

Шифр «Ресурс гідроприводів»

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА
ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ОБ'ЄМНИХ
ГІДРОПРИВОДІВ ЗА РАХУНОК
ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ**

Харків, 2020

ВСТУП	3
1 КОНСТРУКЦІЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112	5
2 АНАЛІЗ ПРИЧИН ВІДМОВ І ПОРУШЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112	8
3 ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112	11
4 ТЕОРЕТИЧНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112	16
5 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
6 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112	24
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Аналіз конструкцій сучасних вітчизняних і закордонних сільськогосподарських машин показав, що однією з найбільш відповідальних систем, що впливають на надійність техніки, є об'ємний гідропривід. Прикладом такого гідроприводу є гідростатична трансмісія (ГСТ) ГСТ_Г112, що складається зі складних дорогих аксіально-поршневих агрегатів (гідронасоса НПА-112 і гідромотора МПА-112).

По даним науково-технічної літератури частка об'ємних гідроприводів у трансмісіях сучасній техніці для АГЖ не менш 35 %, а на відмови ГСТ у доремонтний період експлуатації доводиться до 20 % від загального числа відмов машин [1,2].

Заводом-виробником «Гідросила» (Україна, м. Кіровоград) гарантований наробіток до відмови нових ГСТ-112 не менш 1500 годин роботи при номінальних режимах і середній доремонтний ресурс не менш 3000 мото-год. Однак в умовах реальної експлуатації ці показники значно нижче нормативних значень. Наробіток до відмови становить не більш 1000 мото-годин роботи, а середній доремонтний ресурс не перевищує 60 % від заявленого [3-6].

Дані про технічний рівень, наробіток до відмови, причинах відмов і міжремонтному ресурсі відремонтованих ГСТ суперечливі, але ці показники значно нижче, чим у нового виробу. У зв'язку із цим дослідження причин втрати працездатності й пошук шляхів підвищення довговічності об'ємного гідроприводу ГСТ-112 є актуальним завданням.

У цей час підвищенням надійності техніки активно займаються конструкторські відділи заводів-виготовлювачів, галузеві НДІ наукові підрозділи вузів. Проведений аналіз показав, що немає єдиної думки про механізм і причини відмов об'ємних гідроприводів, застосовуються різні підходи до підвищення їх довговічності.

У світовій практиці дане завдання вирішується поліпшенням конструкцій робочих елементів машин; для їхнього виготовлення створюються нові

матеріали, що володіють високими міцнісними властивостями, застосовуються композитні матеріали, на робочі поверхні деталей наносяться покриття з новими функціональними властивостями.

Встановлено, що для забезпечення 90-100 % міжремонтного ресурсу агрегатів необхідно знизити інтенсивність зношування робочих поверхонь не менш, чим в 1, 5-2 рази [14, 15]. Для створення таких покриттів пропонується використовувати джерела концентрованої енергії. Наприклад, при виготовленні розподільників гідротрансмсії застосовують двошарові матеріали з м'якою та твердою сторонами. Однак, запропоновані підходи, в силу економічних міркувань, не реалізовані в сервісних підприємствах і не дозволяють кардинально розв'язати проблему підвищення довговічності об'ємних гідроприводів.

Основні рекомендації виробника сервісним підприємствам зводяться до заміни зношених деталей на нові, однак середній міжремонтний ресурс відремонтованих ГСТ-112 залишається низьким, не більш 80% від доремонтного.

Існує гостра необхідність у розробці нових, економічно доцільних технологій ремонту об'ємних гідроприводів, що забезпечують технічний стан і підвищення міжремонтного ресурсу агрегатів до рівня нового.

1 КОНСТРУКЦІЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112

Об'ємний гідропривід це сукупність об'ємних гідромашин і гідроапаратури, призначених для передачі механічної енергії від двигуна до робочого органу за допомогою потоку робочої рідини.

До об'ємних гідромашин відносяться гідронасоси, (вхідна ланка) і гідромотори (вихідна ланка), класифікація яких представлено на рисунку 1. Під гідроапаратурою розуміють обладнання для керування (регулювання) роботою об'ємного гідроприводу.



Рисунок 1 - Класифікація агрегатів об'ємного гідроприводу

Найбільше поширення в мобільних енергетичних засобах одержали роторно-поршневі об'ємні гідроприводи, їх частка становить до 30% від загальної кількості [2]. Прикладом такого гідроприводу є гідростатична трансмісія ГСТ-112, яка відноситься до аксіально-поршневих гідромашин другого типу. Максимальний кут нахилу для них становить не більш 45° [1-3].

На сьогоднішній день виробниками об'ємних гідроприводів в Україні є ВАТ «Гідросила» (Україна, м. Кіровоград), з 2009 р. - виділене в окреме підприємство ЧАТ «Гідросила АПМ», і закордонні фірми ВАТ «Гідромаш» (г. Салават, Росія), ВАТ «Пневмостроймашина» (м. Єкатеринбург), «SAVER-

DANFOSS» (Німеччина), «Psm-hydraulics», Rexroth-Bosch Group (Німеччина), Kawasaki Precision Machinery (Японія), HIDRAULICA UM PLOPENI (Румунія), EUROPARTS (Словаччина) та ін.. [3].

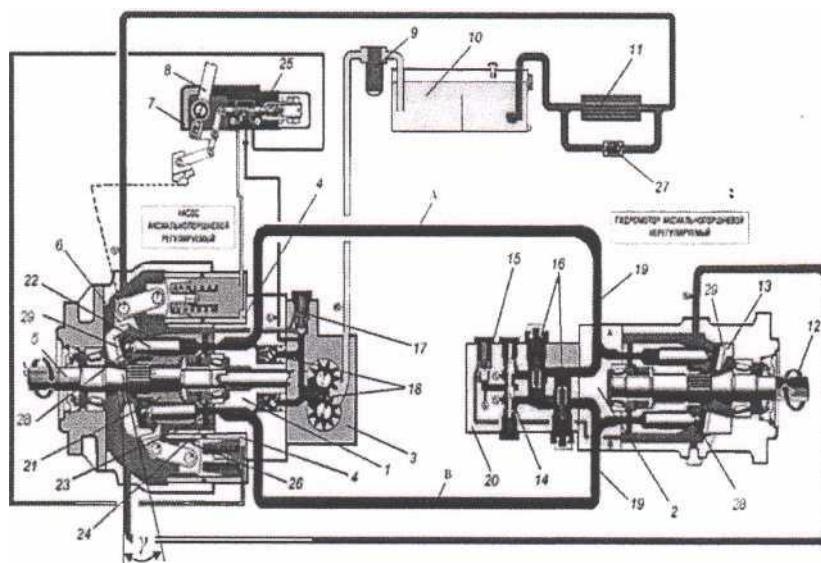
Гідропривід ГСТ-112 уніфікований по габаритних і приєднувальних розмірах із ГСТ-90, але вигідно відрізняється від нього підвищеною потужністю.

Аналіз літературних джерел показав, що ГСТ-112 використовується на різноманітній вітчизняній сільськогосподарській і будівельно-дорожній техніці: зернозбиральні комбайни ACROS модельного ряду 530,535,560,580, Дон-1500Б (із приводним мостом «Конорд», «Клас», «ТКЗ»). 1500Р випуску з 1997 р., Дон-142, КЗС-7, КЗС-10 ДО «Полісся», КЗР-10 «Полісся-ротор», КЗС-9-1 «Славутич», «VECTOR -410, 420», СК-5М-1 (із приводним мостом «Херсонські комбайни»); кормозбиральні комбайни Дон-680/680М, КВК-800 «Полісся», «Полісся УЗС 2-250»; асфальтоукладальники СД-404, ДС-504/506; автобетоновози СБ-/159Б/237, АЕС-8ПА/9ВА/10ПА/1 ША/12; фронтальний навантажувач ТЕ-40, а також на закордонній техніці таких відомих марок як: «Claas», «Fendt», «Case», «Challenger», «John Deer», «New-Holland» і ін.

Широке застосування об'ємного гідроприводу ГСТ-112 на сільськогосподарській техніці обумовлене рядом переваг, до яких відноситься безступінчасте регулювання швидкості обертання й реверс гідромотора, відрізняється компактністю, високим ККД до 0,97, придатний для роботи при частотах обертання до 3000 об/хв і тиску до 42 МПа, при цьому має малу інерційність. Такі технічні можливості роблять ГСТ-112 універсальним засобом при механізації й автоматизації різних технологічних процесів.

