягає механічній обробці (розточування) до номінального чи одного з ремонтних розмірів. В результаті проведених відновлювальних операцій поверхня колодязя має добрі показники зносостійкості за рахунок появи явища наклепу, який з'являється в процесі виконання поверхневого пластичного деформування.

Водночас, застосування полімерної композиції з наповнювачем алюмінієва пудра, дає можливість забезпечити суцільність відновлюваної поверхні і в цілому отримати поверхню колодязя, яка відповідає ремонтним кресленням. Гідро-пластичне деформування характеризується швидкістю протікання процесу деформації.

3.5 Методика визначення зносостійкості рухомого з'єднання

Застосування поверхневої пластичної деформації, для відновлення внутрішньої поверхні корпусу насоса, потребує, на технічному рівні проведення досліджень з визначення фізико-механічних властивостей отриманих поверхонь тертя. Методика їх визначення потребує застосування зразків з матеріалу корпусу (алюміній АК9М2) і контрзразків з матеріалу вала-шестерні (сталь 40Х) для їх випробування на машині тертя МТУ-01 (рис. 3.4).



Рис. 3.4 – Універсальна машина МТУ-01

Спосіб випробування передбачає взаємне переміщення притиснутих один до одного зразків, що випробовуються. Переміщення відбувається при сухому терті і терті з застосуванням мастильного матеріалу під певним навантаженням. Схема контакту представлена на (рис. 3.5): торцева поверхня трьох роликів (контрзразки, виготовлені із сталі 40X), які обертаються і нерухомого диска (зразок, який виготовлявся із алюмінієвого сплаву АК9М2 і пластично оброблювався з різним ступенем пластичного деформування). Випробовувалися наступні рухливі з'єднання: «сталь 40X – алюміній АК9М2», «сталь 40X – пластично оброблений алюміній АК9М2 з різним ступенем пластичного деформування».

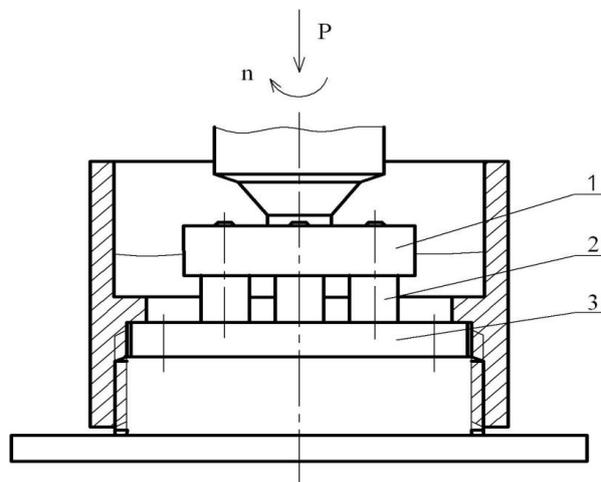


Рис. 3.5. – Схема контакту зразків при випробуванні [10]: 1 – оправка для контрзразків; 2 – контрзразок; 3 – зразок

Контрзразки виготовлялись зі сталі 40X, твердість HRC 50-55, шорсткість поверхні $R_a=0,32\text{мкм}$ (рис 3.5, поз. 2). Матеріал для виготовлення зразків (рис. 3.5, поз. 3) – сплав АК9М2.

Випробування починались зі створення періоду приробітку пар тертя з поступовим підвищенням загрузки з 20 Н до 200 Н через кожні 20 Н. Вони закінчувались при появі стабілізаційних процесів тертя в з'єднанні.

Контроль сили тертя здійснювали за допомогою тензодатчика (рис. 3.5). Приробіток проводився з застосуванням оливи МГ-10Г₂.

Інтегральне зношення зразку і контр зразку визначалось за їх вагою після зважування на настільних терезах Setra E-500 з похибкою 0,002 г .

Перед зважуванням на вагах зразок і контрзразки очищали на протязі 15 хв. у бензині, після цього просушували на протязі 40 хв. в термічній печі СНОЛ- 16, в інтервалі температур 60...70°C . Контроль зносу здійснювали через кожні 10 годин проведених випробувань. За еталон порівняння приймалося рухливе з'єднання «сталь 40Х - алюміній АК9М2».

Швидкість зношування рухливого з'єднання визначали виходячи з формули:

$$V = \frac{U_k + U_z}{T} \quad (3.2)$$

де U_k - знос контртіла, мг ;

U_z - знос зразка, мг ;

T - тривалість випробувань, год.

Зносостійкість рухливого з'єднання розраховували за формулою:

$$U = \frac{1}{V}, \quad (3.3)$$

Випробування зразків на зношування тривало 50 год., при цьому контактний тиск складав 2,0 МПа, а швидкість ковзання 1,0 м/с, ці параметри вибрані відповідно до технічних вимог.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати приймальних стендових випробувань насосів

Для визначення характеристик насосів, що надійшли на ремонт, проводився їхній вхідний стендовий контроль, згідно з наведених методик.

Результати показали, що 25 з 60 насосів, які пройшли стендові випробування, мали нульові вихідний тиск і подачу, 17 насосів розвивали тиск до 10,0 МПа, 3 насоси розвивали тиск від 10,0 МПа до 12,0 МПа, від 12 МПа до 13 МПа 4 насоси та 2 насоси розвивали тиск понад 13 МПа із середнім коефіцієнтом подачі 0,72. Лише сім насосів розвивали номінальний тиск на виході із середнім коефіцієнтом подачі 0,77, але показали середнє падіння тиску 5,0 МПа в процесі контролю.

Насоси, що надійшли на ремонт, 85,45 % розвинули тиск нижче номінального значення. Із загальної кількості насосів в 10,91% насосів коефіцієнт подачі рідини менш гранично припустимого значення рівного 0,65; останні 12,73% насосів мають коефіцієнт подачі більш 0,65, однак їх ресурс свідомо менше міжремонтного.

Можна зробити висновок, що 85,45% насосів, відправлених в ремонт, мають тиск нижче номінального значення. Із загальної кількості насосів 10,91 % мають витрату рідини нижче гранично допустимого значення 0,65, решта 12,73 % мають витрату вище 0,65, але термін служби явно менший, ніж міжремонтний період.

Таким чином після проведення операцій вхідного контролю гідронасосів, відповідно до стандартів подачі оливи, лише 12,73 % агрегатів потрапили до ремонту не обґрунтовано.

Після перевірки на вході всі агрегати були відправлені на первинний контроль, що дало можливість визначити основну причину несправності.

Найбільш проявлені види зношення робочих поверхонь деталей шестеренного насоса показано на (рис. 4.1, 4.2, 4.3.).

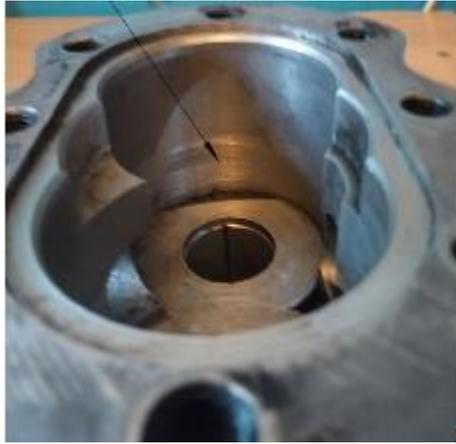


Рис. 4.1 – Поверхня колодязя зі слідами гідроабразивного зносу



Рис. 4.2 – Поверхня втулки насоса зі слідами гідроабразивного зносу



Рис. 4.3 – Гідроабразивне зношування поверхонь шестерень насоса

Аналіз технічного стану робочих поверхонь деталей насоса вказує на досить помітні сліди спрацювання поверхонь, яке виникає під впливом гідроабразивного зношення.

Зношення внутрішньої поверхні колодязя і внутрішнього отвору втулок проходить нерівномірно, це пов'язано з різницею тиску в забірній та нагнітальній магістралі качаючого вузла насосу, яка призводить до зміщення шестерень в бік найменшого тиску і як слід, еліпсоподібного спрацювання отворів втулок верхнього та нижнього поясу насосу.

Слід відмітити, що найбільш характерним та вагомим місцем спрацювання є внутрішня поверхня колодязя, яка змінюється під впливом гідроабразивного спрацювання і призводить до збільшення радіального зазору між стінкою колодязя та вершиною шестерні. Зміна структури даної поверхні приводить до росту витоків оливи до зони низького тиску і відповідно зменшення подачі агрегату. На робочих поверхнях шестерень (веденої та ведучої) досить чітко проявляються сліди гідроабразивного спрацювання на цапфі шестерні та торцевій частині зубів.

Проведений аналіз характеру та виду зношення деталей качаючого вузла насосу показав на те, що в більшій мірі має місце гідроабразивне спрацювання деталей, яке характеризується технічним станом робочої рідини на якій працюють насоси. У табл. 4.1 наведено основні дефекти та заходи з їх видалення.

Табл. 4.1 – Наявні несправності деталей насосів марки У

Наявні несправності	Статистична поява несправності		Заходи усунення несправностей
	кількісна	%	
Зношення колодязя корпусу	1,00	100	Внутрішнє гідро-пластичне деформування
Знос торців шестірень	0,91	91	Перешліфовка до ремонтного розміру
Знос внутрішньої поверхні втулки	0,77	77	Розгортання до ремонтного розміру
Знос цапф шестерень	0,86	86	Доведення, гальванічне натирання
Деформація корпусів	0,09	9	Вибраковка
Зношення різьблення	0,14	14	Нарізування ремонтного різьблення
Зношування ущільнень	0,86	86	Постановка нових ущільнень

Детальний аналіз несправностей шестеренних насосів марки У показує, що максимальному зношуванню підпадають деталі, виготовлені з алюмінієвого сплаву, що обумовлює радіальне зношення отворів корпусу та підшипників ковзання.

4.2 Результати впливу пластичного деформування на зношення пари тертя «Сталь-алюміній»

Результати проведених досліджень, згідно методики представленої в розділі 3, впливу поверхневої пластичної деформації (ППД) на тертя і знос алюмінію і сталі при різних ступенях попереднього зміцнення алюмінію, режимах вантаження і середовищах представлені в таблиці 4.2 та на (рис. 4.4, 4.5).

Таблиця 4.2 – Результати зносу алюмінію (Ал-9) при сухому терті з $P = 0,2 \text{ МПа}$ (матеріал валу – сталь 40Х) від швидкості ковзання і ступеня пластичної деформації

№ досліджу	Швидкість ковзання, V , м/с	Зношення алюмінію Ал-9 в мг/см ² від ступені деформації на границю текучості алюмінію (ε_T), %			
		0	20	40	60
1	0,3	2,3	1,8	1,2	0,8
2	1,0	8,2	6,2	4,1	1,8
3	2,0	4,1	3,0	2,6	2,1
4	2,0	3,8	2,8	2,5	2,0
5	3,0	4,2	3,1	2,8	2,5
6	4,0	5,0	4,1	3,9	3,6
7	5,0	5,7	5,1	4,9	4,7

На рис. 4.4 приведені результати залежності попередньо продеформованого алюмінію від швидкості ковзання при терті поверхонь, які не змащуються.

Для алюмінію, який характеризується високою енергією дефектів в стані поковки, характерним являється підвищена схильність до схоплювання.

Застосування пластичного деформування значно знижує процеси схоплювання.

