



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 44937

(13) C2

(51) 6 B23P6/00, B23P9/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ РЕМОНТУ ШЕСТЕРЕННИХ ПІДРОМАШИН ЗОВНІШНЬОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ

1

2

(21) 2000116425

(22) 14 11 2000

(24) 15 03 2002

(46) 15 03 2002, Бюл. № 3, 2002 р.

(72) Кулешков Юрий Володимирович, Черновол
Михайло Іванович, Матвієнко Олександр Олександрович(73) КІРОВОГРАДСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ(56)1 Технологія ремонту машин и обладования,
под ред. И.С. Левитского, - М. Колос, 1975
(с. 396 - 402)2 Петров С.А., Бисноватый А.И. Ремонт сельскохозяйственных машин - М. Колос, 1982 - 303 с.
3 SU, 344160, А1, МКИ F 04C 1/04, Бюл. № 21,
07 07 1972 (ближайший аналог)

(57) 1 Спосіб ремонту шестеренних підромашин зовнішнього зачеплення приведенням посадок спряжених деталей до початкових шляхом шліфування шестерень, розточування отворів під цапфи шестерень в підшипниках ексцентрично зі зміщенням шестерень і обробкою ділянок розділення робочих порожнин на стінках колодязів корпусу, який відрізняється тим, що перед обробкою ділянок корпус нагрівають до температури вище температури рекристалізації, при цьому обробку ділянок проводять шляхом поверхневого пластичного деформування, яке передбачає рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу з утворенням запон на ділянках розділення робочих порожнин, при цьому заглиблення запон формують шляхом перерозподілу металу у напрямку зносу, а їх виступи-у напрямку, протилежному зносу

2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що запони формують у вигляді прямої циліндричної поверхні, напрямна якої описується в полярній системі координат наступним рівнянням

$$r = k \cdot e^{-\phi \cdot \tan \alpha},$$

де

r - радіус-вектор, лінійна координата у полярній системі координат,

e - основа натурального логарифма,

φ - кут повертання радіус-вектора, кутова координата в полярній системі координат,

k - коефіцієнт пропорційності

k=R+h,

де

R - радіус розточок корпусу,

h - максимальна глибина запон

α - параметр, який для вхідної стінки запон дорівнює α=35°, а для вихідної α=90°+(10° - 15°)

3 Спосіб за пп. 1, 2 і 3, який відрізняється тим, що щільність утворення запон по всьому периметру зони контактування шестерень підромашини з корпусом пропорційна швидкості потоку втрат робочої рідини через радіальний зазор

4 Спосіб за пп. 1, 2, 3 і 4, який відрізняється тим, що при її ремонті і збиранні забезпечують гарантований зазор між корпусом і вершинами зубців шестерень в зоні ділянок розділення робочих порожнин, який визначається максимальним розміром абразивних часток, присутніх в робочій рідині - δ_{вч}

max

5 Спосіб за пп. 1, 2, 3, 4 і 5, який відрізняється тим, що напрямком ексцентричного зміщення шестерень співпадає з напрямком рівнодіючої всіх сил на шестерню, а сам ексцентриситет e визначають з умов

$$e = R_{e_{\text{сmax}}} - \Delta R - r_{\phi \alpha} - \delta_{\alpha - \text{max}},$$

де R_{к2max} - радіус максимально зношеного корпусу,

ΔR - зміна радіуса корпусу в результаті його відновлення поверхневим пластичним деформуванням,

r_{шв} - радіус відремонтованих шестерень,δ_{вч max} - максимальний розмір абразивних часток

Винахід відноситься до області ремонту машин, а саме до технології ремонту шестеренних підромашин зовнішнього зачеплення (ШГМЗЗ), і мо-

же бути використаний при централізованому ремонті ШГМЗЗ на ремонтних підприємствах

Існує спосіб ремонту ШГМЗЗ шляхом перешлі-

(13) C2

(11) 44937

(19) UA

фовування шестерень, а саме вінців шестерень і цапф по зовнішньому діаметру під найближчий ремонтний розмір. При цьому, відновлення посадок шестерень зі спряженими деталями здійснюють шляхом нарощування будь-яким відомим способом корпусу насоса до діаметру, який відповідає діаметру відновлених шестерень і виготовленням нових, ремонтного розміру втулок [1].

Корпус може бути відновлений цілою низкою методів. Найбільш ефективним є спосіб відновлення корпусу ШГМЗ3 гарячим об'ємним пластичним деформуванням, що включає операції нагрівання корпусу до температури 480–500°C та наступним пластичним деформуванням в клиновому штампі з пуансонами, що обмежують течію металу з наступною термічною і механічною обробкою [2].

Але й цьому способу притаманні ряд суттєвих недоліків, зокрема, значні енергетичні та трудові витрати, низька продуктивність, та недостатня стійкість проти абразивного зношування.