На рисунку 2 представлений об'ємний гідропривід ГСТ-112, який складається з регульованого аксіально-поршневого гідронасоса НПА-112- 1, у зборі із шестеренним насосом підживлення 3 і серворозподільником керування 7, нерегульованого гідромотора МПА-112- 2, у зборі із клапанною коробкою 20. Гідронасос Е0ТА-112 з'єднується з гідромотором МПА-112 лініями

нагнітання «А» і «В» 19. Є гідробак для робочої рідини 10, теплообмінник 11 і фільтр тонкого очищення з вакуумметром 9 [7,9,11].



1 - гідронасос НПА-112; 2 - гідромотор МПА-112; 3 - насос підживлення; 4 - сервоциліндри; 5 - вал насоса; 6 - колиска; 7 - серворозподільник; 8 - важіль керування серворозподільника; 9 - фільтр; 10 - гідробак; 11 - теплообмінник; 12 - вал гідромотора; 13 - упор; 14 - золотник клапанної коробки; 15 - клапан переливний; 16 - клапан високого тиску; 17 - клапан запобіжний насосу підживлення; 18 - клапан зворотній; 19 - лінії нагнітання А и В; 20 - клапан коробки; 21 - блок циліндрів; 22 - поршні; 23 - розподільник латунний; 24 - розподільник сталевий; 25 - золотник серворозподільника; 26 - поршні сервоциліндра; 27 - клапан запобіжний теплообмінника; 28 - п'ята поршня; 29 - опора

Рисунок 2 - Схема об'ємного гідроприводу ГСТ-112

Для виготовлення найбільш відповідальних деталей об'ємного гідроприводу ГСТ-112 на заводі-виробнику ВАТ «Гідросила» і ВАТ «Гідромаш» використовуються наступні матеріали: для сталевих розподільників сталь Х12Ф1, із твердістю 55...60 НКС (у відмінності від ГСТ- 90, де для цього використовувалася сталь ШХ15 СГ-Ш); для опор сталь ШХ 15, із твердістю 50..55 НКС [3,8,9].

Використані на заводі-виробнику матеріали суттєво відрізняються від матеріалів рекомендованих конструкторами й проектувальниками. Це пояснюється техніко-економічними міркуваннями, і не завжди обґрунтовуються теоретичними розрахунками й експериментальними дослідженнями. Неправильно підібрані матеріали ресурсо лімітованих деталей пар тертя можуть скоротити довговічність окремих з'єднань і об'ємного гідроприводу в цілому.

2 АНАЛІЗ ПРИЧИН ВІДМОВ І ПОРУШЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112

За даними заводу-виробника ВАТ «Гідросила» критерієм граничного стану об'ємного гідроприводу ГСТ-112 є зниження об'ємного ККД гідронасоса (гідромотора) на номінальних режимах більш ніж на 20%. Гарантійний наробіток до відмови для нових ГСТ-112 становитиме 1500 мото-годин роботи при номінальних режимах і середній доремонтний ресурс не менш 3000 мото-год. [10,11].

Дослідження експлуатаційної надійності й причин відмови об'ємних гідроприводів, проведені Камчуговим Н.В., Баликовим Н.М. [6], Галіним Д.А. [3] показали, що наробіток до відмови становить не більш 1000 годин роботи, а середній доремонтний ресурс не перевищує 60 % від заявленого. Причинами відмови ГСТ є гідроабразивне зношування деталей і збільшення зазорів у прецизійних з'єднаннях вузлів і агрегатів гідроприводу.

Причини, що приводять до ресурсної відмови об'ємного гідроприводу згідно [6,13], можна розділити на три групи: конструкційні, виробничі й експлуатаційні.

Конструкційні відмови (до 20% від загальної кількості) обумовлені, в основному не досконалістю й прорахункам у конструкції деталей при проектуванні.

Виробничі відмови (до 50%) обумовлені порушенням вимог конструкторської документації, технології виготовлення, застосуванням

некондиційних матеріалів, недостатнім контролем якості в процесі виробництва. Безпідставна заміна матеріалів для виробництва деталей на - заводах - виробниках може привести до зниження ресурсу агрегату в цілому.

Експлуатаційні відмови (до 30%) обумовлені не дотриманням правил застережених у ТУ 4142-005-07522144-2000, низкою кваліфікацією обслуговуючого персоналу, природнього старіння й зношування ГСТ.

Найбільший інтерес для нас представляють експлуатаційні відмови, подальші дослідження спрямовані на їхнє докладне вивчення.

Аналіз джерел [4,6,9,12,13,24,25] показав, що довговічність об'ємних гідроприводів у процесі експлуатації багато в чому залежить від режимів і умов роботи, якості, температури й змісту забруднень у робочій рідині.

Проведені дослідження в роботах [3,6,14] показали, що не менш 60 % експлуатаційних відмов об'ємних гідроприводів прямо або побічно пов'язане із забрудненням робочої рідини.

Для ГСТ-112 у якості робочої рідини використовується гідравлічне масло МГЕ-46В (ТУ 38.001347-2000), клас чистоти якого не гірше 12 за ДСТ 17216-2001 і кінематична в'язкість при температурі 50°С-28...30 мм²/с [10,11,14].

Крім своєї основної функції робоча рідина виконує роль змащення робочих поверхонь деталей, тому до неї пред'являються підвищені вимоги по чистоті, температурі й газонасиченості.

При підвищеній температурі робочої рідини відбувається зниження її в'язкості й збільшення витоків у з'єднаннях, що викликає зниження об'ємного ККД гідроприводу [1,9].

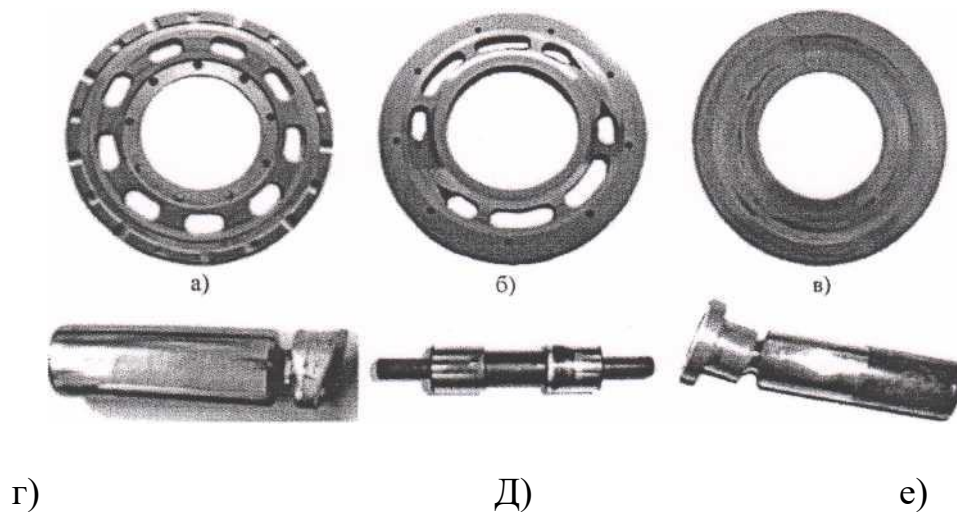
У процесі експлуатації об'ємного гідроприводу ГСТ-112 деталі в з'єднаннях піддаються різним видам зношування (рисунок 3).

Робочі поверхні латунного й сталевого розподільників піддаються гідроабразивному зношуванню. Абразивні частинки, потрапляючи між розподільниками, викликають зношування з боку випускних серпоподібних

вікон. У міру зростання значення зазору інтенсивність зношування з'єднання збільшується (рисунок 3 а, б).

При високій температурі та швидкості ковзання можливо виникнення схоплювання в з'єднаннях «латунний - сталевий розподільники», «п'ята - опора колиски» і «п'ята - похила шайба» спочатку на окремих ділянках, а потім і по всій робочій поверхні деталей, що призводить до підвищення сил тертя в з'єднаннях. У наслідок цього виникає пластична деформація та закупорювання розвантажувального отвору п'яти, що спонукає повному стиранню робочої поверхні п'яти та опори [15](рисунок 3в, г).

Кавітаційні руйнування в об'ємному гідроприводі ГСТ-112 властиві для робочих поверхонь: поршня, латунного розподільника, п'яти, корпусу та кришок насосу підживлення.



а) латунного та б) сталевого розподільників; в) опора; г) п'ята поршня; д) золотника клапанної коробки; е) поршень.

Рисунок 3 - Зовнішній вигляд зношування робочих поверхонь

Існують різні думки про механізм втрати працездатності та вплив з'єднань ГСТ на його працездатність.

Частина дослідників вважає, що основний вплив на втрату працездатності має абразивне зношування та витік робочої рідини з розподільної пари. При досягненні значного зазору в з'єднанні «латунний -

сталевий розподільник» відбувається різка розгерметизація качаючого вузла та втрата працездатності гідроприводу.

Герметичність розподільного з'єднання залежить від діючих на нього сил.