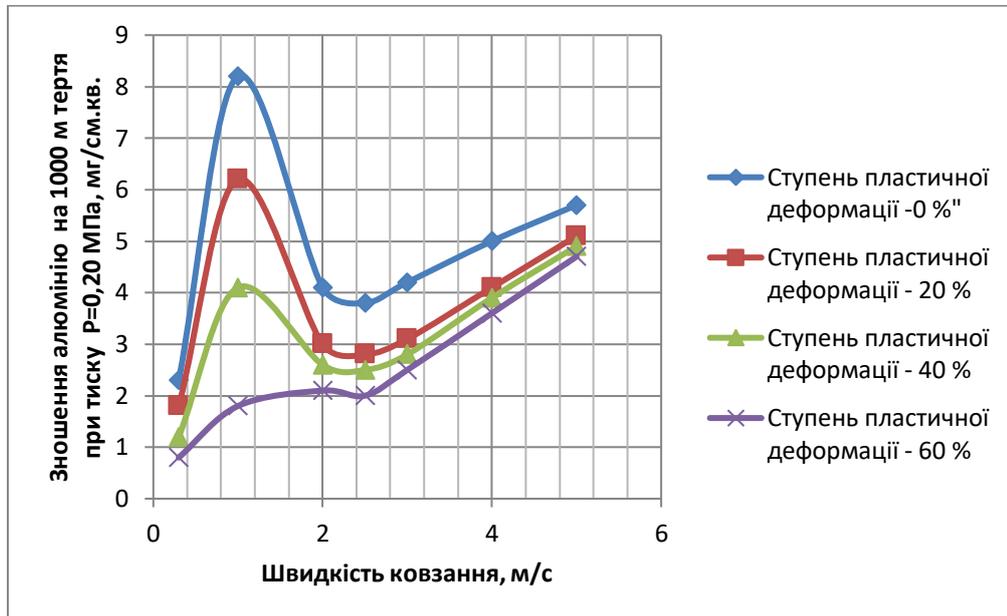


Рис. 4.4 – Залежність зносу алюмінію при сухому терті з $P = 0,20$ МПа (матеріал валу – сталь 40X) від швидкості ковзання і ступеня пластичної деформації, %: 1 – 0; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60.

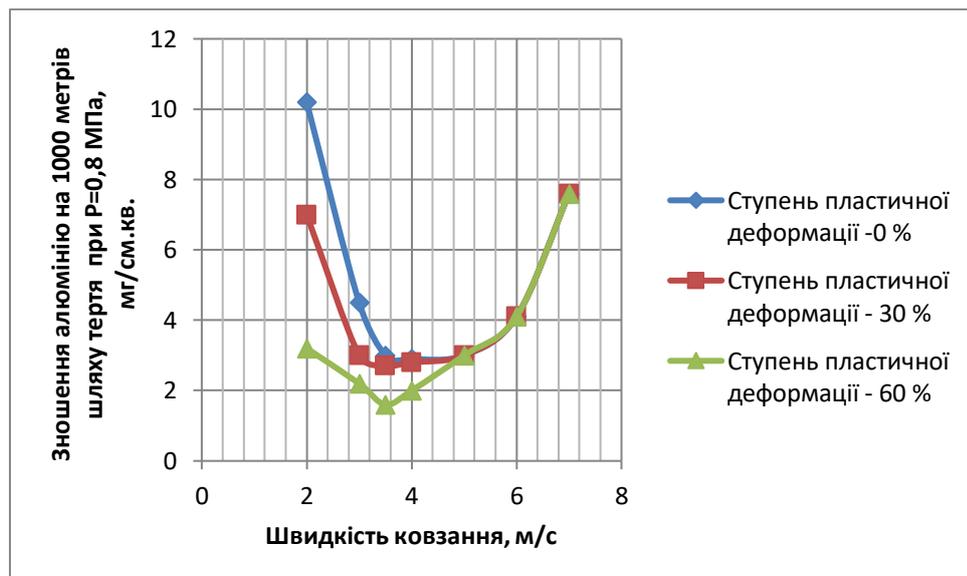


Рис.4.5 – Залежність зносу алюмінію при терті з мащенням при $P=0,8$ МПа (матеріал валу – сталь 40X) від швидкості ковзання і ступеня пластичної деформації, %: 1 – 0; 2 – 30; 3 – 60

Поверхні тертя, що працюють без змащення, для інтервалу швидкості ковзання 0,3-0,2 м/с мають знос зразка виготовленого з алюмінієвого сплаву і обробленого поверхневою пластичною деформацією зменшився в 4 рази. Мінімальний знос спостерігається для ступеня пластичного деформування- 60 %, це обумовлюється швидкісним процесом деформації, який формує мілко дисперсну кристалеву решітку.

Даний ефект є і при роботі пари тертя в умовах граничного мащення при малих швидкостях, який підтверджується результатами досліджень, що представлені в таблиці 4.3 та на (рис. 4.5).

Таблиця 4.3 – Результати зносу алюмінію (Ал-9) при терті з мащенням при $P = 0,8 \text{ МПа}$ (матеріал валу – сталь 40Х) від швидкості ковзання і ступеня пластичної деформації

№ досліду	Швидкість ковзання, V , м/с	Зношення алюмінію Ал-9 в $\text{мг}/\text{см}^2$ від ступеню деформації на границю текучості алюмінію (ε_T) в відсотках		
		0	30	60
1	2,0	10,2	7,0	3,2
2	3,0	4,5	3,0	2,2
3	3,5	3,0	2,7	1,6
4	4,0	2,9	2,8	2,0
5	5,0	3,0	3,0	3,0
6	6,0	4,1	4,1	4,1
7	7,0	7,6	7,6	7,6

Вплив поверхневої пластичної деформації на фізико-механічні властивості відновленої поверхні колодязя корпусу досліджувався через знос алюмінієвих зразків і сталевих контрзразків для пари тертя «колодязь корпусу – вершина зуба шестерні»: «еталонних» – «алюміній Ал-11 – сталь 40 Х», відновлених: «алюміній Ал-11, поверхнево-пластична роздача з наповнювачем епоксидною композицією – сталь 40 Х».

Результати припрацювання пар тертя представлені на (рис. 4.6) та (рис. 4.7).

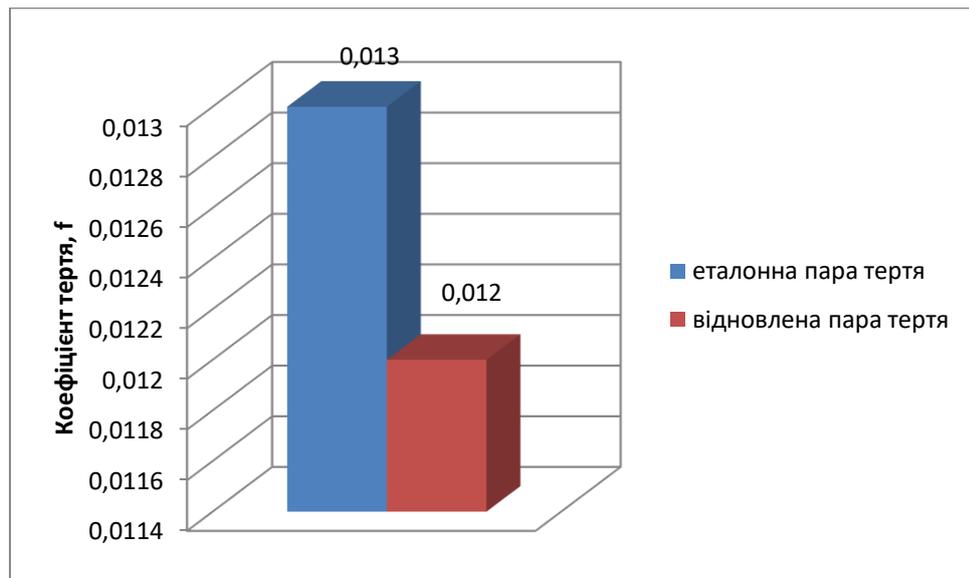


Рис. 4.6 – Мінімальні коефіцієнти пари тертя «колодязь корпусу – зуб шестерні»: 1 – «еталонних» – «алюміній Ал-11 – сталь 40 X»; 2 – відновлених – «алюміній Ал-11, поверхнево-пластична роздача з наповнювачем епоксидною композицією – сталь 40 X»

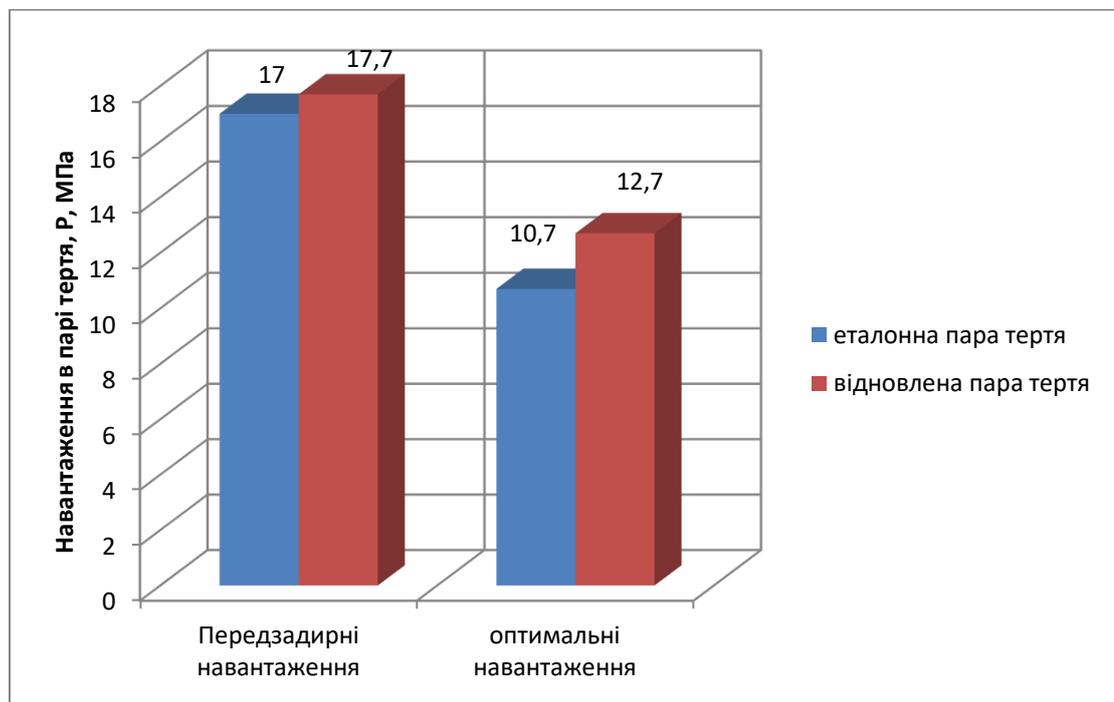


Рис. 4.7 – Передзадирні і оптимальні навантаження для «еталонної» і відновленої пари тертя

Аналіз результатів представлених на (рис. 4.6) виявив, що у спрєження, «сплав Ал-11, поверхнево-пластична роздача з наповнювачем епоксидною

композицією – сталь 40Х» значення мінімального коефіцієнта тертя на 8 % є меншим в зрівнянні з стандартним з'єднанням «сплав Ал-11 – сталь 40Х». Це пояснюється наявністю прошарків полімерної композиції на робочій поверхні колодязя корпусу, що зменшує адгезію в парі тертя і обумовлює мінімальний коефіцієнт тертя.

Аналіз представлених гістограм (рис. 4.7), які на кількісному рівні показують значення навантажень, що визивають передзадирний та забезпечують оптимальний стан роботи спряження для зразків в стані поставки і відновлених, показав, що відновлена пара тертя має кращі показники на 4% для передзадирних навантажень і на 18,7% для оптимальних навантажень. Підвищення порога навантаження експериментальної пари тертя обумовлюється використанням полімерної композиції, яка має більш кращий показник адгезії.