Таким чином, бачимо, що до недоліків цього способу ремонту насосів слід віднести зниження об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі внаслідок порушення першопочаткових спряжень деталей ШГМЗ3, високу трудомісткість ремонту насоса за рахунок високої трудомісткості відновлення корпусу будь-яким з вищенаведених способів. Всі ці недоліки зводять нанівець надзвичайно низьковитратну технологію відновлення шестерень перешліфуванням їх під ремонтний розмір.

Найбільш близьким по технічній суттєвості до винаходу, що пропонується, є спосіб ремонту ШГМЗ3 приведенням посадок спряжених деталей до початкових шляхом шліфування шестерень (роторів), розточуванням колодязів в корпусі (статорі) до виведення слідів спрацювання і розточуванням отворів під цапфи шестерень в підшипниках ексцентричне зі зміщенням шестерень в бік прийомної порожнини насоса, а ділянки розділення робочих порожнин на стінках колодязів корпусу (статора) обробляють врізанням зубців ШГМЗ3 в ці стінки під дією тиску робочої рідини [3].

Спосіб дозволяє реалізувати в повній мірі переваги способу ремонтних розмірів, оскільки і шестерні, і корпус ШГМЗ3 ремонтують всього за одну операцію. Тобто цей спосіб дозволяє відремонтувати деталі насоса всього за одну операцію шляхом розточування колодязів корпусу до виведення слідів зношування і шліфування шестерень теж до виведення слідів зношування. Радіальний зазор, який при цьому ще збільшився ліквідується шляхом зміщення шестерень в бік прийомної порожнини насоса [3].

До недоліків цього способу слід віднести те, що розточування колодязів корпусу ШГМЗ3 по всьому периметру зменшує переріз стінок, зокрема у зоні високого тиску, що призводить до зменшення міцності та жорсткості корпусу, а, отже, і підвищення деформації корпусу при роботі. Все це знижує якість ремонту, зокрема призводить до зниження об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі ШГМЗ3, а також обмежує технологічні можливості способу величиною зносу корпусу 0,25–0,30 мм.

Іншим недоліком є те, що обробка ділянки розділу робочих порожнин на стінках колодязів корпусу

здійснюється врізанням зубців шестерень ШГМЗ3 в ці стінки під дією тиску робочої рідини. Такий спосіб ускладнює забезпечення необхідної точності і шорсткості найбільш відповідальної частини стінок колодязів корпусу, що ущільнюють верхівки зубців шестерень, а це призводить до зниження надійності і довговічності і, навіть, втрати працездатності ШГМЗ3.

До недоліків слід віднести і той факт, що ШГМЗ3, знос корпусу яких перевищує 0,25 мм відремонтувати існуючим способом неможливо. Це пояснюється тим, що при таких великих зносах після розточування корпусу і перешліфування шестерень ексцентриситет зміщення шестерень для відновлення вихідної посадки радіального спряження досягає значних величин понад 1 мм. А це призводить до розширення зони високого тиску, зменшення протяжності зони ущільнення радіального зазору, що знижує якість ремонту, зокрема веде до зростання втрат робочої рідини та зниження робочого тиску. Таким чином, бачимо, що існуючий спосіб має обмежені технологічні можливості ліптовані, зокрема, величиною зносу корпусу 0,25–0,30 мм.

Крім того, прагнення мінімально зменшити зазор в місці ущільнення корпусом верхівок зубців шестерень призводить до підвищення інтенсивності абразивного зношування корпусу ШГМЗ3. З'ясувати причини цього можна висвітливши механізм абразивного зношування корпусу. Останній полягає в тому, що абразивна частка заклинюється між верхівками зубців шестерень та корпусом і при обертанні шестерень здійснює шкрябання, як стінок корпусу, так і верхівок зубців шестерень. Цим можна пояснити недостатній рівень надійності і довговічності ШГМЗ3.

Задача, яку вирішує винахід, що пропонується, полягає в підвищенні якості ремонту ШГМЗ3 за рахунок підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, розширення технологічних можливостей способу, підвищення тиску робочої рідини, а також підвищення надійності і довговічності ШГМЗ3. Це досягається відмовившись від розточування корпусу насоса по всьому периметру, шляхом підвищення гідравлічного опору втратам робочої рідини та підвищення тиску робочої рідини на ділянці стінок колодязів корпусу, що ущільнюють верхівки зубців насоса, а також створення певного зазору в області ущільнення верхівок зубців шестерень корпусом, що забезпечує зниження інтенсивності абразивного зношування ділянок розділення робочих порожнин на стінках колодязів корпусу.