Для того щоб був забезпечений надійний щільний контакт, сила тиску рідини, що притискає блок циліндрів, повинна не значно перевищувати сили, що віджимають, які діють у стиковому зазорі [1,11]:

$$P_{п} + N_{зп} > K_{п}. \quad (2.1)$$

При порушенні цієї умови латунний розподільник відійде від сталевого й відбудеться розгерметизація розподільного з'єднання.

Місця прикладення сил $P_{п}$ і $K_{п}$ зміщені щодо центру обертання блоку циліндрів, і зусилля пружини $I_{пр}$ перешкоджає розгерметизації, тоді латунний розподільник відійде від сталевого з одного краю (в області дії високого тиску). Гідродинамічний клин, що утворюється при цьому розділяє деталі розподільного з'єднання, і виникає відмова ГСТ.

Для підтвердження або відхилення запропонованого механізму втрати працездатності необхідно провести теоретичні і експериментальні дослідження ГСТ-112, що є одним із завдань наукової роботи.

Достовірні дані про причини й механізм втрати працездатності ГСТ дозволять запропонувати нові шляхи підвищення довговічності об'ємних гідроприводів.

3 ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112

Проведений аналіз показав, що немає єдиної думки про причини відмови та механізм втрати працездатності об'ємних гідроприводів, застосовуються різні шляхи до підвищення їх довговічності.

Конструкторський підхід полягає в покращенні конструкції робочих елементів машин, для їхнього виготовлення створюються нові матеріали, з високими стійкістними властивостями, застосовуються композитні матеріали.

Наприклад, при виготовленні розподільників гідротрансмисій застосовують двошарові матеріали з м'якою й твердою сторонами.

Експлуатаційний підхід встановлює жорсткий регламент проведення ТО та забороняє роботу агрегатів у режимах перевищуючих оптимальні.

Конструкторські й експлуатаційні підходи реалізуються заводом-виробником і експлуатуючими підприємствами. Однак, запропоновані підходи, у силу різних техніко-економічних причин не реалізовані на сервісних підприємствах і не дозволяють кардинально розв'язати проблему підвищення довговічності об'ємних гідроприводів.

Основні технологічні рекомендації заводу-виробника ВАТ «Гідросила» та ВАТ «Гідромаш» сервісним центрам і ремонтним підприємствам зводяться до заміни зношених деталей на нові (метод перекомплектовки) [15]. Сутність методу полягає у видаленні слідів зношування з робочих поверхонь деталей шліфуванням з наступним доведенням деталей на доводочних чавунних плитах якщо величина зносів не перевищує граничних значень, а якщо перевищують, то замінюють зношені деталі на нові [18]. Недоліком даного методу, є висока собівартість ремонту до 70% від вартості нового комплекту ГСТ-112. Середній міжремонтний ресурс відремонтованих даним методом ГСТ-112 залишається низьким, не більш 80% від доремонтного.

Перспективним технологічним методом підвищення довговічності гідроприводу є процес нанесення на робочі поверхні деталей покриттів із заданими технічними властивостями. Розглянемо методи відновлення деталей об'ємного гідроприводу, які пропонують на практиці.

У роботі [6] описаний спосіб зміцнення й відновлення деталей ресурсолімітованих з'єднань об'ємного гідроприводу нанесенням хімічних покриттів методами: сульфомолібденхромуванням і боромідсульфідкуванням. Сутність способу полягає у формуванні покриттів на деталях у ваннах з розчином хімічно активних компонентів: хромовий ангідрид і десульфід молібдену (CrO_3, MoS_2) з боросірновато кислотою міддю ($Na_2B_4O_7, CuS_2O_3$). Переваги цього методу полягає в зміцненні поверхні деталі з появою

интерметалічних з'єднань та плівок з металовмісними компонентами. До недоліків можна віднести підвищені вимоги, до поверхонь деталей, які покриваються. Більша частина вибрактованих деталей при нанесенні покриттів таким способом відбувається через незадовільну підготовку поверхні.

У роботі [16] робочі поверхні золотників та поршнів об'ємних гідроприводів піддають хромуванню. Сутність способу полягає в дифузійному насиченні робочих поверхонь деталей хромом з електроліту під дією електричного струму. Електроліт складається з хімічно активних компонентів: хромового ангідриду CrO_3 та сірчаної кислоти H_2SO_4 . Переваги методу полягає в нанесення на робочі поверхні деталей корозійного й зносостійкого покриття з високою щільністю. До недоліків можна віднести високу складність і енергоємність процесу, при збільшенні товщини шару хрому в покритті виникають внутрішні напруження, які приводять до появи тріщин і його відшаровування.

Застосовується, також, плазмове напилювання, яке призначено для відновлення й зміцнення робочих поверхонь деталей качаючого вузла, нанесенням захисних покриттів [17,29]. Сутність способу полягає в тому, що у високотемпературний плазмовий потік подається матеріал, який розплавляється та у вигляді двохфазного стану направляється на деталь. Напилення ведеться зносостійкими й антифрикційними матеріалами до досягнення заданої товщини шару. Переваги методу є надійний захист від корозії та можливість автоматизації процесу. До недоліків методу відносяться: низька зносостійкість і адгезійна міцність, дефіцитні витратні матеріали. При нанесенні покриттів на поршні й золотники, що мають невеликі розміри, спостерігається жолоблення деталей та збільшені витрати напиленого матеріалу.

Аналіз технологій відновлення деталей об'ємних гідроприводів показав, що частина з них мають високу вартість, складність і енергоємність, значні затрати на дефіцитні матеріали й підвищені експлуатаційні вимоги до робочих поверхонь деталей, на які наносяться покриття. Середній міжремонтний ресурс відремонтованих агрегатів залишається низьким від 60 до 80 % від ресурсу

Слід звернути увагу на такі технології, які забезпечують ресурс відновлених деталей на рівні нових і мають низьку собівартість. Одним з таких способів, що відповідають вимогам універсальності, локальності обробки, невеликих витрат на експлуатацію встаткування й можливості використання великої гами електродних матеріалів, є електроіскрова обробка (ЕІО). Однак, для відновлення відповідальних деталей ГСТ-112 дана технологія не застосовувалася.

Процес ЕІО заснований на використанні електричного імпульсного розряду, що протікає між електродами й оброблюваною деталлю, в результаті якого відбувається безперервний процес руйнування матеріалу електрода (анода) при високій температурі розряду - 5000...11000°C и перенос продуктів ерозії на деталь (катод). Процес короткочасний (до 10 мкс), нанесений матеріал електроду миттєвого охолоджується, що викликає надшвидкісне загартування покриття до високої твердості. Покриття, отримані ЕІО, мають міцний зв'язок з основним матеріалом деталі внаслідок хімічних і дифузійних процесів, що протікають при наплавленні.

Електроіскровим методом можна провести: електроіскрове наплавлення (ЕІН), електроіскрове зміцнення (ЕІЗ) і електроіскрове легування (ЕІЛ) у механізованому або ручному режимах.

Функціональні властивості покриття при ЕІО (товщина, мікротвердість, шорсткість) залежать від багатьох перемінних факторів, які носять як якісний, так і кількісний характер.

При реалізації процесу ЕІО найбільш складним і відповідальним є вибір електродного матеріалу.

Аналіз ряду робіт попередніх дослідників [14,17] показав, що при зміцненні методом ЕІО деталей гідроагрегатів з кольорового металу: бронзи Бро12, латуні Лмцкнс58-3-1,5-1,5-1, застосовувалися електроди з: молібдену Мо, нікелю Ні, бронзи й латуні. Найкращі результати показали покриття, отримані електродами з молібдену Мо й матеріалу деталі. Тому для ЕІЗ деталей

ГСТ-112 з кольорового металу беремо електроди з молібдену Мо та латуні Лмцска-58-2-2-1-1 (матеріал деталі).

Вибір матеріалу електрода для відновлення деталей типу «вал» об'ємного гідроприводу методом ЕІО в механізованому режимі ґрунтувався на результатах робіт [17,19-23]. У даних роботах досліджувався вплив електродів зі сталі: Св-08ГА, 65Г, 11Х15М6, 85 13Х25Н18 на товщину й площу опорної поверхні, отриманих покриттів на сталях: 20Х, 40Х, 18ХГТ, 38Х2МЮА.

З робіт випливає, що при однакових технологічних режимах ЕІО (енергія імпульсу 1,66 Дж, частоти подачі імпульсу 200 Гц) електродом з низьковуглецевої сталі Св-08ГА, товщина покриття становить не більш 210 мкм на діаметр при площі опорної поверхні не менш 60 %. Твердість покриття при цьому не перевищує 30 НКС. При ЕІО електродом зі сталі 65Г, товщина покриттів становить не менш 190 мкм на діаметр при площі опорної поверхні 75-80 %. Твердість покриттів становлять 58...62 НКС. При ЕІО електродом зі сталі 85, товщина одержаних покриттів становить не менше 110 мкм на діаметр при площі опорної поверхні не менш 75%. Твердість становить 65...80 НКС.