Проведення порівняльної оцінки зносостійкості пар тертя в лабораторних умовах показують, що застосування гідро-пластичного деформування для відновлення колодязя корпусу дає можливість збільшити зносостійкість майже в два рази.

4.3 Результати досліджень післяремонтної довговічності насосів

Ресурс відремонтованого насосу, у якого колодязі корпусу оброблювались поверхнево пластичною деформацією з послідовним нанесенням полімерної композитної та механічною обробкою, визначався проведенням лабораторних випробувань на стенді КІ-4815М. Час роботи агрегату знаходився в інтервалі 50-60 год, в зв'язку з тим, що при даному наробітку після першої установки агрегату на мобільну машину проводять заміну фільтруючого елемента згідно технічних вимог на його експлуатацію, що пояснюється його забиттям абразивними частинками, які виникають при приробітку деталей в з'єднаннях в результаті їх зношення.

На стенді також випробовувались нові насоси для отримання порівняльної оцінки їх ресурсу.

Кількісна оцінка технічного стану насосів через зміну їх об'ємного коефіцієнта корисної дії від часу роботи агрегату на стенді наводиться в табл.4.4.

Табл. 4.4 – Зміна об'ємного коефіцієнта корисної дії агрегату від часу роботи

№ з/п	Коефіцієнти об'ємної подачі агрегату, η	Тривалість роботи агрегату, $t, год.$
Шестеренний насос НШ-32У з ремонту		
1	0,92	10,0
2	0,90	15,0
3	0,89	17,0
4	0,88	22,0
5	0,89	28,0
6	0,89	32,0
7	0,87	38,0
8	0,85	42,0
9	0,83	48,0
10	0,82	52,0
11	0,80	58,0
12	0,78	62,0
13	0,77	68,0
Шестеренний насос НШ-32У у стані поставки		
1	0,87	10,0
2	0,86	15,0
3	0,84	17,0
4	0,84	22,0
5	0,81	28,0
6	0,80	32,0
7	0,76	38,0
8	0,74	42,0
9	0,67	48,0
10	0,62	52,0
11	-	58,0
12	-	62,0

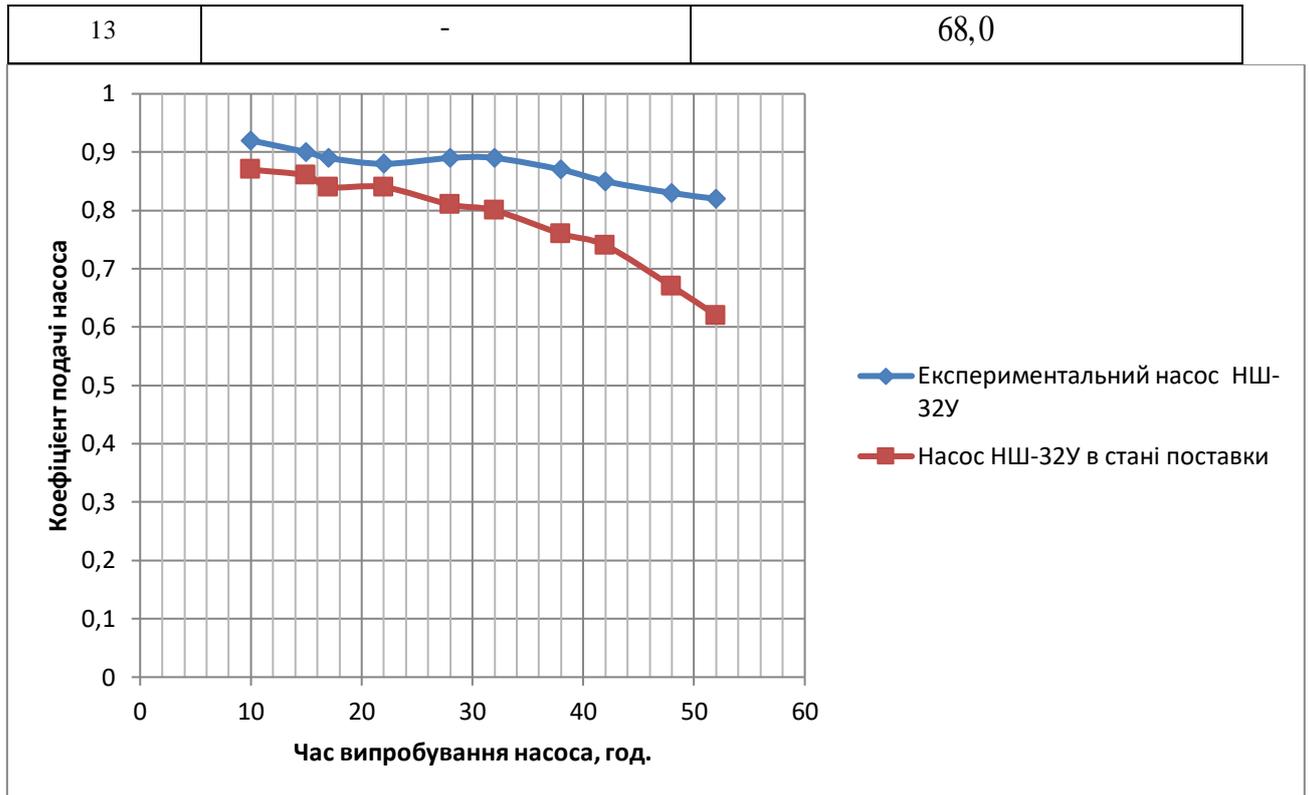


Рис. 4.8 – Зв'язок між часом роботи агрегату (t) і об'ємним коефіцієнтом його подачі (η)

Із аналізу отриманих результатів видно різницю за об'ємним коефіцієнтом подачі протягом перших 10 годин наробітку, яка пояснюється зношуванням деталі з відхиленнями від шорсткості і геометричної форми її поверхні. Інші зміни між об'ємним коефіцієнтом подачі відбуваються через процес подальшого зносу деталей з'єднання «колодязі корпусу – зуб шестерні». За 60 годин роботи відновлений агрегат має об'ємний коефіцієнт подачі ($\eta = 0,80$), більший на 25% в порівнянні з новим агрегатом ($\eta = 0,60$)

Кут нахилу графіка відновленого агрегату більш менший в порівнянні з новим агрегатом, що вказує на скоріший процес стабілізації приробітку відновлених деталей в з'єднанні, за рахунок зміцнення поверхні колодязя корпусу гідронасоса пластичним деформуванням, а також поглинанням абразивних частин полімерною композицією, що збільшує довговічність насоса.

4.4 Технологія відновлення шестеренного насоса

Первинні дані по деталі, що відновлюється.

Корпус шестеренного насоса НШ-У

Матеріал: Ал-9 (Ал-11)

Твердість: 180...210 НВ

Маса: 1,2 кг

Дефекти які необхідно усунути: зношення отворів колодязя корпусу, відновити зношений шар, вирівняти геометрію поверхні.

Типовим технологічним процесом відновлення дефектів у корпусу насоса є технологія ремонту деталі за класом 070 «Корпусні деталі» підклас 070.3 «Корпуси» [11].

Технологічний маршрут:

005. Мийна. Очистити корпус.

010. Дефектувальна. Визначити розмір отворів колодязя

015. Гідропластична обробка колодязя.

0.20.Мийна. Знежирення поверхонь колодязя

025. Слюсарна. Наноситься шар епоксидної композиції

030. Термічна. Термофіксація епоксидної композиції

035. Вібраційне розточування. Проточити колодязі корпусу

040. Слюсарна. Розготка отворів під втулки.

045. Перевірочна. Перевірка відновлених дефектів.

Організація послідовності операцій при відновленні деталей. Планування операцій здійснюється з урахуванням етапів технології ремонту. Першочергово визначаються операції механічної обробки для усунення зносу на робочих поверхнях.

Далі визначаються операції з відновлення робочої поверхні, у даному випадку – пластичне деформування. Після цього поверхня піддається механічній обробці з урахуванням встановленого класу чистоти поверхні.

Спочатку виконуються чорнові операції, потім – чистові, а технологія ремонту деталей завершується контролем якості. Операційний склад ремонту корпусу гідронасоса представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Технологічна послідовність по операціям

Номер	Найменування операції	Вміст операції
005	Мийна	Помити корпус в мийному розчині Лабоміт 100
010	Дефектувальна	Розбити деталі по ремонтним розмірам за розміром отворів колодязя корпусу
015	Пластична деформація	Провести обробку колодязів корпусу локальним пластичним деформуванням
020	Мийна	Знежирити поверхні колодязів корпусу МС-15 ТУ 38-10738-73 після пластичної обробки
025	Слюсарна	Нанести шар епоксидної композиції на внутрішні поверхні колодязя корпусу насоса.
030	Термічна	Провести термофіксацію епоксидної композиції.
035	Токарна	Проточити отвори колодязів корпусу під ремонтні розміри.
040	Слюсарна	Розгорнути отвори під втулки в корпусі насоса
045	Перевірочна	Перевірити розмір колодязя.
050	Слюсарна	Розбити на ремонтні розміри, маркувати

Для реалізації технології з ремонту поверхні колодязя корпусу насоса здійснюється підбір основного обладнання та технологічної оснастки. Склад використовуваних засобів технологічної оснастки показано в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Список засобів технологічної оснастки.

Черга	Назва операцій	Назва оснастки
005.	Мийна	Машина мийна ОМ-12191
010.	Дефектувальна	Стіл контрольний 9870.
015.	Пластична деформація	Гідрофікована установка ГУ-141159
020.	Мийна	Машина очисна МО-1719
025.	Слюсарна	Верстак слюсарний ОРГ-5914
030.	Термічна	Провести термофіксацію епоксидної композиції.
035.	Токарна	Верстат токарно-гвинторізний 16К20
040.	Слюсарна	Верстак слюсарний ОРГ-5914
045.	Контрольна	Стіл контрольний 9870.
050.	Слюсарна	Верстат слюсарний ОРГ-5364 Стенд для сортування

Блок-схема технологічного процесу відновлення корпусу насоса представлена на рис. 4.9.