Поставлена задача підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, підвищення робочого тиску, а також технологічних можливостей способу вирішується за рахунок того, що в способі ремонту шестеренних підмашин зовнішнього зачеплення приведенням посадок спряжених деталей до початкових шляхом шліфування шестерень, розточуванням отворів під цапфи шестерень в підшипниках ексцентричне зі зміщенням шестерень і обробкою ділянок розділення робочих порожнин на стінках колодязів корпусу у відповідності з винаходом, що пропонується, перед обробкою ділянок корпус нагрівають до температури вище те-

температури рекристалізації, при цьому обробку ділянок проводять шляхом поверхневого пластичного деформування, яке передбачає рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу з утворенням заповн на ділянках розділення робочих порожнин, при цьому заглиблення заповн формують шляхом перерозподілу металу у напрямку зносу, а їх виступи у напрямку протилежному зносу

Подальше підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, підвищення робочого тиску, а також технологічних можливостей способу вирішується за рахунок того, що заповни формують у вигляді прямої циліндричної поверхні, направляючи якої описується в полярній системі координат наступним рівнянням

$$r = k \cdot e^{-\varphi \tan \alpha} \quad (1)$$

де r – радіус – вектор, лінійна координата у полярній системі координат,

e – основа натурального логарифму,

φ – кут повороту радіус – вектора, кутова координата в полярній системі координат,

k – коефіцієнт пропорційності

$$k = R + h, \quad (2)$$

де R – радіус розточок корпусу,

h – максимальна глибина заповни,

α – параметр, який для вхідної стінки заповни дорівнює $\alpha = 35^\circ$, а для вихідної

$$\alpha = 90^\circ + (10^\circ \div 15^\circ) \quad (3)$$

При цьому щільність утворення заповн по всьому периметру зони контактування шестерень гідромашини з корпусом пропорційна швидкості потоку втрат робочої рідини через радіальний зазор

Підвищення надійності і довговічності відремонтованої ШГМЗЗ і розширення технологічних можливостей способу досягається завдяки тому, що при її ремонті і збиранні забезпечують гарантований зазор між корпусом і вершинами зубців шестерень в зоні ділянок розділення робочих порожнин, який визначається максимальним розміром абразивних часток, присутніх в робочій рідині – $\delta_{ачmax}$

Крім того, напрямок ексцентричного зміщення шестерень співпадає з напрямком рівнодіючої всіх сил на шестерню, а сам ексцентриситет e визначають з умови

$$e = R_{кзmax} - \Delta R - r_{шв} - \delta_{ачmax} \quad (4)$$

де $R_{кзmax}$ – радіус максимально зношеного корпусу,

ΔR – зміна радіусу корпусу в результаті його відновлення поверхневим пластичним деформуванням,

$r_{шв}$ – радіус відремонтованих шестерень,

$\delta_{ачmax}$ – максимальний розмір абразивних часток, що присутні в робочій рідині

Підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, підвищення робочого тиску, а також технологічних можливостей способу порівняно з прототипом досягається завдяки тому, що в випадку, який пропонується, відмовляються від операції розточування колодязів корпусу по всьому периметру, зберігаючи тим самим переріз стінок корпусу у тому стані, в якому він потрапив до ремонту. Більш того, заміна розточування поверхневим пластичним деформуванням дозволяє відновити діаметр колодязів корпусу, як мінімум до рівня нового, що дозволяє забезпечити міцність і жорст-

кість корпусу на рівні не нижче нового і тим самим знизити рівень втрат робочої рідини через радіальний зазор

Окрім того, обробка спрацьованої частини корпусу поверхневим пластичним деформуванням також сприяє підвищенню якості ремонту завдяки явищам пов'язаним з заплікуванням мікротріщин, ущільненням металу та покращенням макроструктури (текстури) металу. Останнє пов'язане з підвищенням анізотропії металу корпусу завдяки тому, що під впливом поверхневого пластичного деформування зерна металу корпусу набувають витягнутої форми і розташовуються найбільш сприятливо для сприймання розтягуючих навантажень

Все це забезпечує поліпшення якості ремонту ШГМЗЗ за рахунок підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, підвищення робочого тиску, технологічних можливостей способу, а також підвищення надійності і довговічності ШГМЗЗ

При цьому, нагрівання корпусу перед проведенням поверхневої пластичної деформації до температури вище температури рекристалізації необхідно для підвищення якості ремонту. Це пов'язано з тим, що при обробці поверхневого шару металу поверхневим пластичним деформуванням, тобто при багаторазовому силовому впливі на поверхневий шар металу звичайно зростає кількість дислокацій та відбувається поверхневе зміцнення металу з одночасним падінням його пластичності, тобто, відбувається наклеп металу. При значному наклепі можливе виникнення внутрішніх напруг, величина яких порівнянна з міцністю металу, що може призвести, навіть, до руйнування металу. Щоб запобігти цьому негативному явищу в способі, що пропонується передбачене нагрівання корпусу перед проведенням поверхневої пластичної деформації до температури вище температури рекристалізації