Таким чином, можна зробити висновок, що при ЕІО електродами з низьковуглецевих сталей, нанесені покриття відрізняються великою товщиною, але низькою твердістю, покриття отримані електродами з високовуглецевих сталей наплавленням мають меншу товщину, але високу твердістю. Тобто, товщина й твердість отриманих покриттів прямо залежать від вмісту вуглецю в матеріалі електроду.

Для проведення власних досліджень процесу ЕІН сталевих деталей ГСТ-112 у механізованому режимі застосовувалися електроди з різним змістом вуглецю: . низьковуглецева сталь Св-08, середньовуглицева 30Г и багатовуглецева У10.

Таким чином, аналіз технологій підвищення довговічності об'ємного гідроприводу ГСТ-112 показав, що існує гостра необхідність у розробці нових, економічно доцільних технологій їх ремонту, які забезпечать технічний стан і підвищення міжремонтного ресурсу агрегатів до рівня нового.

4 ТЕОРЕТИЧНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112

Повний середній ресурс агрегату за весь термін сл.

ужби визначається вираженням[31, 32] :

$$\bar{T}_{mk} = \bar{t}_{dp} + \omega_{pH} \cdot \bar{t}_{mp} - 0,5 \cdot \bar{t}_{mp} \left[1 + V^2(\bar{t}_{mp}) \right] - \varepsilon \bar{t}_{mp}, \quad (4.1)$$

Де t_{gp}, t_{mp} – відповідно, середні значення доремонтного й міжремонтних ресурсів, мото-год.; ω_{pH} – середнє число ремонтів за весь термін служби, шт.; $V(t_{mp})$ – коефіцієнт варіації міжремонтних ресурсів; ε – погрішність оцінки, рівна 0,05.

З формули (2.13) випливає, що повний ресурс агрегату збільшується зі збільшенням доремонтного й міжремонтного ресурсів, середнього числа ремонтів за весь термін служби й зменшується із зростанням коефіцієнта варіації міжремонтних ресурсів.

У процесі досліджень встановлено, що для підвищення доремонтного ресурсу ГСТ-112 необхідно підвищити продуктивність у лінії керування шляхом застосування насоса підживлення більшого робочого об'єму. Випробування бувшого в експлуатації ГСТ-112 з насосом підживлення НШ-32 (замість штатного НШ-18) дозволило підвищити подачу в лінії нагнітання на 9,4%, і об'ємний ККД із 0,76 до 0,83.

Технологічний підхід до підвищення міжремонтного ресурсу полягає в нанесенні на зношені робочі поверхні деталей ресурсолімітуючих з'єднань ГСТ-112 покриттів із заданими функціональними властивостями.

Відповідно до ГОСТ 23.224-86 основними триботехнічними характеристиками, що оцінюють пари тертя, є несуча здатність і інтенсивність зношування.

Несуча здатність пари тертя визначається вираженням:

$$P_{МП} = \frac{H_{\mu}^r}{R_z^2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_0} \right) \geq \sigma_z \max, \quad (4.2)$$

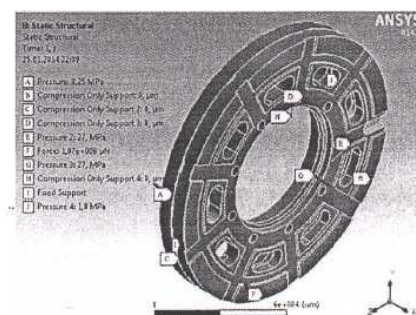
де $P_{МП}$ - максимальне питоме навантаження в парі тертя за МПа;

H_{μ} – мікротвердість більш м'якої поверхні, МПа; r – радіус закруглення нерівностей більш твердої поверхні, мкм; Rz – середня висота нерівностей більш твердої поверхні, мкм; τ – міцність на зріз адгезійних зв'язку містків, що утворюються, зварювання, Мпа; σ_0 – границя текучості деформованої поверхні, Мпа; - експлуатаційне навантаження на пару тертя, Мпа.

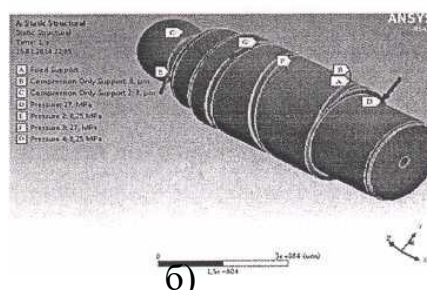
Максимальна довгостроково діюче експлуатаційне навантаження в з'єднаннях визначена за допомогою системи інженерного аналізу ANSYS, шляхом моделювання напружено-деформованого стану спряження ГСТ-112 [33].

Для математичного моделювання обрані ресурсолімітуючі спряження: «латунний – сталевий розподільники» і «поршень – отвір втулки блоку циліндрів».

Геометричні моделі з'єднань і схеми їх навантаження представлено на рисунку 4. В результаті розрахунків установлені значення дійсних контактних напруг у ресурсолімітованих з'єднаннях нового ГСТ-112, що відповідають діючому експлуатаційному навантаженню при номінальних режимах роботи.



а)



б)

а) з'єднання «латунний - сталевий розподільники»: А - тиск дренажу в 0,25 МПа; В - контакт із блоком циліндрів; С - контакт із задньою кришкою гідронасоса; D - контакт із кінцевим підшипником; Е, D - тиск у лінії

нагнітання в 27 МПа; Р - зусилля притискання розподільників пружиною блоку циліндрів, що відповідає 1726 Н; Н - контакт із кільцем; І - тверда фіксація сталевому розподільника; J- тиск у лінії нагнітання в 1,8 Мпа;

б) з'єднання «поршень - отвір втулки блоку циліндрів»: А - тверда фіксація; В - контакт із блоком циліндрів; З - контакт із п'ятої поршня; Б, Р - тиск в 27 МПа на днищі поршня, циліндричній поверхні поршггія та втулки блоку циліндрів; Е, О - тиск дренажу в 0,25 Мпа

Рисунок 4 - Геометричні моделі й схеми навантаження спряжень

Інтенсивність зношування відновлених робочих поверхонь деталей визначається вираженням [29]:

$$I = 3,82 \cdot E_{\text{пр}}^{3,93} \cdot \Delta_{\text{пр}}^{1,63} \cdot \left(\frac{H_{\omega}}{R_{\omega}} \right)^{0,326} \cdot \left(\frac{3f}{\sigma_0} \right)^{t_y} \leq I_{\text{min}} \quad (4.3)$$

де $E_{\text{пр}}$ – приведений модуль пружності контактуючих матеріалів, МПа; $\Delta_{\text{пр}}$ – приведений параметр шорсткості матеріалів; b , – параметри кривої опорної поверхні, мкм; H , R_{ω} – відповідно максимальна висота й радіус закруглення хвилі, мкм; f – коефіцієнт тертя; σ_0 – границя текучості більш м'якого матеріалу, МПа; t_y – параметр фрикційної втоми; I_{min} – інтенсивність зношування найбільше «сильної» пари тертя.

В результаті отримані мінімальні, середні та максимальні значення дійсних контактних напруг, що виникають у з'єднаннях об'ємного гідроприводу при номінальних режимах роботи, переміщення й деформації в елементах. Діаграми напруг у з'єднаннях представлено на рисунку 5.

Аналіз діаграм напруг з'єднання «латунний - сталевий розподільники» (рис.5), показав, що виникаючі напруги в зонах до яких був прикладений тиск нагнітання, у багато разів перевершують напруги в зоні всмоктування, також вони мають кільцевий характер (напруга падає у напрямку від вікон до країв розподільників). На сталевому розподільнику можна помітити (рис.5,а), що в перемичках між вікнами напруга має досить більші значення.