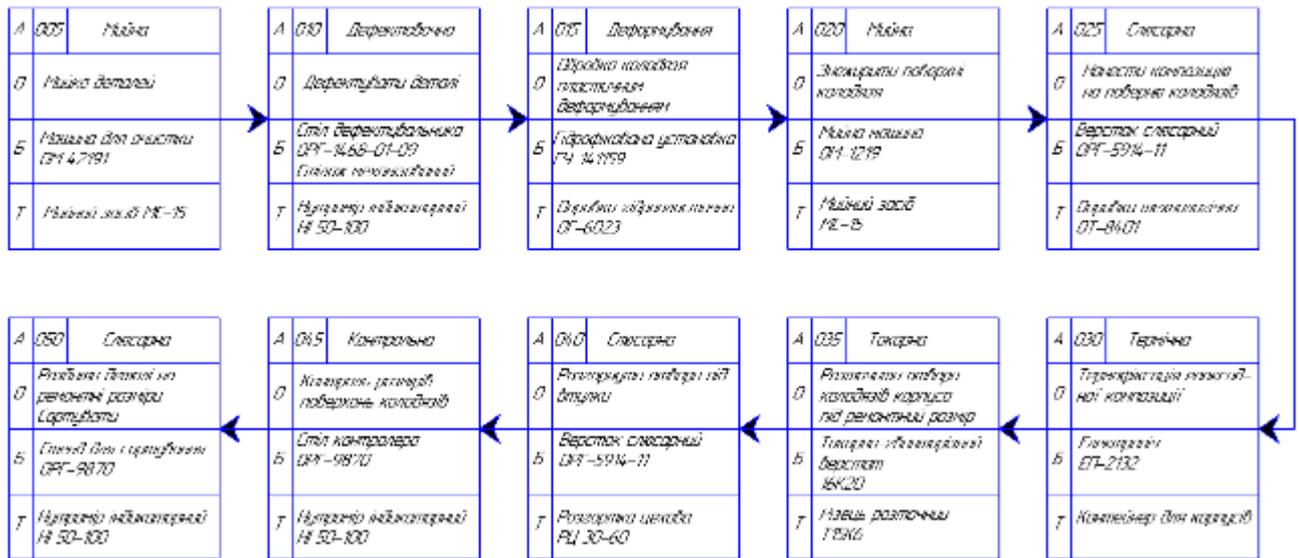


Рис. 4.9 – Блок-схема технологічного процесу відновлення корпусу шестеренного насоса модифікації НШ-У

У схемі наведено алгоритм операцій в яких зазначено: *A* – назва та номер операцій; *O* – тип робіт, передбачених цією операцією; *B* – основне обладнання, що використовується для операції; *T* – технічне оснащення операції, включаючи пристрої, ріжучий та вимірювальний інструмент.

У таблиці 4.7 вказується нормований час на проведення операції з урахуванням розряду робітника.

Таблиця 4.7 – Часові нормативи виконання операцій

Послідовність	Назва операцій	Кваліфікація роботи	Тривалість, хв.
005.	Мийна	II	6,2
010.	Діагностична	V	5,8
015.	Пластична деформація	III	7,5
020.	Мийна	II	6,5
025.	Слюсарна	III	5,0
030.	Термічна	III	45,0
035.	Токарна	III	9,7
040.	Слюсарна	III	4,9
045.	Контрольна	III	5,8
050.	Слюсарна	III	5,0
-	Разом	-	101,4

Створений технологічний процес відновлення корпусу насоса НШ-32У із застосуванням поверхневої пластичної деформації отворів колодязя

забезпечує високі показники технічних характеристик (міцнісні та стійкості до зносу), що сприяє збільшенню довговічності гідронасоса.

Висновки по розділу.

1. Поверхні тертя, що працюють без змащення, для інтервалу швидкості ковзання 0,3-0,2 м/с мають знос зразка виготовленого з алюмінієвого сплаву і обробленого поверхневою пластичною деформацією меншим в 4 рази. Мінімальний знос спостерігається для ступеня пластичного деформування-60 %, це пояснюється швидкісним процесом деформації, який формує мілко дисперсну кристалеву решітку.

2. Для спряження, «сплав Ал-11, поверхнева пластична деформація та полімерна композиція – сталь 40 X» значення мінімального коефіцієнта тертя на 8 % є меншим в зрівнянні з стандартним з'єднанням «сплав Ал-11 – сталь 40X». Це пояснюється наявністю прошарків полімерної композиції на робочій поверхні колодязя корпусу, що зменшує адгезію в парі терті і обумовлює мінімальний коефіцієнт тертя.

3. Значення навантажень, що визивають передзадирний та забезпечують оптимальний стан роботи спряження для зразків в стані поставки і відновлених, показали, що відновлена пара тертя має кращі показники на 4% для передзадирних навантажень і на 18,7% для оптимальних навантажень. Підвищення порога навантаження для експериментального спряження обумовлюється використанням полімерної суміші, яка має більш кращий показник адгезії.

4. Зміна в об'ємному коефіцієнті подачі протягом перших 10 годин наробітку обумовлюється робочим процесом зношування деталі з відхиленнями від шорсткості і геометричної форми її поверхні. Інші зміни між об'ємними коефіцієнтами подачі відбуваються через процес подальшого зносу деталей з'єднання «колодязі корпусу – зуб шестерні». За 60 годин роботи відновлений агрегат має об'ємний коефіцієнт подачі ($\eta = 0,80$), більший на 25% в порівнянні з новим агрегатом ($\eta = 0,60$).

5. Підвищення експлуатаційного ресурсу відремонтованого агрегату на 25% пояснюється появою зміцненої поверхні колодязя, в результаті пластичної її деформації, та покращенням адгезаційного стану між деталями в з'єднанні «колодязі корпусу-зуб шестерні» застосуванням полімерної композиції.

6. Застосування поверхневого пластичного деформування в технології ремонту колодязів корпусу насоса, характеризується не значною трудомісткістю та простотою технологічної оснастки, забезпеченням збільшення післяремонтного ресурсу агрегату, а також можливістю багаторазового використання даної технології на сервісних підприємствах.

5. ПРАЦЯ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ

5.1 Оцінка виробничого середовища та протипожежного захисту у сервісному підрозділі

Розроблений технологічний процес ремонту шестеренних насосів модифікації НШ-У планується реалізувати в виробничому підрозділі відкритого акціонерного товариства (ВАТ) «Васильківський Агротехсервіс».

Спеціалізований відділ розміщується в ремонтному підрозділі майстерні. Для виконання основних операцій на дільниці розташоване необхідне основне та допоміжне устаткування. Для очищення вузлів застосовують машину МО-1719. Розбирально-складальні операції проводяться на стенді РЗ-1483-07-17. Обкатка і випробовування проводяться на установці КІ-4200. На дільниці організовано чотири робочі місця залежно від виду робіт, і працює один робітник.

Технологічне положення обладнання в виробничій зоні відповідає основним вимогам щодо проектних рішень. Його розміщення дає можливість якісно проводити роботи з його обслуговування та ремонту.

На робочих місцях де проводяться роботи з миття агрегатів, а також їх випробування передбачена місцева вентиляція, а у всьому приміщенні – притяжно-витяжна, що забезпечує необхідну температуру та якість повітря згідно до вимог санітарії і гігієни.

Умови праці на дільниці відносяться до III категорії згідно [12]. Це пояснюється застосуванням роботи, пов'язаної з транспортуванням агрегатів вагою понад 20 кг що потребує енергетичних витрат $290 - 249 \text{ Вт}$ ($251 - 300 \text{ ккал / год}$).

Кліматичні умови при проведенні ремонтних робіт, як у загальному ремонтному відділенні, так і на дільниці можна охарактеризувати по показникам наведених в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Кліматичні умови у робочій зоні дільниці

Контрольований показник	Для зимового періоду		Для літнього періоду	
	допустиме на робочому місці	номінальне	допустиме на робочому місці	номінальне
Температурний, °С	13-19.	14-21.	19-25.	17-22.
Насичення вологою, %	65.	62.	63 при 21 ⁰ С.	64
Швидкість повітря, м/с	0,60.	0,50.	0,42-0,52.	0,46-0,50.

Наведені дані показують відповідність показників клімату в виробничому підрозділі до встановлених норм.

В процесі проведення ремонтно-відновлювальних робіт з'являються фізичні і хімічні небезпечні фактори.

Фізичні фактори проявляються при проведенні розбиральних і складальних робіт, за яких агрегати можуть впасти, травми можуть виникнути при застосуванні несправного інструменту, відсутності ефективного захисту рухомих частин стендів і допоміжного обладнання (стелажів, підставок, контейнерів і т. д.) для укладки деталей і агрегатів.

Небезпечними являються пресові операції, при проведенні яких можуть виникнути поломки деталей та травмуваннями ними робітника.

Хімічні фактори мають місце при проведенні мийно-очисних операцій де застосовуються лужні розчини підігріті до температури 85-90 °С, що провокує випаровування лугів, які мають шкідливу дію на організм людини.

Застосування органічних розчинників (бензин, гас, дизельне пальне та ін.) для зовнішнього очищення деталей і уникнення ефекту шаржування обумовлює появу парів даних речовин, які також впливають на здоров'я працюючих.

Порівняльна оцінка фактичних і гранично допустимих концентрацій хімічних шкідливих факторів представлена в табл.5.2.

Таблиця 5.2 – Показники хімічних шкідливих факторів

Джерело	Граничний норматив показника, мг / м ³	Клас безпеки	Фактична величина
Бензин - розчинник (у відповідності до С)	286	3...4.	255

Закінчення табл.5.2

Бензин для палива (теж)	101	3...4.	87
Гас (теж)	296	3...4.	272
Мастило мінеральне	4,5...5	2...3	4,4
Луги	2	2...3	1,9

Згідно з представленої порівняльної оцінки наявності шкідливих хімічних факторів можна зробити висновок, що вони відповідають встановленим вимогам до [13].

Виробничий процес при ремонті гідравлічних агрегатів супроводжується наявністю шумів і вібрацій, які негативно впливають на роботу працюючих.

До джерел шумів і вібрацій в відділенні слід віднести роботу слюсаря з пневматичними і електричними гайковертами і викрутками, робота станда для випробовування гідронасосів та преса для проведення пресових операцій.

Особливі вимоги на робочих місцях висувуються для їх освітлення, що обумовлюється відношенням слюсарів-гідравликів до робітників з зоровою роботою за середньою точністю.

Забезпечення освітлення здійснюється з застосуванням природніх і штучних джерел. Світло від сонця потрапляє на дільницю через віконні пройоми, а штучне освітлення здійснюється з застосуванням люмінесцентних ламп. Реалізація останніх добре проявляється при перепаді температур.

Так як мінімальний розмір об'єктів ремонту, які треба ідентифікувати, знаходиться в межах 0,5 мм – 1,0 мм то стандартизований нормований показник освітлення складає 200 – 225 люкс. При цьому нормований сумарний індекс засліплення становить - 40, а показник блимання – 20%.

Вимоги щодо інтегральних показників при природньому освітленні для верха та узагальненого видів становить 2,4 %, а бокового освітлення - 0,9%.

В відповідності до представлених показників, які є характерними для умов роботи в спеціалізованому відділенні з ремонту гідравлічних агрегатів,

можна зробити висновок що вони відносяться до другої категорії, тобто «допустимі»

Вибухова, пожежно-вибухова і пожежна небезпеки із аналізу виробничого процесу відноситься до категорії «*B* – пожежна небезпека». Це пояснюється наявністю в відділенні легкозаймистих, горючих і важкогорючих речовин і матеріалів, які мають питому теплоту згорання до 180 МДж/м^2 на відокремлених ділянках, розміром за площею більше 10 м^2

Згідно пожежної небезпеки розташування робочих зон і постів в відділенні з ремонту агрегатів гідравлічних приводів можна віднести до категорії П1. Будівля майстерні за зовнішніми стінами і перегородками збудована з цегли, яка є червоною. Даний матеріал являється не горючим, згідно чого будівлю майстерні можна віднести до класу – П, що негорючий.

До основних причин, які можуть обумовити спалах паливних і промаслених матеріалів в відділенні можна: віднести наявність іскор, електричного або механічного походження, температурним впливом нагрітих об'єктів, займанням електричних приладів та установок за умови його перевантаженням, наявності коротких замикань (*E*), а також самозайманням промасленого ганчір'я за класом пожежі (*A*).

5.2 Організаційно-технічні заходи для підвищення безпеки та комфорту праці

У межах досліджень роботи передбачається вдосконалити технології ремонту корпусу насоса модифікації НШ-У з метою підвищення ефективності технологічних процесів відновлення гідравлічних агрегатів. Впровадження цих завдань потребує модернізації технічного оснащення підрозділу, що забезпечує технічний сервіс гідравлічних агрегатів.