Одним з негативних явищ в роботі ШГМЗЗ є наявність втрат робочої рідини через радіальний зазор між вершинами зубців шестерень і корпусом, що призводить до падіння об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі гідромашини. Ущільнення верхівки зубців шестерень корпусом, що є по суті ущільненням радіального зазору відбувається в області порожнини низького тиску в зонах ділянок розділення робочих порожнин

Для зменшення втрат робочої рідини через радіальні зазори ШГМЗЗ пропонується при поверхневому пластичному деформуванні окрім того, що проводять відновлення стінок колодязів корпусу шляхом рельєфного перерозподілу поверхневого шару металу на внутрішніх стінках корпусу сформувати заповни. Утворення заповн в корпусі насоса запропоновано для створення місцевого опору втратам робочої рідини, зокрема через радіальний зазор. Це сприяє поліпшенню якості ремонту ШГМЗЗ за рахунок підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, підвищення робочого тиску, технологічних можливостей способу, а також підвищення надійності і довговічності ШГМЗЗ

Окрім цього, створення заповн сприяє підвищенню тиску робочої рідини в цій області і підвищенню несучої здібності вінців шестерень, як свого роду підшипників ковзання в корпусі насоса. При цьому напрямок дії рівнодіючої підвищеного

тиску в області утворення запон протилежний навантаженню підшипників ковзання. А це, власне і дозволяє значно розвантажити підшипники ковзання, які являються основною перешкодою на шляху подальшого зростання тиску робочої рідини ШГМЗЗ і тим самим підвищити зазначений тиск, або ж підвищити надійність і довговічність підшипникового вузла, а отже і ШГМЗЗ в цілому.

Рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу корпусу, при якому заглиблення запон формують шляхом перерозподілу металу у напрямку зносу дозволяють тим самим перерозподіляти метал шляхом його випучування у вигляді виступів запон у напрямку протилежному зносу ділянок розділення робочих порожнин. Чим і забезпечують, як відновлення зношених ділянок розділення робочих порожнин, так і утворення запон. Це дозволяє ремонтувати ШГМЗЗ з значно більшими зносами корпусу і шестерень, що власне, підвищує технологічні можливості способу.

Для підвищення ефективності ущільнення верхівок зубців шестерень корпусом, тобто ущільнення зони ділянок розділення робочих порожнин запони формують у вигляді прямої циліндричної поверхні, направляючи якої описується в полярній системі координат залежностями (1) і (2). Особливістю такої поверхні є те, що у кожній своїй точці стінка запони направлена під кутом α до напрямку руху потоку втрат робочої рідини, який рухається по коловим траєкторіям. При цьому кут α для вхідної стінки запони дорівнює $\alpha = 35^\circ$, а для вихідної $\alpha = 90^\circ + (10^\circ - 15^\circ)$, а коефіцієнт пропорційності k являє собою суму величин $-R$ - радіусу розточок корпусу і h - максимальної глибини запони.

Природно було виконувати вихідну стінку запони під кутом $\alpha = 90^\circ$. Але під час роботи ШГМЗЗ запони при параметрі вихідної стінки $\alpha = 90^\circ$ за дуже короткий час будуть заповнені абразивними частками і продуктами зношення деталей ШГМЗЗ. Це пояснюється тим, що вищезгадані частки під дією відцентрової сили будуть затримуватись у запонах. Щоб запобігти цьому негативному явищу і пропонується кут, під яким розташована вихідна стінка запони збільшити до значення, яке відповідає умові $\alpha = 90^\circ + (10^\circ - 15^\circ)$. При такому куті вихідної стінки абразивні частки будуть вимиватись робочою рідиною і не зможуть затримуватись у запонах. При цьому місцевий гідравлічний опір різкого звуження знижується всього на 2-3%. При подальшому збільшенні цього кута місцевий гідравлічний опір різкого звуження знижується значно стрімкіше, що недопустимо.

Таке відновлення стінок корпусу шляхом створення переривчастої поверхні у вигляді запропонованих запон, являє собою по своїй суті два місцеві гідравлічні опори. Це, по-перше, місцевий гідравлічний опір різкого розширення, який змінюється на місцевий гідравлічний опір різкого звуження. На цих місцевих опорах відбувається падіння гідродинамічної складової загального напору потоку втрат робочої рідини через радіальні зазори. Таким чином, відбувається самозгашення енергії потоку втрат робочої рідини через радіальні зазори.