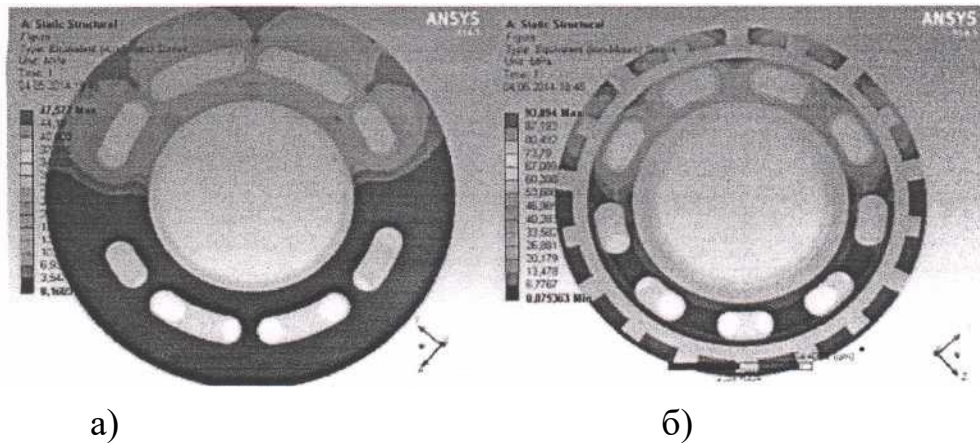


Рисунок 5 - Діаграма контактних напруг на поверхнях сталевого (а) і латунного (б) розподільників

Порівнюючи результати моделювання з результатами мікрометражних досліджень ГСТ-112 бувших в експлуатації, встановлено, що місця найбільших значень контактних напруг відповідають місцям найбільшого зношування робочих поверхонь деталей, що дозволяє зробити висновок про адекватність отриманих інженерних розрахунків.

Таким чином, у ході інженерних розрахунків отримані розрахункові значення максимальних контактних напруг у ресурсолімітуючих спряженнях, що відповідають максимальному тривалому діючому експлуатаційному навантаженню при номінальних режимах роботи.

Для підвищення максимальної несучої здатності з'єднання необхідно створювати на робочих поверхнях деталей покриття з новими функціональними властивостями, що приведе до перерозподілу контактних напруг і зниженню їх середніх значень.

Для забезпечення умов (4.1) і (4.2) необхідно змінювати фізико-механічні властивості робочих поверхонь: підвищувати мікротвердість, модуль пружності, комплексний параметр шорсткості й знижувати коефіцієнт тертя.

Отже, для підвищення міжремонтного ресурсу ГСТ-112 необхідно: - забезпечити в ресурсолімітуючих з'єднаннях несучу здатність більшою, чим максимально тривале діюче експлуатаційне навантаження в даних з'єднаннях: $R_{мп} > 22,10 \text{ МПа}$ - для з'єднання «латунний - сталевий розподільники»,

$R_{мп} > 28,31$ МПа - для з'єднання «поршень-отвір втулки блоку циліндрів»;

- забезпечити інтенсивність зношування робочих поверхонь ресурсолімітуючих з'єднань.

Як показав досвід, найбільш перспективним методом підвищення міжремонтного ресурсу є електроіскрова обробка. Функціональні властивості покриття при ЕІО залежать від багатьох змінних, які носять як якісний, так і кількісний характер. При обробці одиничної поверхні умовно функції товщини h і мікротвердості H_{μ} можна представити у вигляді:

$$h, H_{\mu} = f(W_{и}, f_{и}, t_{об}, d_{эл}, S, m, M_{д}, M_{эл}, V_{эл}, V_{д}, V_{S}, t_{раз} \dots), \quad (4.3)$$

де $W_{и}$ – енергія імпульсу струму, Дж; $f_{и}$ – частота подачі імпульсу струму, Гц; $t_{об}$ – час обробки, хв; $d_{эл}$ – діаметр електрода, мм; S – площа оброблюваної поверхні, див²; m – число проходів електрода, шт.; $M_{д}$ і $M_{эл}$ – відповідно, матеріал деталі й електрода; $V_{д}$, $V_{эл}$, V_{S} – відповідно, швидкості обертання деталі, електрода й поздовжнього переміщення електрода, мм/мін; $t_{раз}$ – тривалість одиничного імпульсу струму, мкс. Для пошуку технологічних режимів ЕІО, що забезпечують необхідні функціональні властивості, потрібне проведення багатофакторних експериментів, у яких вираження (4.3) виступає вихідною математичною моделлю.

5 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

На першому етапі проводили статистичну оцінку функціональних параметрів працездатності об'ємного гідроприводу ГСТ-112, дефектів і зносів робочих поверхонь деталей і зазорів у з'єднаннях.

Метою даних досліджень було виявлення закономірностей і параметрів розподілу функціональних характеристик об'ємного гідроприводу, зносів робочих поверхонь деталей і зазорів у з'єднаннях ГСТ-112 бувших в експлуатації.

На другому етапі проводилося моделювання процесу втрати працездатності ГСТ-112, планування й реалізація однофакторних і багатофакторного експериментів.

Ціль досліджень даного етапу полягала в пошуку закономірності зниження об'ємного ККД і тиску в лінії керування, а також визначенні граничних і допустимих значень зносів деталей і зазорів у ресурсолімітуючих з'єднаннях ГСТ-112.

На третьому етапі проведено дослідження методу технологічного впливу (ЕІО) на робочі поверхні деталей ресурсолімітуючих з'єднань об'ємних гідроприводів ГСТ-112 різними матеріалами електродів, сплановані й реалізовані однофакторні й багатофакторні експерименти.

Ціль досліджень полягала у визначенні зв'язку мікротвердості й товщини покриттів, сформованих на робочих поверхнях деталей, з енергетичними й кінематичними параметрами ЕІО для різних комбінацій матеріалів деталі й електрода. Результати досліджень дозволять встановити оптимальні технологічні режими методу технологічного впливу (ЕІО).

На четвертому етапі проводилося моделювання напружено-деформованого стану нових, зміцнених і відновлених методом ЕІО деталей ресурсолімітуючих з'єднань ГСТ-112 при експлуатаційному навантаженні, відповідної до номінальних режимів роботи.

Метою даних досліджень було визначення значень діючих контактних напруг виникаючих в ресурсолімітуючих з'єднаннях ГСТ-112 при експлуатаційному навантаженні, за допомогою інженерних розрахунків у програмному середовищі *ANSIS*.

На п'ятому етапі досліджувалися фізико - механічні властивості робочих поверхонь деталей ресурсолімітуючих з'єднань, відновлених і зміцнених методом ЕІО.

Ціль даного етапу полягала в пошуку технологічних режимів ЕІО та матеріалу електрода, які дозволять створити на робочих поверхнях деталей ресурсолімітованих з'єднань покриття з високою несучою здатністю й низькою інтенсивністю

зношування. Отримані результати були основою для розробки нової технології ремонту ГСТ-112.

Дослідження наступного етапу спрямовані на розробку нової технології ремонту об'ємних гідроприводів ГСТ-112 та обладнання оцінки його технічного стану.

Відремонтовані за новою технологією ремонту об'ємні гідроприводи ГСТ-112 зазнали стендовим і експлуатаційним випробуванням.

На останньому етапі проведений розрахунок техніко-економічної ефективності розробленої технології ремонту ГСТ-112.

Для оцінки технічного стану об'ємних гідроприводів ГСТ-112 бувших в експлуатації, були проведені стендові випробування за рахунок чого визначенні основні функціональні параметри працездатності об'ємного гідроприводу ГСТ-112, встановлених заводом-виробником: номінальної подачі та приводної потужності гідронасосу НПА-112, номінальних втрат тиску, при збільшенні крутного моменту гідромотора МПА-112 у лініях нагнітання та лінії керування, об'ємного та повного ККД.

Дефектація та мікрометражні дослідження проводилися по розроблених методиках згідно з технічними вимогами на поточний ремонт. Мікрометражні дослідження проводили для качаючого вузла, клапанної коробки, насосу підживлення, серворозподільника із сервоциліндром, задньої кришки, торцевого ущільнення.

Більш поглиблені мікрометражні дослідження зазнали ресурсолімітуючі з'єднання ГСТ-112: «латунний - сталевий розподільники», «поршень - отвір втулки блоку циліндрів», «золотник - отвір корпусу клапанної коробки».

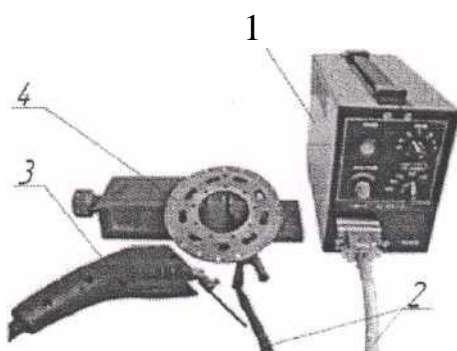
Площі зношування досліджуваних деталей вимірялися за допомогою профілографа-профілометра. Отримані профілограми дозволили визначити максимальні значення площ зношування для латунного та сталевих розподільників.

Для визначення впливу значень зносів деталей і зазорів у з'єднаннях на працездатність об'ємного гідроприводу ГСТ-112, проводили однофакторний і

за методикою заводу-виробника за допомогою розробленого обладнання для оцінки технічного стану об'ємних гідроприводів. Метою цих досліджень була • розробка регресійної математичної моделі, яка описує вплив факторів на параметр оптимізації.