Для підвищення безпеки та поліпшення умов праці слюсарів на робочих постах в відділенні, необхідно забезпечити його спеціальними

стендами для зберігання гідроагрегатів з застосуванням спеціальних утримувачів для їх фіксації.

Робочі зони, призначені для мийки, обкатування і випробовування гідронасосів доцільно встановити системи місцевої вентиляції.

Крім того, робочі місця, де виконуються операції з розбирання, складання та обкатування гідроагрегатів, слід обладнати консольно-поворотними кранами, для зменшення фізичного навантаження на працівників і мінімізації ризику травм.

Основні агрегати, які під час роботи створюють підвищений рівень шуму та вібрації, слід встановлювати на гумові амортизатори, що забезпечить їхнє додаткове демпфування та знизить негативний вплив на працівників.

Розміщення робочих столів безпосередньо в робочій зоні, де виконуються операції з розбирання та складання агрегатів, дозволить істотно скоротити трудомісткість робіт і підвищить організованість виробничого процесу.

Для запобігання виникненню професійних захворювань у працівників, а також усунення ризику вибухів і пожеж під час використання ксилолу як знежирю вального засобу, необхідно розрахувати та забезпечити відповідний повітрообмін у приміщенні.

Розрахуємо об'єми пару ксилолу, можуть випаровуватися за виразом:

$$Q = 0,01 \cdot B \cdot C \cdot \frac{S}{n \cdot \tau} n, \quad (5.1)$$

де B – об'єм парів речовини, 80% ;

C – густина знежирювача, ($C = 50 \text{ г} / \text{м}^2$);

S – розмір оброблюваних поверхонь, ($S = 0,5 \text{ м}^2$);

n – число слюсарів;

τ - трудомісткість роботи, год.

Повітряний швидкісний режим для віконного прорізу візьмемо - ($V_o = 0,4 \text{ м/с}$). Граничні допустимі концентрації (ГДК) для знежирювача становлять ($q = 50 \text{ мг/м}^3$).

Звідси

$$Q = 0,01 \cdot 80 \cdot 50 \frac{0,5}{2 \cdot 0,25} \cdot 2 = 80 \text{ г/год.}$$

З'ясуємо значення нижньої концентраційної межі для ксилолу при 22°C :

$$C_{n,t} = 1 \cdot (1,02 - 0,0000029 \cdot 295) = 1,019 \% \text{ об.}$$

Допустима межа вибухонебезпечної концентрації ксилолу складе:

$$ГДВК = \frac{1,019}{4} = 0,255 \% \text{ об}$$

Розрахуємо C_n для мг/л :

$$1 \% \text{ об} = \frac{100 \cdot 9991,5}{831,396 \cdot 295} = 40,36 \text{ г/м}^3$$

$$0,255 \% \text{ об} = 10,29 \text{ г/м}^3$$

Щоб забезпечити концентрацію шкідливої речовини на рівні не вищому за ГДК, необхідний об'єм повітря визначають наступним чином:

$$L = 1,3 \frac{Q}{q}, \quad (5.2)$$

де q - гранична межа знежирювача, мг/м^3 .

Визначимо обсяг повітрообміну для забезпечення безпечних умов:

$$L_{ГДВК} = 1,3 \frac{80}{10,29} = 10,1 \text{ м}^3 / \text{г}$$

$$L = 1,3 \frac{80}{0,05} = 2080 \text{ м}^3 / \text{г}$$

Кратність повітрообміну розраховується за формулою:

$$K = \frac{L}{V}, \quad (5.3)$$

де L – повітряний обмін, $\text{м}^3 / \text{г}$;

V - обсяг робочої зони, м^3 , ($V = 36 \text{ см}^3$).

Отже

$$K_{ГДВК} = 10,1 / 36 = 0,281 / \text{г}$$

$$K_{ПДК} = 2080 / 36 = 57,81 / \text{г}$$

Тривалість повітрообміну на протязі однієї години розраховується згідно виразу:

$$t_{np} = \frac{d \cdot L}{S_g \cdot V}, \quad (5.4)$$

де d - показник відповідно до часу;

S_g – розмір каналу вентиляції, м^2 ;

V - повітряний швидкісний режим, $\text{м} / \text{год}$ ($V = 1440 \text{ м} / \text{год}$).

Тоді

$$\text{ГДВК} \text{ складе } t_{np} = \frac{1 \cdot 10,1}{2(0,4 \cdot 0,4) \cdot 1440} = 0,022 \approx 1,32 \text{ хв.}$$

$$\text{ГДК} - t_{np} = \frac{1 \cdot 2080}{2(0,4 \cdot 0,4) \cdot 1440} = 4,5 \text{ год.}$$

Отримані результати виявили, що створення вибухової безпеки з застосуванням знежирювача для обробки деталей при видаленні з їх поверхні жирової плівки, потребує проведення щогодинного провітрювання дільниці,

відкриваючи віконні пройоми мінімум на 1,32 хв. Для зниження концентрації шкідливих речовин до гранично допустимого рівня провітрювання має тривати щонайменше 4,5 год.

5.3 Дії при надзвичайних ситуаціях у виробничому приміщенні

У виробничих підрозділах, що спеціалізуються на технічному сервісі агрегатів гідравлічних систем, можливе виникнення аварійних ситуацій.

У разі виникнення пожежі працівники насамперед повинні повідомити пожежну службу, вказавши адрес де знаходиться об'єкт, наявність поверхів будівлі, місце та обставини займання, а також наявність людей. Після цього необхідно безпосередньо сприяти зменшенню пожежної небезпеки, організовуючи евакуацію персоналу та охороняючи майно.

Необхідно першочергово сповістити адміністрацію про надзвичайну ситуацію та, за потреби, залучити інші аварійні та рятувальні служби.

У випадку загрози життю слід провести аварійно-рятувальні заходи, включно з евакуацією, за допомогою наявних ресурсів і засобів.

Слід евакуювати з небезпечної зони всіх працівників, не задіяних у ліквідації пожежі, і призупинити роботи в приміщенні, за винятком тих заходів, що спрямовані на усунення пожежі, якщо це допускає виробничий процес.

Якщо пожежа виникла через коротке замикання, слід відключити електроживлення та вжити заходів, що дозволять зменшити площу займання та рівень задимлення у виробничому приміщенні.

Здійснити контроль за діями працівників, задіяних у ліквідації пожежі, щодо дотримання ними правил безпеки під час пожежогасіння.

Аварійні ситуації можуть трапитися через ураження електричним струмом під час роботи з механізованими стендами. За такої ситуації першочергово необхідно відключити об'єкт від електроживлення. При незначному ураженні слід надати першу допомогу за допомогою аптечки, а при тяжких опіках – викликати швидку медичну допомогу.

У разі отруєння парами шкідливих речовин на робочому місці слід заходити до приміщення лише при наявності засобів індивідуального захисту. Необхідно забезпечити провітрювання приміщення, вивести потерпілого в безпечну зону та при необхідності провести штучне дихання, попередньо викликавши швидку медичну допомогу.

Про настання аварійної ситуації слід негайно повідомити керівництво виробничого підрозділу та адміністрацію підприємства.

Висновок.

Створення вибухової безпеки з застосуванням знежирювача для обробки деталей при видаленні з їх поверхні жирової плівки, потребує проводити щогодинне провітрювання дільниці, відкриваючи віконні прорізи мінімум на 1,32 хв. Для зниження концентрації шкідливих речовин до гранично допустимого рівня провітрювання має тривати щонайменше 4,5 год.

6. ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Економічна ефективність визначається на основі впровадження вдосконаленої технології ремонту шестеренних гідравлічних насосів модифікації У.

Реалізація розробленого технологічного процесу з їх ремонту передбачає придбання обладнання вартістю – 123500 грн. Його ефективність оцінюється за такими показниками:

1. Річний кошторис.

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

де $\eta^B, \eta^П$ - програма базова і проектна ($\eta^B = 500$ рем., $\eta^П = 900$ рем.);

B_P - кошторис 1-го ремонту, грн, ($B_{OP} = 1200$ грн).

$$B_P^B = 1200 \cdot 500 = 600000 \text{ грн}$$

$$B_{ПР}^B = 1200 \cdot 900 = 1080000,0 \text{ грн.}$$

2. Експлуатаційні затрати:

$$E_B = ЗП + A + B_{ЕЛ} + B_{Р.ОБ} + B_{З.Ч} + IB, \quad (6.2)$$

де $ЗП$ – за робітня платня;

A – амортизаційні відрахування;

$B_{ЕЛ}$ – кошторис електроенергії;

$B_{РЕМ}$ – кошторис сервісного обслуговування виробничого обладнання;

$B_{З.Ч}$ - кошторис запасних частин, грн;

IB – додаткові затрати.

Дохід робочих:

$$ЗП = З_{СП} \cdot N_P \cdot 12 + З_{П.Н}, \quad (6.3)$$

де Z_{CP} - середній рівень оплати праці, грн ($Z_{CP}^B = Z_{CP}^П = 10000 \text{ грн}$);

N_P - число слюсарів, ($N_P^B = 1 \text{ чол.}$, $N_P^П = 2 \text{ чол.}$);

$Z_{П.Н}$ - начислення, грн ($Z_{П.Н} = 0,22 \cdot (Z_{CP} \cdot N_P \cdot 12)$).

$$Z_{CP}^B = 10000 \cdot 1 \cdot 12 = 120000 \text{ грн},$$

$$Z_{CP}^П = 10000 \cdot 2 \cdot 12 = 240000 \text{ грн},$$

Відрахування з фонду оплати праці:

$$Z_{П.Н}^B = 0,22 \cdot 120000 = 26400,0 \text{ грн}$$

$$Z_{П.Н}^П = 0,22 \cdot 240000 = 52800,0 \text{ грн}$$

Сумарна оплата праці:

$$Z_{П}^B = 120000 + 26400 = 146400,0 \text{ грн},$$

$$Z_{П}^П = 240000 + 52800 = 292800,0 \text{ грн},$$

Знос виробничого устаткування.