При цьому запропоновані вищенаведені особливості запон, покликані забезпечити максимально

можливий місцевий гідравлічний опір втратам робочої рідини. Це дозволяє зменшити втрати робочої рідини через радіальний зазор ШГМЗЗ, а отже, підвищити об'ємну подачу і коефіцієнт об'ємної подачі. Окрім того, в зоні утворення запон підвищується тиск робочої рідини, що дозволяє розвантажити підшипники ковзання ШГМЗЗ через вплив цього тиску на вінці шестерень, які при цьому виступають у ролі підшипників ковзання, що обертаються в корпусі.

Розміщення однієї запони на шляху потоку втрат робочої рідини недостатньо для запобігання втратам робочої рідини через радіальний зазор. Посилення ефекту зменшення втрат робочої рідини через радіальні зазори досягають, якщо щільність утворення запон по всьому периметру зони контактування шестерень гідромашини з корпусом пропорційна швидкості потоку втрат робочої рідини через радіальний зазор. Це безпосередньо витікає з рівняння Бернуллі аналіз якого показує, що місцеві гідравлічні опори сприяють зменшенню кінетичної складової енергії потоку втрат робочої рідини, а отже, розташування запон нерівномірно по всьому периметру, пропорційно швидкості потоку втрат робочої рідини є найбільш раціональним.

Відомо, що в місці ущільнення корпусом верхівок зубців шестерень прагнуть мінімально зменшити радіальний зазор, що призводить до підвищення інтенсивності абразивного зношування, як корпусу, так і верхівок зубців шестерень ШГМЗЗ. З'ясувати причини цього можна висвітливши механізм абразивного зношування корпусу. Останній полягає в тому, що абразивна частка заклинюється між верхівками зубців шестерень та корпусом і при обертанні шестерень здійснює шкрябання, як стінок корпусу, так і верхівок зубців шестерень. При цьому інтенсивність зношування прямопропорційна розміру абразивних часток. Цим можна пояснити недостатній рівень надійності і довговічності ШГМЗЗ.

Запобігання цьому явищу сприяє, як зменшення потоку втрат робочої рідини, так і збільшення радіального зазору, через який спроможні вільно пройти абразивні частки будь-якого розміру не зачепивши стінок корпусу і верхівок зубців корпусу. Ущільнення ж цього спряження, як відмічено вище відбувається за рахунок виконання запон, що також сприяє розширенню технологічних можливостей способу за рахунок можливості ремонтувати ШГМЗЗ з більшими зносами.

Тобто, підвищення надійності і довговічності відремонтованої ШГМЗЗ досягають тим, що при її виготовленні і збиранні забезпечують гарантований зазор між корпусом і вершинами зубців шестерень в зоні ділянок розділення робочих порожнин і який визначається максимальним розміром абразивних часток, присутніх в робочій рідині - $\delta_{\text{ач max}}$.

При виконанні зазору між корпусом і вершинами зубців шестерень в зоні безпосереднього ущільнення верхівок зубців шестерень, який визначається максимальним розміром абразивних часток, присутніх в робочій рідині - $\delta_{\text{ач max}}$ досягається підвищення надійності і довговічності ШГМЗЗ за рахунок зменшення інтенсивності абразивного зношування завдяки тому, що такий великий зазор забезпечує вільне проходження через нього практич-

но всіх абразивних часток. При цьому величина радіального зазору в зоні ущільнення верхівок зубів шестерень знаходиться в інтервалі 0,05–0,10 мм і визначається максимальною величиною абразивних часток $\delta_{\text{абр. max}} = 0,05–0,10$ мм, які знаходяться у робочій рідині ШГМЗЗ, що залежить від ступеню її очищення.

Окрім того, зменшення втрат робочої рідини через радіальний зазор також знижує інтенсивність абразивного зношування.

Відомо, що шестерні ШГМЗЗ під дією рівнодіючої гідравлічних сил, яка направлена під кутом $\beta = 20^\circ–30^\circ$ до осі зміщуються до порожнини всмоктування і притискаються до стінки корпусу в зоні ділянки розділення робочих порожнин. В цьому ж напрямку корпус насоса має в зоні ділянок розділення робочих порожнин максимальні зноси. А тому, природно, що для ліквідації радіального зазору, який ще збільшується при перешліфуванні шестерень під ремонтний розмір напрямком ексцентриситетного зміщення шестерень співпадає з напрямком рівнодіючої всіх сил на шестерню. Зміщення шестерень на відстань ексцентриситету E , який визначають з умови (4) дозволяє забезпечити нульовий радіальний зазор в зоні ділянок розділення робочих порожнин. Створення в місці ущільнення верхівок зубів шестерень корпусом мінімального зазору сприяє підвищенню якості ремонту, зокрема підвищенню об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі ШГМЗЗ.

При цьому можливі три варіанти.