У якості методу технологічного впливу на деталі ресурсолімітуючих з'єднань об'ємного гідроприводу ГСТ-112 обрана електроіскрова обробка-(ЕІО), яка дозволяє зміцнити робочу поверхню латунного розподільника, так і нанести шар металопокриття на поршень і золотник [29]. Метод ЕІО умовно розділили на: електроіскрове наплавлення (ЕІН) і електроіскрове зміцнення (ЕІЗ).

Електроіскрове зміцнення проводили в ручному режимі за допомогою



. 1 - генератор; 2 - кабель; 3 - електромагнітний вибробуджувач ; 4 - латунний розподільник ГСТ-112

Рисунок 6 – Установа «*FLIER 31*»

Електроіскрове наплавлення проводили в механізованому режимі на експериментальній установці.

Для оцінки розподілу мікротвердості по глибині зміцнених і відновлених зразків методом ЕІО, проводили металографічні дослідження отриманих покриттів.

Зразки для дослідження виготовляли з латуні Лмцска-5 8-2-2-1-1 (матеріал латунного розподільника ГСТ-112) з розмірами 10x10x8 мм і стали 50ХФА (матеріал поршня ГСТ-112) у вигляді кілець, діаметром 23 мм і шириною 15 мм.

Металографічні дослідження покриттів проводили на мікрослліфах.

Інженерні розрахунки та обробку експериментальних даних здійснювали на ПК за допомогою пакетів прикладних програм «FNSIS, «Statistica 8.0» і «Excel 2010».

6 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ ГСТ-112

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що основними причинами відмови об'ємних гідроприводів, по другій і третій групах складності є зношування робочих поверхонь деталей ресурсолімітованих спряжень: «латунний сталевий розподільники», «поршень - отвір втулки блоку циліндрів», «золотник - отвір корпусу клапанної коробки».

Технологія їх відновлення проводиться методом електроіскрової обробки на технологічних режимах, що забезпечують необхідні функціональні властивості робочих поверхонь.

Оцінка технічного стану об'ємних гідроприводів ГСТ-112, які поступили на ремонт з експлуатації здійснюється вхідним стендовим контролем. Методика випробувань представлена в ТУ заводу-виробника, технічних вимогах на поточний ремонт РТ 70.0001.031-83. Основними контролюючими параметрами є: подача та привідний момент гідронасосу, зменшення та змінення крутного моменту гідромотора, тиск у лініях нагнітання, керування та дренажу, об'ємний і повний ККД. За результатами вхідного стендового контролю ухвалюється рішення про необхідність ремонту ГСТ. При ремонті об'ємного гідроприводу потрібно провести роботи різної складності й трудомісткості з урахуванням доповнень, роз'яснень і обмежень, викладених у керівних технічних матеріалах і вимогах заводу-виробника. Мийка деталей здійснюється в мийній машині ОМ-5360 «Лабомід-203», або його аналогами з концентрацією 20 г/л, температура розчину 75-80С.

Розбирання агрегатів ГСТ-112 здійснюється відповідно до вимог заводу-виробника. Дефектація й мікрометраж деталей ГСТ-112 здійснюється згідно з

технічними вимогами на поточний ремонт РТ 70.0001.031-83 за методикою, представленої в р.3.

Вали, корпуси, пружини, стопорні кільця, насос підживлення і т.п.), що мають відхилення від технологічних параметрів - вибраковуються та замінюються на нові. Деталі об'ємного гідроприводу, що не мають вибраковочних дефектів проходять мікрометражні дослідження. За результатами мікрометражних досліджень:

- якщо товщина латунного або сталевих розподільників менше 7,942 мм, такі деталі підлягають вибракуванню та заміні на нові. А якщо більша, то деталі спряжень «латунний - сталевий розподільники» відновлюють;
- якщо товщина опори менш ніж 7,2 мм, то деталь підлягає вибракуванню та заміні на нову. А якщо ні, то опора відновлюється;
- якщо товщина латунної та сталеві втулок торцевого ущільнення менш 12,18 мм і 0,67 мм відповідно, то деталі підлягають вибракуванню й заміні на нові. А якщо ні, то втулки торцевого ущільнення відновлюють;
- якщо товщина п'яти поршня менш ніж 5,5 мм і люфт між п'ятою й поршнем більш 0,15 мм, то деталі підлягають вибракуванню й заміні на нові. А якщо ні, то деталі відновлюють;
- якщо зазор у з'єднанні «поршень-отвір втулки блоку циліндрів» більший 86,3 мм, то спряження відновлюють;
- якщо зазор у з'єднанні «золотник-отвір корпусу клапанної коробки» більший 47,14 мм, то спряження відновлюють;
- якщо інші деталі або з'єднання мають відхилення від технологічних параметрів, такі деталі підлягають вибракуванню й заміні на нові.

Технологічне відновлення полягає у виведенні слідів зношування на робочих поверхнях латунних і сталевих розподільників та зміцнення латунних розподільників гідронасосу (гідромотора). Виведення слідів зношування проводиться в механізованому режимі на верстаті ЗШП-320 з використанням чавунної доводочної плити 400 мм або вручну на чавунних доводочних плитах розмірами робочої поверхні 400 ± 50 мм x 400 ± 50 мм [11].

Далі проводиться зміцнення робочої поверхні латунного розподільника

1 методом електроіскрової обробки на установці «FLIER-31» 2 у ручному режимі. На робочу поверхню наноситься шар покриття електродом 3 з латуні марки Лмцска-58-2-2-1-1 0 3,8 мм, закріпленим на вібраторі 4, на раціональних технологічних режимах: час обробки $t_{\text{смл}}$ - 4 хвилини, енергія імпульсу 0,036 Дж і частота подачі імпульсу - 1280 Гц, що відповідає першому режиму й коефіцієнту енергії 0,4 установки. Час електроіскрового зміцнення латунного розподільника ГСТ-112 на даних технологічних режимах становить 194 хвилини.

Сліди зношування з робочої поверхні сталевого розподільника видаляють шліфуванням на універсальному плоскошліфувальному верстаті ЗГ-71М. Далі деталь промивається в гасі, а потім знежирюється уайт-спіритом. Після зміцнення й шліфування, робочі поверхні латунного й сталевих розподільників, їх доводять в механізованому або ручному режимі. Навантаження на розподільники при доведенні повинна становити - 0,5 - 1,5 кгс. У процесі доведення з поверхні латунного розподільника необхідно видалити шар покриття на глибину не менше 20 мкм.

Потім проводиться контроль параметрів. Допустимі відхилення від площинності й паралельності робочих поверхонь розподільників не більше 0,003 мм і 0,01 мм відповідно. Товщина латунного або сталевих розподільників не менша 7,942 мм.

Виведення слідів зношування в отворах втулок блоку циліндрів і корпуса клапанної коробки відновлюються здійснюється на верстаті для прецизійної обробки СП0-01. Зношені робочі поверхні поршнів і золотників клапанної коробки відновлюють методом електроіскрової обробки в механізованому режимі за допомогою, модернізованої установки, на базі токарського верстата 1А616. На робочу поверхню поршнів (золотників), закріплених у трикулачковому патроні токарського верстата 1 наноситься шар покриття установкою «FLIER-31» 2 з обробною голівкою «ВІ-1» 3 електродом зі сталі марки В10 0 3,8 мм. Технологічні режими обробки: швидкість поздовжнього переміщення електрода - 0,32 мм/хв; енергія імпульсу - 1,97 Дж; частота подачі імпульсу - 90,8 Гц, що відповідає шостому режиму й коефіцієнту енергії 1,0 установки;

частота обертання електрода - 3500 про/хв; частота обертання поршнів і золотників - 4 про/хв; число проходів т- 1. Після наплавлення поршні й золотники промиваються в гасі й знежирюються уайт-спіритом. Механічну обробку наплавлених поршнів і золотників клапанної коробки проводять на бесцентрово-шліфувальному верстаті ІСО-12. Шліфування поршнів і золотників проводиться до досягнення заданих значень технологічних зазорів.

Механічна обробка п'ят поршнів полягає в доведення їх опорних поверхонь у ручному режимі на чавунних доводочних плитах до виведення слідів зношування. Доведення проводиться в зборі із сепаратором, що забезпечує рівномірний тиск на кожен п'яту - 0,5 - 1,0 кгс. Допустимі відхилення від площинності опорних поверхонь п'ят поршнів не повинне перевищувати 0,003 мм.

Результати експериментальних досліджень і експлуатаційні випробування показали, що розроблена технологія ремонту об'ємних гідроприводів ГСТ-112 зміцненням і відновленням зношених робочих поверхонь деталей методом ЕЮ має більш високий технічний рівень у порівнянні з базовим.