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

де $C_{Б.ОБ.}$ - вартість устаткування, ($C_{Б.ОБ.}^B = 125000 \text{ грн.}$,

$C_{Б.ОБ.}^П = 123500 \text{ грн}$);

H_A - амортизаційні нарахування, % ($H_A = 21,93\%$).

$$A_{OB}^B = \frac{125000 \cdot 21,93}{100} = 27412,5 \text{ грн.}$$

$$A_{OB}^П = \frac{248500 \cdot 21,93}{100} = 54496,1 \text{ грн.}$$

Амортизаційні витрати на споруду:

$$A_B = \frac{B_B \cdot H_B}{100}, \quad (6.5)$$

де B_B – облікова вартість будівлі, грн. ($B_B = 1200000$ грн.);

H_B - стандартний показник, ($H_B = 7,76\%$).

$$A_B = \frac{1200000 \cdot 7,76}{100} = 93120,0 \text{ грн.}$$

Загальна сума амортизаційних відрахувань:

$$A = A_{OB} + A_B, \quad (6.6)$$

$$A^B = 27412,5 + 93120,0 = 120532,5 \text{ грн.}$$

$$A^П = 54496,1 + 93120,0 = 147616,1 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії.

$$B_{EЛ} = Q_{EЛ} \cdot T_E, \quad (6.7)$$

де $Q_{EЛ}$ - споживання, кВт/год. ($Q_{EЛ}^B = 26000$ кВт/год.,
 $Q_{EЛ}^П = 30000$ кВт/год.);

$T_{EЛ}$ - кошторис, кВт/год. ($T_{EЛ} = 4,62$ грн.)

$$B_{\text{ЕЛ}}^{\text{Б}} = 26000 \cdot 4,62 = 112320,0 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{ЕЛ}}^{\text{П}} = 30000 \cdot 4,62 = 129600,0 \text{ грн.}$$

Витрати на сервіс устаткування

$$B_{\text{Р.ОБ}} = \frac{A_{\text{обл}} \cdot 30}{100}, \quad (6.8)$$

$$B_{\text{рем.}}^{\text{Б}} = \frac{27412,5 \cdot 30}{100} = 8223,8 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{рем.}}^{\text{П}} = \frac{54496,1 \cdot 30}{100} = 16348,8 \text{ грн.}$$

Ціна запасних складових:

$$B_{\text{З.Ч.}} = 0,5 \cdot 3_{\text{П}}, \quad (6.9)$$

$$B_{\text{З.Ч.}}^{\text{Б}} = 0,5 \cdot 146400,0 = 73200,0 \text{ грн}$$

$$B_{\text{З.Ч.}}^{\text{П}} = 0,5 \cdot 292800,0 = 146400,0 \text{ грн}$$

Додаткові нарахування:

$$I_{\text{О}} = 0,05 \cdot (3_{\text{П}} + A + B_{\text{ЕЛ}} + B_{\text{Р.ОБ}} + B_{\text{З.Ч}}) \quad (6.10)$$

$$I_{\text{О}}^{\text{Б}} = 0,05 \cdot (146400,0 + 120532,5 + 112320,0 + 8223,8 + 73200,0) = 23033,8 \text{ грн}$$

$$I_{\text{О}}^{\text{П}} = 0,05 \cdot (292800,0 + 147616,1 + 129600,0 + 16348,8 + 146400,0) = 36638,3 \text{ грн}$$

Сумарні затрати:

$$E_B^B = 146400,0 + 120532,5 + 112320,0 + 8223,8 + 73200,0 + 23033,8 = 483710,1 \text{ грн}$$

$$E_B^П = 292800,0 + 147616,1 + 129600,0 + 16348,8 + 146400,0 + 36638,3 = 769403,2 \text{ грн}$$

3. Витрати на ремонтні роботи:

$$C_P = E_B \cdot 1,02 \quad (6.11)$$

$$C_P^B = 483710,1 \cdot 1,02 = 493384,3 \text{ грн}$$

$$C_P^П = 769403,2 \cdot 1,02 = 784791,3 \text{ грн}$$

4. Дохід за рік (П):

$$\Pi_{3AG} = B_P - C_P, \quad (6.12)$$

$$\Pi_{3AG}^B = 600000,0 - 493384,3 = 106615,7 \text{ грн}$$

$$\Pi_{3AG}^П = 1080000,0 - 784791,3 = 295208,7 \text{ грн}$$

5. Додатковий дохід:

$$D_{\Pi} = \Pi_{3AG}^П - \Pi_{3AG}^B, \quad (6.13)$$

$$D_{\Pi} = 295208,7 - 106615,7 = 188593,0 \text{ грн}$$

6. Окупність матеріальних витрат:

$$T_o = \frac{C_{Б.ОБ.}}{D_{\Pi}}, \quad (6.14)$$

$$T_o = \frac{248500,0}{188593,0} = 1,3 \text{ року}$$

Розрахунки ефективності зведено до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Показники ефективності

Показник	Базові показники	Розроблені показники
Вид діяльності	сервіс	сервіс
Обсяг програми, од.	500	900
Число слюсарів, од.	1	2
Капітальні витрати, грн.	125000	123500
Експлуатаційні затрати, грн.	483710,1	769403,2
- сумарна оплата праці, грн.	146400,0	292800,0
- відрахування на амортизацію, грн.	27412,5	54496,1
- витрати на електроенергію, грн.	112320,0	129600,0
- сервісне обслуговування, грн.	8223,8	16348,8
- відрахування на забезпечення зручності парці, грн.	23033,8	36638,3
Витрати на ремонтні роботи, грн.	493384,3	784791,3
Дохід за рік, грн.	106615,7	295208,7
Додатковий дохід, грн.	-	+188593,0
Окупність матеріальних витрат, р.	-	1,3

Висновок. Розробка технологічного процесу для відновлення гідравлічних насосів із використанням поверхневої пластичної деформації для ремонту корпусів призвела до зростання загального доходу на 68,3% завдяки зниженню тривалості відновлювальних дій, а період окупності матеріальних витрат складає 1,3 р., що свідчить про високу ефективність розробленої технології.

ПІДСУМКИ ВИКОНАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

1. При зазорі $B = 80 \text{ мкм}$ в спряженні «зуб шестерні-колодязь корпусу» витоки робочої рідини починають різко збільшуватися, що обумовлюється зменшенням дії облітерації, яка особливо проявляється при мінімальних зазорах в щілині. Витоки робочої рідини також збільшуються з ростом тиску робочої рідини, що обумовлюється зростанням швидкості перетікання оливи із зони високого тиску до зони низького.

2. При значення зазору $B = 150 \text{ мкм}$ і робочому тиску $\Delta P = 140 \text{ МПа}$ витоки оливи дорівнюють $Q = 224,4 \text{ см}^3/\text{с}$, при яких коефіцієнт подачі насоса дорівнює 0,55, який відповідає його граничному значенню, що вказує на граничне значення даного зазору за структурним параметром.

3. При обробці шестерень насоса до першого ремонтного розміру (P1), що відповідає теоретичній подачі насоса НШ-32У ($q_t = 31,35 \text{ см}^3/\text{об}$), технічний ресурс насоса скорочується на 7,0 %, а для насоса НШ-50У ресурс зменшиться на 5 %. При шліфуванні шестерень під другий ремонтний розмір (P2) ресурс насосів відповідно зменшиться – на 13 % для насоса НШ-32У і на – 10 % для насосу НШ-50У.

4. Теоретичні дослідження показують, що відхилення геометричних розмірів валів шестерень від їх номінальних значень, в результаті процесу механічної обробки, призводять до зниження вихідних функціональних параметрів насоса і скорочення запланованого технічного ресурсу.

5. Поверхні тертя, що працюють без змащення, для інтервалу швидкості ковзання 0,3-0,2 м/с мають знос зразка виготовленого з алюмінієвого сплаву і обробленого поверхневою пластичною деформацією меншим в 4 рази. Мінімальний знос спостерігається для ступеня пластичного деформування - 60 %, це пояснюється швидкісним процесом деформації, який формує мілко дисперсну кришталеву решітку.

6. Для спряження, «сплав Ал-11, поверхнева пластична деформація та полімерна композиція – сталь 40Х» значення мінімального коефіцієнта тертя

на 8 % є меншим в зрівнянні з стандартним з'єднанням «сплав Ал-11 – сталь 40Х». Це пояснюється наявністю прошарків полімерної композиції на робочій поверхні колодязя корпусу, що зменшує адгезію в парі тертя і обумовлює мінімальний коефіцієнт тертя.

7. Значення навантажень, що визивають передзадирний та забезпечують оптимальний стан роботи спряження для зразків в стані поставки і відновлених, показали, що відновлена пара тертя має кращі показники на 4% для передзадирних навантажень і на 18,7% для оптимальних навантажень. Підвищення порога навантаження експериментальної пари тертя обумовлюється використанням полімерної композиції, яка має більш кращий показник адгезії.

8. Зміна в об'ємному коефіцієнті подачі протягом перших 10 годин наробітку обумовлюється робочим процесом зношування деталі з відхиленнями від шорсткості і геометричної форми її поверхні. Інші зміни між об'ємними коефіцієнтами подачі відбуваються через процес подальшого зносу деталей з'єднання «колодязі корпусу – зуб шестерні». За 60 годин роботи відновлений агрегат має об'ємний коефіцієнт подачі ($\eta=0,80$), більший на 25% в порівнянні з новим агрегатом ($\eta=0,60$).

9. Підвищення експлуатаційного ресурсу відремонтованого агрегату на 25% пояснюється появою зміцненої поверхні колодязя, в результаті пластичної її деформації, та покращенням адгезійного стану між деталями в з'єднанні «колодязі корпусу-зуб шестерні» застосуванням полімерної композиції.

10. Застосування поверхневого пластичного деформування в технології ремонту колодязів корпусу насоса, характеризується не значною трудомісткістю та простотою технологічної оснастки, забезпеченням збільшення післяремонтного ресурсу агрегату, а також можливістю багаторазового використання даної технології на сервісних підприємствах.

11. Створення вибухової безпеки з застосуванням знежирювача для обробки деталей при видаленні з їх поверхні жирової плівки, потребує

проводити щогодинне провітрювання ділянки, відкриваючи віконні прорізи мінімум на 1,32 хв. Для зниження концентрації шкідливих речовин до гранично допустимого рівня провітрювання має тривати щонайменше 4,5 год.

12. Розробка технологічного процесу для відновлення гідравлічних насосів із використанням поверхневої пластичної деформації для ремонту корпусів призвела до зростання загального доходу на 68,3% завдяки зниженню тривалості відновлювальних дій, а період окупності матеріальних витрат складає 1,3 р., що свідчить про високу ефективність розробленої технології.

ЛІТЕРАТУРА

1. Панченко А. И. Планетарно-роторные гидромоторы. Расчет и проектирование: монография / А. И. Панченко, А. А. Волошина. – Мелитополь: Издательско-полиграфический центр «Люкс», 2016. – 236 с.
2. Буренин В. В. Конструкции шестеренных насосов [Текст] / В. В. Буренин. – М.: ЦИНТИ, 1982. 40 с.
3. Шестеренные насосы. Конструкция и применение / ЦНИИТ. – № БП-82-14866. – 1984. 28 с.
4. Андренко П. М. Надійність, технічне діагностування та експлуатація гідро- і пневмоприводів : навч. посіб. / П. М. Андренко, А. Ю. Лебедев, О. В. Дмитрієнко, М. С. Свинаренко ; під ред. проф. П.М. Андренка. – Харків : Видавничий центр НТУ «ХП», 2018. 519 с.
5. Ачкасов К. А. Справочник молодого слесаря: регулирование приборов системы питания и гидросистемы тракторов и автомобилей, комбайнов [Текст] / К. А. Ачкасов, В. П. Вегера. – М.: Агропромиздат, 1987. – 352 с.
6. Черкун В. Е. Ремонт тракторных гидравлических систем [Текст] / В. Е. Черкун – М.: Колос, 1984. 253 с.
7. Козюменко В. Ф. Дослідження умов роботи шестеренних насосів у гідросистемах сільськогосподарських тракторів з метою підвищення їх працездатності [Текст] / Козюменко В. Ф. – зерноград., 2001. 186 с.
8. Кудрявцев П. Р. Новый способ ремонта шестеренных насосов. [Текст] / П. Р. Кудрявцев – Техника в сельском хозяйстве, 1977, № 10, с. 82-85.
9. Тельнов Н. Ф. Ремонт машин. [Текст] / Н. Ф. Тельнов – М: Агропромиздат, 1992 – 560 с.
10. Батищев А. Н. Обоснование относительной износостойкости соединения «корпус-шестерня» гидравлического насоса. [Текст] / А. Н. Батищев – Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1996, № 11, с.28-29.

11. Ремонт машин. Підручник / За ред. О. І. Сідашенка, А. Я. Поліського – Х.: Міськдрук, 2010. 744 с.
12. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. К.: Держстандарт, 1999. 31 с.
13. ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». М.: Изд-во стандартов, 1974. 46 с.