По - перше, ексцентриситет $e > 0$. Таке можливо тоді, коли під час поверхневого пластичного деформування не вдається шляхом рельєфного перерозподілу поверхневого шару металу з утворенням запон відновити корпус і компенсувати знос і припуск під шліфування під ремонтний розмір шестерень ШГМЗЗ. Це можливо при значних зносах корпусу і шестерень ШГМЗЗ.

По - друге, ексцентриситет $e = 0$. Таке можливо тоді, коли під час поверхневого пластичного деформування вдається шляхом рельєфного перерозподілу поверхневого шару металу з утворенням запон не тільки відновити корпус, а й компенсувати знос і припуск під шліфування під ремонтний розмір шестерень ШГМЗЗ.

По - третє, ексцентриситет $e < 0$. Таке можливо тоді, коли під час поверхневого пластичного деформування вдається шляхом рельєфного перерозподілу поверхневого шару металу з утворенням запон не тільки відновити корпус і компенсувати знос і припуск під шліфування під ремонтний розмір шестерень, а й створити певний запас металу корпусу ШГМЗЗ. При цьому зміщення шестерень відбувається в протилежну сторону.

З наведеного бачимо, що запропонований спосіб сприяє підвищенню об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, а також розширенню технологічних можливостей способу ремонту ШГМЗЗ.

На фіг. 1 наведена схема зносів корпусу ШГМЗЗ, напрямком рівнодіючої гідравлічних сил на шестерні, який співпадає з напрямком максимального зносу, положення стінок корпусу в новому та зношеному стані.

На фіг. 2 наведена схема обробки корпусу, яка полягає в поверхневому пластичному деформу-

ванні та схема течії металу під час рельєфного перерозподілу поверхневого шару металу з утворенням запон.

На фіг. 3 наведені геометричні параметри запони, початок полярної системи координат, і параметри радіус - вектора, що описує рух твірної прямої циліндричної поверхні запони.

На фіг. 4 наведена схема руху робочої рідини крізь радіальний зазор при наявності в ньому запони.

На фіг. 5 наведено поперечний переріз відремонтованого ШГМЗЗ в режимі насоса.

На фіг. 6 наведені результати порівняння коефіцієнта об'ємної подачі - η_v насоса нового, відремонтованого за прототипом і за способом, що пропонується.

На фіг. 7 наведені результати порівняння загального ККД - $\eta_{\text{заг}}$ насоса нового, відремонтованого за прототипом і за способом, що пропонується.

ШГМЗЗ, яка потрапляє до ремонту має нерівномірно зношений корпус 1 і зношені шестерні ведучу 2 і ведену 3 (фіг. 1). Максимальний знос корпусу ШГМЗЗ має поблизу порожнини всмоктування 4 в напрямку рівнодіючої гідравлічних сил P_1 і P_2 від порожнини нагнітання 5 до порожнини всмоктування 4 вздовж прямої O_1A_1 для ведучої і O_2A_2 для веденої шестерень, які розташовані під кутом $\beta = 20^\circ–30^\circ$ до вертикального діаметру ШГМЗЗ (фіг. 1). Стінка корпусу в цьому випадку займе положення 6 і буде розміщена від стінки нового корпусу 7 вздовж прямих O_1A_1 і O_2B_2 на відстані $R_{\text{КЗ max}}$.

Знос корпусу 1, а також зноси шестерень 2 і 3 по зовнішньому діаметру ведуть до зростання радіального зазору δ_r , що тягне за собою зростання втрат робочої рідини зокрема через ці зазори. А це, в свою чергу, призводить до падіння об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі ШГМЗЗ.

Всі існуючі способи ремонту ШГМЗЗ спрямовані на усунення, головним чином, радіального зазору ШГМЗЗ.

Суттєвість способу ремонту ШГМЗЗ, що пропонується, полягає в наступному. Зношені шестерні 2 і 3 ШГМЗЗ направляються на шліфування, де їх обробляють під найближчий зменшений ремонтний розмір, після чого радіус їх становить $r_{\text{шлв}}$.

Корпус 1 ШГМЗЗ відновлюють наступним чином. Корпус 1 нагрівають до температури вище температури рекристалізації і розміщують у спеціальному пристосуванні у вигляді матриці 8, яка фіксує стінки корпусу зовні. З внутрішньої сторони зношені стінки корпусу підлягають поверхневому пластичному деформуванню, яке передбачає рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу з утворенням запон (фіг. 2).

Це відбувається таким чином. Виступи інструменту 9 під дією багатократного силового впливу занурюються в стінки корпусу 1 утворюючи западини запон 10 (фіг. 2). При цьому виступи інструменту 9 переміщуються в напрямку зносу корпусу, а метал корпусу 1, зафіксований зовні матрицею 8, під впливом тиску зі сторони виступів 9 змушений текти в протилежному зносам напрямку, що і дає змогу перерозподілити метал таким чином, щоб заповнити западини інструменту, тобто утворити виступи запон. Напрямок і характер течії металу, який представлено на фіг. 2 в змозі

забезпечити компенсацію не тільки зносу корпусу, але й зносу шестерень ШГМЗЗ. Це дає змогу підвищити якість ремонту ШГМЗЗ за рахунок підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, розширення технологічних можливостей способу та підвищення тиску робочої рідини ШГМЗЗ.