Додатковий прибуток від розробленої технології може бути отримано за рахунок наступних джерел: .

1. Зниження витрат на ремонт об'ємних гідроприводів ГСТ-112;
2. Підвищення довговічності об'ємних гідроприводів ГСТ-112 за рахунок підвищення міжремонтного ресурсу;
3. Збільшення обсягу надаваних послуг у зв'язку з ростом споживчого попиту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Оцінка технічного стану бувших в експлуатації об'ємних гідроприводів ГСТ-112 показала, що 82% досліджених об'єктів не розвивають номінального тиску (27 МПа) і 100 % граничної подачі (170,2 л/хв). Встановлено, що відмови відбуваються з вини качаючого вузла, а не окремих деталей об'ємного гідроприводу. Тільки 5 % насосів підживлення, 2 % серворозподільників і 7 % клапанних коробок були непрацюючими. Найбільше зношуються деталі з'єднання: «латунний - сталевий розподільники» (97% випадків), «поршень - отвір втулки блоку циліндрів» (86 %), «золотник - отвір корпусу клапанної коробки» (68 %).

2. Встановлений механізм втрати працездатності об'ємного гідроприводу ГСТ-112: зношування деталей ресурсолімітованих з'єднань приводить до збільшення зазорів і внутрішнього витoku робочої рідини, падінню тиску в лінії керування, зменшенню кута нахилу, качаючого вузла й зниженню об'ємного ККД. При тиску в лінії керування нижче 0,56 МПа качаючий вузол, не здатний відхилитися на максимальний кут, а при тиску 0,52 Мпа відбувається зниження подачі в лінії нагнітання до граничного значення й втрата працездатності ГСТ-112.

3. При зниженні об'ємного ККД окремих гідроагрегатів до граничного значення, рівного 0,76, величини зносів і зазорів рівні: площа зношування з'єднання «латунний - сталевий розподільники» $S_{\text{сум}} = 0,026 \text{ мм}^2$, зазор у з'єднанні «поршень - отвір втулки блоку циліндрів» $Z_{\text{пор}} = 86,3 \text{ мкм}$, зазор у з'єднанні «золотник - отвір корпусу клапанної коробки» $2_3 \text{ до} = 47,14 \text{ мкм}$, при припустимому значенні об'ємного ККД гідронасоса, рівному 0,85, відповідно $8_{\text{сут}} = 0,016 \text{ мм}^2$, $2_{\text{тор}} = 77,8 \text{ мкм}$, $2_{3\text{к}} = 27,8 \text{ мкм}$.

4. Встановлено, що для підвищення доремонтного ресурсу об'ємного гідроприводу ГСТ-112 необхідно підвищити продуктивність у лінії

керування шляхом застосування насоса підживлення більшого робочого об'єму.

Підвищення міжремонтного ресурсу гідророзподільників ГСТ-112 отримуємо за рахунок створення на робочих поверхнях деталей ресурсолімітованих з'єднань покриттів з низькою інтенсивністю зношування й більшою несучою здатністю, ніж діючі максимальні експлуатаційні навантаження при номінальних режимах роботи.

5. Встановлені технологічні режими електроіскрової обробки для різних комбінацій матеріалів деталі й електрода, при яких забезпечується максимальна мікротвердість зміцненої поверхні й необхідна товщина покриття не менш 250 мкм на діаметр при площі опорної поверхні 80 % [35,36].

6. Результати металографічних досліджень показали, що при зміцненні електродом з латуні ЛМЦСКА-5 8-2-2-1-1 максимальна мікротвердість становить 204 НУ, електродом з молібдену Мо - 207 НУ, що на 13... 15 %, що вище мікротвердості основи.

Випробування на зношування ресурсолімітованих з'єднань показали, що мінімальні коефіцієнти тертя й максимальну несучу здатність мають зразки з електроіскровим покриттям. Коефіцієнт зношування при дійсних експлуатаційних навантаженнях на номінальних режимах роботи для зміцненої пари електродом з латуні Лмцска-58-2-2-1-1 в 1,5 рази, а для відновленої електродом з сталі У10 в 1,2 рази менше, чим в еталонних.

7. Доказана можливість підвищення міжремонтного ресурсу ГСТ-112 зміцненням і відновленням робочих поверхонь деталей ресурсолімітованих з'єднань електроіскровою обробкою технологічним інструментом.

Встановлені матеріали електродів і раціональні технологічні режими ЕІО, що забезпечують підвищення несучої здатності й зниження інтенсивності зношування ресурсолімітованих з'єднань ГСТ-112.

Випробування відремонтованих ГСТ-112 показали, що нижня довірча границя гамма-процентного (80 %) ресурсу становить 4080 мото-годин, що в 1,34 рази вище за середній доремонтний ресурс нових серійних агрегатів.

8. Запропонований розроблений технологічний процес ремонту ГСТ-112, який забезпечує технічний стан і середній міжремонтний ресурс об'ємного гідроприводу на рівні нового.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології на підприємствах АПК [37,38] становитиме 1404238 грн. при програмі ремонту 100 ніг. ГСТ-112 у рік. Строк окупності інвестиційних вкладень 1,6 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Башта Т.М. Объемные гидравлические приводы, / Т.М. Башта, И.З. Зайченко. М.: Машиностроение, 1968. - 628 с.
2. Васильев, Б. А. Гидравлические машины / Б. А. Васильев, Н. А. Грецов. М.: Агропромиздат, 1988.-272 с.
3. Галин, Д. А. Оценка работоспособности и повышение долговечности объемного гидропривода ГСТ-90. Автореф. дис. канд. техн. наук. Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева. 2007. - 19 с.
4. Горбатов, В. В. Почему низка надежность гидрообъемного привода В. В. Горбатов // Техника в сельском хозяйстве. 1987. № 9. С. 43-45.
5. Барышев, В. И. Повышение технического уровня и надежности гидропривода тракторов и сельхозмашин в эксплуатации: автореф. дис. доктора техн. наук. М., МИИСП, 1991. - 39 с.
6. Бальков, Н. М. Обеспечение работоспособности и повышение ресурса гидроприводов сельскохозяйственной и мелиоративной техники применением комплексных покрытий: автореф. дис. канд. техн. наук. Саратов, СГАУ 2002. - 16 с.
7. Каталог гидростатических трансмиссий ГСТ. ОАО «Гидромаш» 2006г. -96 с.
8. Электронная страница ЗАО «Гидросила ГРУП» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hydrosila.com> - Загл. с экрана.
9. Кириллов, Ю. И. Ремонт и эксплуатация объемного гидропривода / Ю. И. Кириллов, Ф. А. Каулин, А. Н. Хмелевой. М.: Агропромиздат, 1987. -80 с.
10. Гидронасос НПА-112. Технический паспорт / ОАО «Гидромаш», 2006. - 20 с.
11. Гидромотор МЛА-112. Технический паспорт / ОАО «Гидромаш», 2006. - 20 с.
12. Масалов, Р. В. Повышение долговечности аксиально-поршневых насосов строительных и дорожных машин на основе моделирования

процессов в плунжерных парах: автореф. дис. канд. техн. наук. Орел, Орловский ГТУ, 2005. - 19 с.

13. Сенин П. В. Повышение надежности обильной сельскохозяйственной техники при ее необезличенном ремонте / П. В. Сенин. Саранск: Изд-во Морд, ун-та, 2000. - 124 с.

14. Сенин А.П. Технология регулируемых аксиально-поршневых гидромашин восстановлением ресурсолимитирующих соединений: автореф. дис.канд. техн. наук. Саранск, ФГБОУ ВПО МГУ им. Н.П. Огарева, 2012.-18 с.

15. Электронная страница ООО «Гидравлик» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gidravlik-cs.ru> - Загл. с экрана.

16. Жачкин, С. Ю. Восстановление деталей дисперсно-упрочненным композитным хромовым покрытием / С. Ю. Жачкин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2005. - № 2. - С. 43-44.

17. Столяров, А. В. Повышение долговечности аксиально-поршневого гидронасоса с наклонным блоком восстановлением и упрочнением изношенных поверхностей деталей: автореф. дис. канд. техн. наук. Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева. 2009. - 18 с,

17. Казаков, К. Г. Об оценке ресурса и надежности деталей и узлов сельскохозяйственной техники с учетом физики отказов / К. Г. Казаков, Г. М. Дмитриук, Б. Н. Орлов // Научные труды ученых и специалистов Республики Калмыкии. Сборник научных трудов. Т.6. -Злиста. 1999. С. 59-61.

18. Сборник методических материалов по устройству, обслуживанию и ремонту ГСТ 33/90/112 / Салават, ОАО «Гидромаш», 2005. - 176 с.