ДОДАТОК

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ГІДРАВЛІЧНИХ НАСОСІВ
МОДИФІКАЦІЇ НШ-У
демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня “Магістр”

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-24
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»
Гришкін Сергій Іванович

Керівник: к.т.н., доцент
Мельянцов Петро Тимофійович

Дніпро 2025

1

**Тема: “удосконалення технології капітального ремонту
гідравлічних насосів модифікації НШ-У”**

Мета роботи: “забезпечення післяремонтної довговічності шестеренних насосів модифікації У удосконаленням технологічного процесу відновлення робочої поверхні корпусу насоса пластичним деформуванням. .”

Задачі досліджень:

1. Дослідити причини відмов шестеренних насосів, установити основні дефекти й зношення робочих поверхонь деталей.
2. Провести теоретичні дослідження по виявленню взаємозв'язку між структурними параметрами технічного стану насоса і об'ємними втратами.
3. Розробити спосіб і засіб відновлення колодязя корпусу насоса гідро-пластичним деформування.
4. Розробити технологічний процес відновлення насоса модифікації НШ-У гідросистем сільськогосподарської техніки.
5. Дати оцінку ефективності результатів проведених досліджень.



*Гідроабразивне зношення
калодязя корпусу насоса*

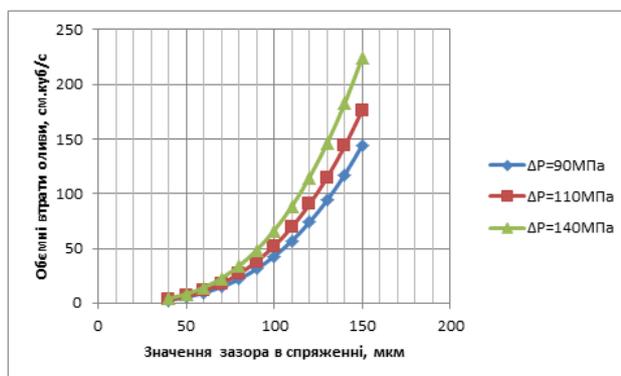


*Характерні гідроабразивні
зношення втулки насоса*



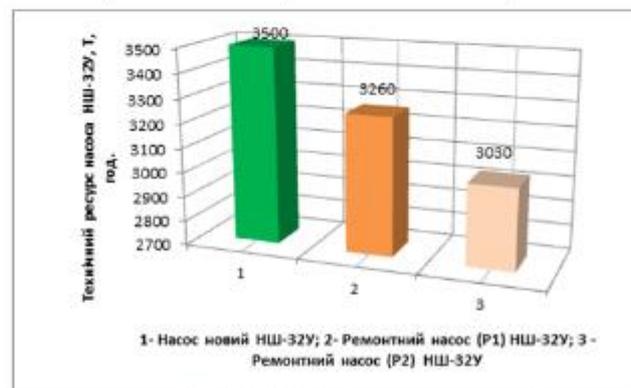
*Характерне гідроабразивне зношення
поверхонь шестерень насоса*

Значення зазору на вході b , мкм	Значення витоків оливи $\text{см}^3/\text{с}$ залежно від тиску		
	$\Delta P = 90 \text{ МПа}$	$\Delta P = 110 \text{ МПа}$	$\Delta P = 140 \text{ МПа}$
40	2,73	3,34	4,25
50	5,34	6,53	8,31
60	9,23	11,28	14,36
70	14,7	17,9	22,8
80	21,9	26,8	34,0
90	31,16	38,1	48,5
100	42,8	52,3	66,5
110	56,9	69,5	88,5
120	73,9	90,3	114,9
130	93,9	114,8	146,1
140	117,3	143,4	182,5
150	144,3	176,3	224,4



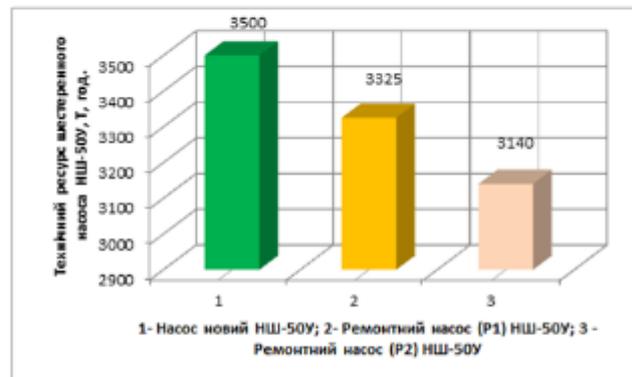
Аналітична залежність витоків гідравлічної рідини від зазору в спряженні «зуб шестерні – колодязь корпусу»

Вид стану насоса	Радіус кола шестерні ($R_{c.p}$), мм	Начальний розмір утворюючої зуба (r), мм	Ремонтний розмір ширини шестерні (B_p), мм
Шестеренний насос - 50У			
Агрегат в стані поставки	29,9	24,7	31,0
Агрегат відремонтований P1	29,85	24,7	30,82
Агрегат відремонтований P2	29,8	24,7	30,62
Шестеренний насос - 32 У			
Агрегат в стані поставки	29,9	24,7	19,85
Агрегат відремонтований P1	29,85	24,7	19,62
Агрегат відремонтований P2	29,8	24,7	19,42



Залежність технічного ресурсу насоса НШ-32-2А від теоретичної подачі насоса:
 1 – насос новий; 2 – насос відремонтований під перший ремонтний розмір (P1);
 3 – насос відремонтований під другий ремонтний розмір (P2).

Вид стану агрегату	Структурний параметр		Аналітична подача агрегату (q_n), $см^3 / об$	Наробіток агрегату, год.
	Розмір шестерні за шириною, мм	Розмір шестерні за діаметром, мм		
Шестеренний насос - 32 У				
Агрегат в стані поставки	19,85	59,8	32,0	3500
Агрегат відремонтований P1	19,62	59,7	31,35	3260
агрегат відремонтований P2	19,42	59,6	30,72	3030
Шестеренний насос - 50У				
Агрегат в стані поставки	31	59,8	50,0	3500
Агрегат відремонтований P1	30,82	59,7	49,24	3325
Агрегат відремонтований P2	30,62	59,6	48,45	3140



Залежність технічного ресурсу насоса НШ-50-2А від теоретичної подачі насоса:
 1 – насос новий; 2 – насос відремонтований під перший ремонтний розмір (P1);
 3 – насос відремонтований під другий ремонтний розмір (P2)



Загальний вигляд універсальної машини
тертя MTU- 01:

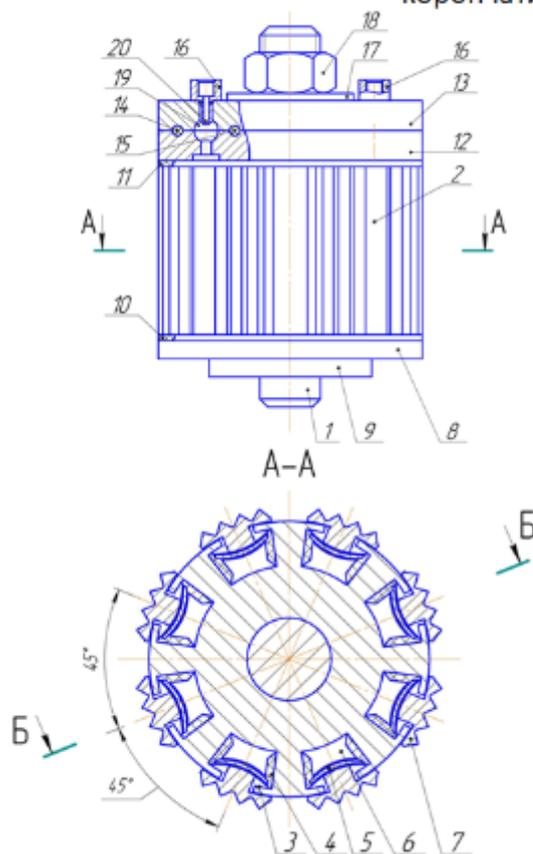
- 1 - ПК;
- 2 - попередній підсилювач і модуль АЦП;
- 3 - тензодатчик;
- 4 - з'єднання, що випробовується.



Контрольні та вимірювальні пристрої
Стенда KI-4815M

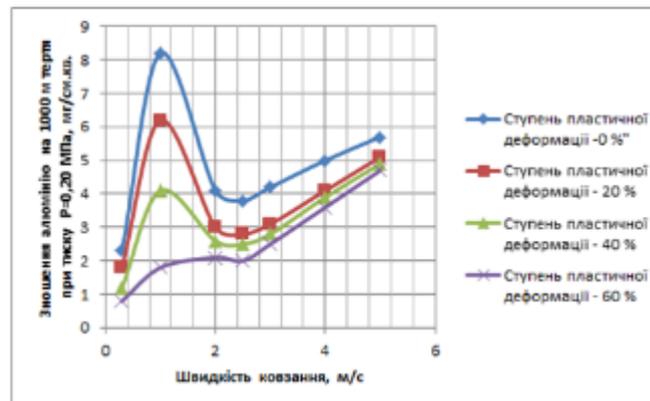
- 1 – кнопка запуску;
- 2 – дросель;
- 3 – ручка лічильників;
- 4 – лічильник рідини;
- 5,8 – манометри; 6 – термометр;
- 7 – датчик частоти обертання

Зовнішній вид гідропластичної оправки з
корончатим видавлювачем



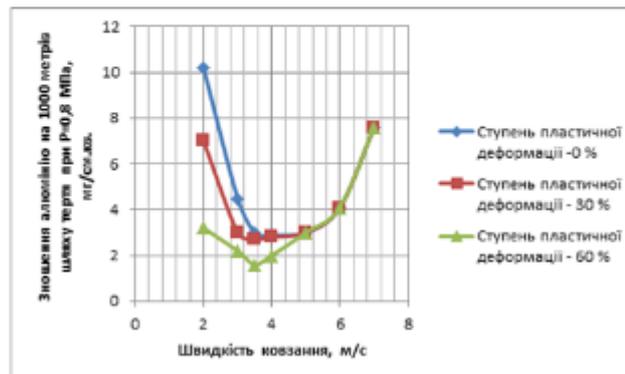
- 1- вісь;
- 2 - циліндричний корпус;
- 3- паз; 4- манжети 4;
- 5- пружну сталю пластину;
- 6- камери гідропластичного деформування;
- 7- Корончатий видавлювач;
- 8- ущільнювально-приставне дно;
- 9- кільцевий виступ;
- 10,11 - прокладки;
- 12 - розподільник;
- 13- кришка;
- 14, 15 - ущільнювальні кільця;
- 16 - штуцер;
- 17 - шайба;
- 18 - гайка.

№ досліду	Швидкість ковзання, V , м/с	Зношення алюмінію Ал-9 в $\text{мг}/\text{см}^2$ від ступені деформації на границю текучості алюмінію (ε_r),%			
		0	20	40	60
1	0,3	2,3	1,8	1,2	0,8
2	1,0	8,2	6,2	4,1	1,8
3	2,0	4,1	3,0	2,6	2,1
4	2,5	3,8	2,8	2,5	2,0
5	3,0	4,2	3,1	2,8	2,5
6	4,0	5,0	4,1	3,9	3,6
7	5,0	5,7	5,1	4,9	4,7

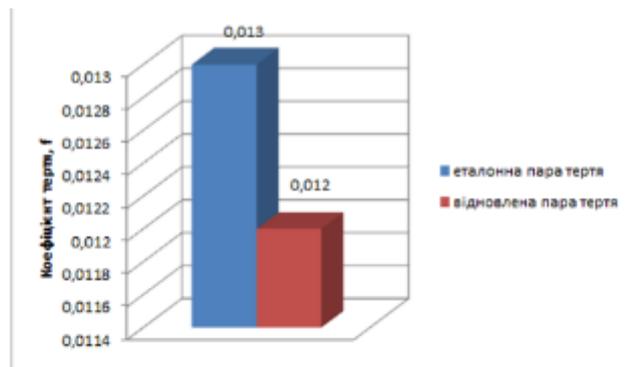


Залежність зносу алюмінію при сухому терті з $P = 0,20$ МПа (матеріал валу – сталь 40Х) від швидкості ковзання і ступеня пластичної деформації, %: 1 – 0; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60.