Таким чином, бачимо, що при поверхневому пластичному деформуванні, яке передбачає рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу з утворенням запон 10, відбувається формування вхідної стінки 11 і вихідної стінки 12 (див. фіг. 3). При цьому формують їх у вигляді прямої циліндричної поверхні, твірна якої рухається по напрямлюючій, параметри якої описуються в полярній системі координат рівняннями (1) і (2) при радіусі розточок R і максимальній глибині запон h . При цьому, як видно з фіг. 3 вхідна стінка запони описується радіус-вектором при початковому його положенні 15 і кінцевому 16 на протязі кута φ_1 , вихідна стінка запони описується радіус-вектором при початковому його положенні 15 і кінцевому 17 на протязі кута φ_2 . Загалом запона розповсюджується на кут φ .

На фіг. 4 зображена схема руху втрат робочої рідини крізь радіальний зазор δ_p , який утворюється між стінками колодязя корпусу 1 і шестернею 2 з утворенням водоворотної зони в області запони 10, яка сприяє як підвищенню гідравлічного опору на шляху потоку втрат робочої рідини, так і підвищенню тиску в зоні утворення запон, що дає змогу підвищити об'ємну подачу і коефіцієнт об'ємної подачі та підвищити тиск робочої рідини ШГМЗЗ.

З фіг. 4 чітко видно, що форма запони при параметрі вихідної стінки $\alpha = 90^\circ$ являє собою уповільнювач сторонніх часток, які завжди присутні в робочій рідині. І тому запони утворені за умовами (1) і (2) під час роботи ШГМЗЗ дуже швидко заповнюються сторонніми частками, які під дією відцентрової сили заповнюють запони, спотворюючи тим самим її форму, що веде до зниження ефективності роботи запон. Розташування вихідної стінки запони під кутом, який знаходять з умови $\alpha = 90^\circ + (10^\circ - 15^\circ)$ не дасть сторонніми часткам затримуватись у запонах.

Вище згадано, що утворення запон по суті є створенням двох місцевих опорів. При цьому вхідна стінка запони являє з себе місцевий гідравлічний опір різкого розширення, а вихідна стінка місцевий гідравлічний опір різкого звуження. Виходячи з теоретичних викладок, після нескладних пе-

ретворень рівняння Бернуллі можна записати у вигляді

$$2P_H + \rho u_1^2 = \rho u_2^2 + \rho \sum_{i=1}^n \xi_i u_2^2 + 2P_H \quad (4)$$

де P_H - номінальний тиск, Па,

ρ - щільність робочої рідини кг/м^3 ,

u_1 і u_2 - відповідно швидкість потоку втрат в радіальному зазорі ШГМЗЗ до утворення запон і після утворення запон,

ξ_i - коефіцієнт місцевого гідравлічного опору,

P_H - падіння тиску по довжині радіального зазору.

Рівняння нерозривності потоку рідини записують у вигляді

$$u_1 w_1 = u_2 w_2, \quad (5)$$

де w_1 і w_2 - відповідно площа поперечного перетину радіального зазору до утворення запон і після утворення запон,

з (5) можемо записати, що

$$u_1 = \frac{w_2}{w_1} u_2 \quad (6)$$

Відомо, що втрати робочої рідини через радіальний зазор визначають зг формулою

$$q_p = b \delta_p^3 \left(\frac{\Delta p \delta_p^3}{12 \mu l} - \frac{R_e \omega \delta_p}{2} \right), \quad (7)$$

де b - ширина шестерень, м,

δ_p - радіальний зазор, м,

μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с,

l - довжина дуги ущільнення верхівок зубців шестерень корпусом, м,

R_e - радіус колодязів корпусу, м,

ω - кутова швидкість обертання шестерень ШГМЗЗ, с^{-1} .

З іншого боку, втрати робочої рідини через радіальний зазор можна визначити з залежності

$$q_p = u_2 \cdot w_2 = U_2 \cdot b \cdot \delta_p \quad (8)$$

Тоді, виходячи з (7) і (8), можна записати

$$u_2 = \frac{\Delta p \delta_p^2}{12 \mu l} - \frac{R_e \omega}{2} \quad (9)$$

Як згадано вище, утворення кожної запон по суті є створенням двох місцевих гідравлічних опорів. При цьому вхідна стінка запони являє собою місцевим гідравлічний опір різкого розширення, а вихідна стінка — місцевий гідравлічний опір різкого звуження, а тому можна записати

$$P_{\xi} = \rho \sum_{i=1}^n \xi_i u_2^2 = \rho \cdot u_2 \cdot \left(\xi_{pp} + \xi_{pz} \right) \cdot n = \rho u_2 \cdot \left(1,45 \cdot \left(1 - \frac{\delta_p}{h} \right)^2 + 0,5 \left(1 - \frac{\delta_p}{h} \right) \right) \cdot n, \quad (10)$$

де n - кількість запон.