19. Ионов, П. А. Выбор оптимальных режимов восстановления изношенных деталей электроискровой наплавкой (на примере золотника гидрораспределителя): автореф. дис. канд. техн. наук / П.А. Ионов, Саранск, ИМЗ МГУ им. Н.П. Огарева, 1999. 18 с.

20. Сульдин, С. П. Повышение долговечности шестеренных насосов восстановлением и упрочнением изношенных поверхностей деталей

электроискровой обработкой (на примере насоса НШ - 50 У): автореф. дис. канд. техн. наук/ С. П. Сульдин, Саранск, ИМЗ МГУ им. Н.П. Огарева, 2004. - 19 с.

21. Власкин, В. В. Повышение долговечности турбокомпрессоров дизельных двигателей восстановлением изношенных деталей методом электроискровой обработки: автореф. дис. канд. техн. наук / В. В. Власкин, Саранск, ИМЗ МГУ им. Н.П. Огарева, 2004. - 19 с.

22. Мартынов, А. В. Совершенствование технологии ремонта гидрораспределителей восстановлением и упрочнением деталей методом электроискровой обработки: автореф. дис. канд. техн. наук / А. В. Мартынов, Саранск, ИМЗ МГУ им. Н.П. Огарева, 2011. - 16 с.

23. Казаков, К. Г. Восстановление деталей стригальных машин методом ЗИО / К. Г. Казаков // Роль науки и инноваций в развитии хозяйственного комплекса региона - Материалы III Республиканской научно-практической конференций. Саранск. 2003.

24. Никитин, О.Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. // Никитин О.Ф. - Учеб. пособие. - М.:Изд-во МГТУ им. Н.З.Баумана, 2007.-312 с: ил..

25. Алексеева, Т. В. Техническая диагностика гидравлических приводов. // Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта и др. Под общ.Ред. Т. М. Башты. -М.: Машиностроение, 1989.-264 с: ил.

26. Земсков, А. М. Исследование работоспособности и разработка технологических рекомендаций по ремонту объемного гидропривода ГСТ-90 / П. А. Ионов, Ф. Х. Бурумкулов, Д. А. Галин, А. М. Земсков // Труды ГОСНИТИ. - 2011. - Т. 107, часть 1. - С. 78-85.

27. Земсков, А. М. Исследование механизма потери работоспособности объемного гидропривода ГСТ-112 / П. А. Ионов, П. В.Сенин, А. В. Столяров, А. М. Земсков // Труды ГОСНИТИ. - 2014. - Т. 116. -С. 16-23.

28. Установка для электроискрового нанесения металлических покрытий «АЛЕК-31». Паспорт.

29. Бурумкулов, Ф. Х. Электроискровая наплавка, упрочнение и легирование рабочих поверхностей деталей, штамповой оснастки и режущих кромок инструментов / Ф. Х. Бурумкулов и др. // Восстановление и упрочнение деталей машин. 1999. - С. 171-203.
30. Ионов, П. А. Моделирование нагрузок в качающих узлах регулируемых аксиально-поршневых гидромашин / Ф. Х. Бурумкулов, А. В. Столяров, А. П. Сенин // Труды ГОСНИТИ. - 2012. - Т. ПО, часть 2. -С. 148-153.
31. Земсков, А. М. Пути повышения долговечности объемного гидропривода ГСТ-90 / Ф. Х. Бурумкулов, П. А. Ионов, Д. А. Галин, А. М. Земсков // Тракторы и сельхозмашины. - 2012. - № ю. - С. 39-42.
32. Земсков, А. М. Оценка технического состояния гидропривода ГСТ- 112 / П. А. Ионов, А. В. Столяров, А. М. Земсков // Сельский механизатор. - 2013.-№ 12.-С. 36-38.
33. Земсков, А. М. Моделирование нагрузок в соединениях объемного гидропривода / П. В. Сенин, А. М. Земсков, А. В. Столяров, П. А. Ионов // Тракторы и сельхозмашины. - 2014. - № 8.- С. 43-45.
34. Сиромятніков П.С., Передерій Л.В. Про енергозбереження автомобільного транспорту. Матеріали Всукарїнської науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технічна експлуатація».-Харків. ХНТУСГ, 2019. С. 49-50.
35. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2/ Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Скобло Т.С., Мартиненко О. Д., Гончаренко О.О., Сайчук О.В., Аветісян В.К., Автухов А.К., Рибалко І.М., Сиромятніков П.С., Бантковський В.А., Маніло В.Л./За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник.- Харків: ТОВ «Прам-Арт», 2018-491с.
36. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; заред. проф. О.І.Сідашенка, О.А.Науменка. -К.: Агро освіта, 2014.

- 665 с.(Затверджено МОН України як підручник для студентів ВНЗ, які навчаються за напрямом підготовки «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» від 21.06.10 № 1/11 - 545) - надруковано у 2015 р.

37. Мазнев Г.Є. Економічне обґрунтування інженерних рішень у сфері АПК [Текст]: Навч. посібник / Г.Є. Мазнев, М.М Турчегіко., М.Д. Щетінін - Харків: ХДТУСГ, 2001.-401 с.

38. Економіка ремонтного підприємства. Підручник./ В.К. Аветісян В.К., Бантковський В .А., та ін.. Заред.. В.К. Аветісян. Харків: ХНТУСГ, 2005. - 389 с.

39. ДСТУ 3008 - 2015. "Документація. Звіти в сфері науки й техніки. Структура й правила оформлення".

ДОДАТКИ

Анотація

Актуальність. Аналіз конструкцій сучасних вітчизняних і закордонних сільськогосподарських машин показав, що однією з найбільш відповідальних систем, що впливають на надійність техніки, є об'ємний гідропривід. Прикладом такого гідроприводу є гідростатична трансмісія (ГСТ) ГСТ-112.

По даним науково-технічної літератури частка об'ємних гідроприводів у трансмісіях сучасної техніки для АПК не менш 35 %, а на відмови ГСТ у доремонтний період експлуатації припадає до 20 % від загального числа відмов машин.

Встановлено, що для забезпечення 90-100 % міжремонтного ресурсу агрегатів необхідно знизити інтенсивність зношування робочих поверхонь не менш, чим в 1,5-2 рази.

Існує гостра потреба у розробці нових, економічно доцільних технологій ремонту об'ємних гідроприводів, що забезпечать технічний стан і підвищення міжремонтного ресурсу агрегатів до рівня нового.

Мета - підвищення міжремонтного ресурсу об'ємного гідроприводу ГСТ-112 до рівня нового шляхом зміцнення й відновлення робочих поверхонь деталей ресурсолімітованих поверхонь електроіскровою обробкою.

Об'єкт досліджень - технологічний процес ремонту ГСТ-112, що забезпечує технічний стан і середній міжремонтний ресурс об'ємного гідроприводу до рівня нового.

Предмет досліджень - механізм втрати працездатності об'ємного гідроприводу ГСТ-112 і шляху підвищення його довговічності.

Методи дослідження - теоретичні дослідження виконані з використанням положень теорій надійності, механізмів машин, тертя, математичного моделювання, прогнозування.

Завдання наукової роботи:

1. Дослідити технічний стан бувших в експлуатації об'ємних гідроприводів ГСТ-112, дефекти й зноси робочих поверхонь деталей.

2. Встановити механізм втрати працездатності ГСТ-112 і визначити фактори, що впливають на зниження об'ємного ККД.
3. Дослідити спосіб технологічного впливу на ресурсолімітовані з'єднання об'ємного гідроприводу ГСТ-112. Визначити раціональні технологічні режими електроіскрової обробки.
4. Дослідити фізико-механічні й триботехнічні властивості робочих поверхонь деталей, відновлених і зміцнених методом електроіскрової обробки (ЕІО).
5. Розробити новий технологічний процес ремонту ГСТ-112, що забезпечує технічний стан і середній міжремонтний ресурс об'ємного гідроприводу на рівні нового й визначити техніко-економічну ефективність розробленої технології.

Використана методика дослідження. Експериментальні дослідження виконані по загальних і розроблених методиках з використанням сучасних приладів та засобів вимірювання в лабораторії кафедри технологічних систем ремонтного виробництва ХНТУСГ.

Обробка результатів досліджень проведена з використанням методів теорії ймовірності й математичної статистики за допомогою сучасних обчислювальних засобів і пакета прикладних програм.

Структура й обсяг наукової роботи. Робота складається із вступу, 6 розділів, загальних висновків, викладена на 30 сторінках машинописного тексту, включає 6 рисунків, 39 використаних наукових джерел та додатків.

Робота оформлена відповідно до вимог і правил, передбаченими стандартом ДСТУ 3008-2015 [39].

Ключові слова: об'ємний гідропривід, міжремонтний ресурс, ресурсолімітовані поверхні, відновлення, зміцнення, електроіскрова обробка.