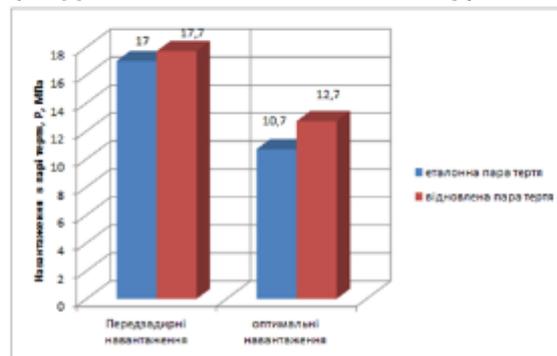
№ досліджу	Швидкість ковзання, V , м/с	Зношення алюмінію Ал-9 в мг/см ² від ступеню деформації на границю текучості алюмінію (ε_r) в відсотках		
		0	30	60
1	2,0	10,2	7,0	3,2
2	3,0	4,5	3,0	2,2
3	3,5	3,0	2,7	1,6
4	4,0	2,9	2,8	2,0
5	5,0	3,0	3,0	3,0
6	6,0	4,1	4,1	4,1
7	7,0	7,6	7,6	7,6



Залежність зносу алюмінію при терті з мащенням при $P=0,8$ МПа (матеріал валу – сталь 40Х) від швидкості ковзання і ступеня пластичної деформації, %: 1 – 0; 2 – 30; 3 – 60



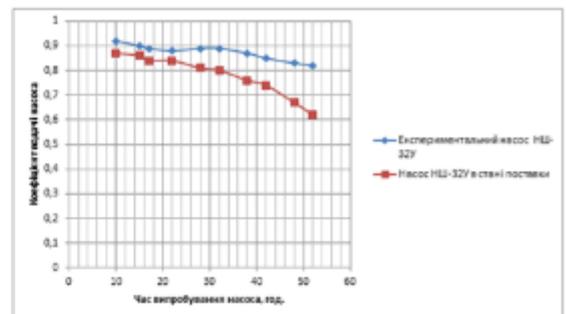
Мінімальні коефіцієнти пари тертя «колодязь корпуса – зуб шестерні»:
 1 – «еталонних» – «алюміній Ал-11 – сталь 40 Х»; 2 – відновлених – «алюміній Ал-11,
 поверхнево-пластична роздача з наповнювачем епоксидною композицією – сталь 40 Х»



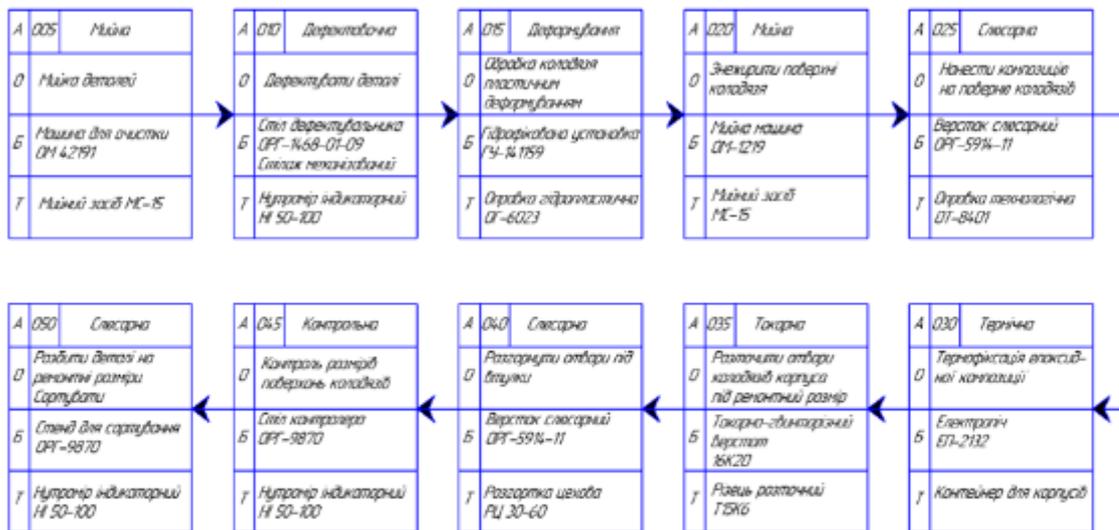
Передзадирні і оптимальні навантаження для «еталонної» і відновленої пари тертя¹¹

Зміна об'ємного коефіцієнта корисної дії агрегату від часу роботи

№ з/п	Коефіцієнт об'ємної подачі агрегату, η	Час роботи агрегату, t , год.
Корпус шестеренного насоса <i>НШП-32У</i> відновлений		
1	0,92	10,0
2	0,90	15,0
3	0,89	17,0
4	0,88	22,0
5	0,89	28,0
6	0,89	32,0
7	0,87	38,0
8	0,85	42,0
9	0,83	48,0
10	0,82	52,0
11	0,80	58,0
12	0,78	62,0
13	0,77	68,0
Корпус шестеренного насоса <i>НШП-32У</i> новий		
1	0,87	10,0
2	0,86	15,0
3	0,84	17,0
4	0,84	22,0
5	0,81	28,0
6	0,80	32,0
7	0,76	38,0
8	0,74	42,0
9	0,67	48,0
10	0,62	52,0
11	-	58,0
12	-	62,0
13	-	68,0



Блок-схема технологічного процесу відновлення корпусу шестеренного насоса модифікації НШ-У



Техніко-економічні показники

Назва показника	Існуючий варіант	Запропонований варіант
Види роботи	ремонт	ремонт
Об'єм роботи, од.	500	900
Склад працюючих, осіб.	1	2
Величини капіталовкладень, грн.	125000	123500
Цехові витрати, всього, грн.	483710,1	769403,2
- за робітня платня, грн.	146400,0	292800,0
- амортизація, грн.	27412,5	54496,1
- електроенергія, грн.	112320,0	129600,0
- сервісні витрати, грн.	8223,8	16348,8
- витрати на покращення умов праці, грн.	23033,8	36638,3
Річна собівартість об'єктів ремонту, грн.	493384,3	784791,3
Сумарний прибуток, грн.	106615,7	295208,7
Отриманий прибуток, грн.	-	+188593,0
Час, за який окупляться матеріальні вкладення, роки	-	1,3

Основні висновки

1. При зазорі $B=80\text{ мкм}$ в спряженні «зуб шестерні-колодязь корпусу» витоки робочої рідини починають різко збільшуватися, що обумовлюється зменшенням дії облітерації, яка особливо проявляється при мінімальних зазорах в щілині. Витоки робочої рідини також збільшуються з ростом тиску робочої рідини, що обумовлюється зростанням швидкості перетікання оливи із зони високого тиску до зони низького.
2. При значення зазору $B=150\text{ мкм}$ і робочому тиску $\Delta P=140\text{ МПа}$ витоки оливи дорівнюють $Q=224,4\text{ см}^3/\text{с}$, при яких коефіцієнт подачі насоса дорівнює 0,55, який відповідає його граничному значенню, що вказує на граничне значення даного зазору за структурним параметром.
3. При обробці шестерень насоса до першого ремонтного розміру (P1), що відповідає теоретичній подачі насоса НШ-32У ($q_t = 31,35\text{ см}^3/\text{об}$) технічний ресурс насоса скорочується на 7,0 %, а для насоса НШ-50У ресурс зменшиться на 5 %. При шліфуванні шестерень під другий ремонтний розмір (P2) ресурс насосів відповідно зменшиться – на 13 % для насоса НШ-32У і на – 10 % для насосу НШ-50У.
4. Теоретичні дослідження показують, що відхилення геометричних розмірів валів шестерень від їх номінальних значень, в результаті процесу механічної обробки, призводять до зниження вихідних функціональних параметрів насоса і скорочення запланованого технічного ресурсу.
5. Поверхні тертя, що працюють без змащення, для інтервалу швидкості ковзання мають знос зразка виготовленого з алюмінієвого сплаву і обробленого поверхневою пластичною деформацією меншим в рази. Мінімальний знос спостерігається для ступеня пластичного деформування-60 %, це обумовлюється швидкісним процесом деформації, який формує мілко дисперсну кристалеву решітку.

6. Для спряження, «сплав Ал-11, поверхнева пластична деформація та полімерна композиція – сталь 40Х» значення мінімального коефіцієнта тертя на 8 % є меншим в зрівнянні з стандартним з'єднанням «сплав Ал-11 – сталь 40Х». Це пояснюється наявністю прошарків полімерної композиції на робочій поверхні колодязя корпусу, що зменшує адгезію в парі терті і обумовлює мінімальний коефіцієнт тертя.

7. Значення навантажень, що визивають передзадирний та забезпечують оптимальний стан роботи спряження для зразків в стані поставки і відновлених, показали, що відновлена пара тертя має кращі показники на для передзадирних навантажень і на 18,7% для оптимальних навантажень. Підвищення порога навантаження експериментальної пари тертя обумовлюється використанням полімерної композиції, яка має більш кращий показник адгезії.

8. Різниця в об'ємному коефіцієнті подачі протягом перших 10 годин роботи обумовлюється робочим процесом зношування деталі з відхиленнями від шорсткості і геометричної форми її поверхні. Інші зміни між об'ємними коефіцієнтами подачі відбуваються через процес подальшого зносу деталей з'єднання «колодязі корпусу – зуб шестерні». За 60 годин роботи відновлений агрегат має об'ємний коефіцієнт подачі ($\eta = 0,80$) більший на 25% в порівнянні з новим агрегатом ($\eta = 0,60$).

9. Підвищення експлуатаційного ресурсу відремонтованого агрегату на 25% пояснюється появою зміцненої поверхні колодязя, в результаті пластичної її деформації, та покращенням адгезійного стану між деталями в з'єднанні «колодязі корпусу-зуб шестерні» застосуванням полімерної композиції.

10. Застосування поверхневого пластичного деформування в технології ремонту колодязів корпусу насоса, характеризується не значною трудомісткістю та простотою технологічної оснастки, забезпеченням збільшення післяремонтного ресурсу агрегату, а також можливістю багаторазового використання даної технології на сервісних підприємствах.

11. Для забезпечення вибухобезпеки праці при застосування розчинників для видалення жирових плівок на поверхнях гідравлічних агрегатів необхідно через кожну годину провітрювати приміщення, відкриваючи вікна на час, не менше ніж 1,32 хвилини. А при досягнення гранично-допустимої концентрації провітрювання повинно тривати не менше 4,5 години.

12. Розроблення технології ремонту гідравлічних насосів з застосуванням поверхневої пластичної деформації для ремонту корпусів збільшило сумарний прибуток на 68,3% за рахунок зменшення трудомісткості відновлювальних операцій, а час відшкодування матеріальних вкладень становить 1,3 роки, що вказує на ефективність запропонованих заходів.