Виходячи з (4), (9) і (10) кількість запон може бути визначена з наступної залежності

$$n = \frac{2P_H - \rho \cdot \left(1 - \frac{w_2^2}{w_1^2} \right) \cdot \delta^2 \cdot u_2^2 - 12 \mu l \cdot (2u_2 + R_e \omega)}{\rho^2 \cdot (\xi_{pp} - \xi_{pz}) \cdot \delta^2 \cdot u_2^2}, \quad (11)$$

З попередніх теоретичних викладок видно, що падіння тиску на місцевому опорі пропорційне квадрату швидкості потоку втрат робочої рідини через радіальний зазор. А тому, доцільно буде забезпечити щільність утворення запон по периметру корпусу пропорційно швидкості потоку втрат робочої рідини. Найбільша швидкість втрат робочої рідини через радіальний зазор спостерігається в зоні сек-

торів центральних кутів $O_1B_1C_1$ і $O_2B_2C_2$ безпосереднього ущільнення верхівок зубців шестерень 2 і 3 корпусом 1 (див. фіг. 5). А тому саме в цій зоні біля порожнини всмоктування 4 пропонується формувати запони 10 при ремонті ШГМЗ3. Тим самим забезпечують умови для максимального підвищення підвального опору втратам робочої рідини.

Під час відновлення, розташування стінок корпусу з положення 6 (див. фіг. 5) зміщується в напрямку протилежному до напрямку зносу і займає положення 14. Таким чином, в процесі відновлення деталей, а також послідовного збирання ШГМЗ3 забезпечують гарантований зазор між корпусом і вершинами зубців шестерень в зоні ділянок розділення робочих порожнин, який визначається максимальним розміром абразивних часток, присутніх в робочій рідині - $\delta_{ac\ max}$. Тобто, мінімальний радіальний зазор $\delta_{p\ min}$ в зоні секторів центральних кутів $O_1B_1C_1$ і $O_2B_2C_2$ безпосереднього ущільнення верхівок зубців шестерень 2 і 3 корпусом 1 повинен бути не менше максимального розміру абразивних часток, присутніх в робочій рідині, який, звичайно, не перевищує - $\delta_{ac\ max} = 0,05 - 0,10\text{мм}$. Забезпечення такого зазору дає змогу зменшити інтенсивність абразивного зношення завдяки тому, що така величина радіального зазору забезпечує вільне проходження майже всіх абразивних часток через цей зазор не спричиняючи зносу деталям ШГМЗ3.

Ексцентричне зміщення шестерень для ущільнення радіального зазору пропонується здійснити в напрямку ДП рівнодіючої сил на шестерні 2 і 3 ШГМЗ3, а саме в напрямку прямої O_1A_1 для ведучої і O_2A_2 для веденої шестерні, тобто в напрямку максимального зносу корпусу (див. фіг. 5). Як зазначено вище, ексцентриситет e може бути $e > 0$, $e = 0$ та $e < 0$. При цьому за позитивний напрямок ексцентриситету приймається зміщення шестерень в напрямку від порожнини високого тиску 5 до порожнини всмоктування 4 вздовж прямих O_1A_1 для ведучої і O_2A_2 для веденої шестерні. З виразу (4) бачимо (див. фіг. 5), що

$$\begin{aligned} e > 0, \text{ якщо } \Delta R < R_{K3\ max} - r_{шв} - \delta_{ac\ max}, \\ e = 0, \text{ якщо } \Delta R = R_{K3\ max} - r_{шв} - \delta_{ac\ max}, \\ e < 0, \text{ якщо } \Delta R > R_{K3\ max} - r_{шв} - \delta_{ac\ max}. \end{aligned}$$

З наведеного бачимо, що відмінні ознаки, які відрізняють винахід, що пропонується забезпечують підвищення якості ремонту ШГМЗ3 за рахунок підвищення об'ємної подачі і коефіцієнта об'ємної подачі, розширення технологічних можливостей способу, підвищення тиску робочої рідини, а також підвищення надійності і довговічності ШГМЗ3. Приклад конкретного використання способу.

Ремонтували насоси НШ-46У що надійшли до Кіровоградського ремонтно-механічного заводу ім. В. К. Таратуги. Після миття і розбирання зношені деталі шестеренних насосів надходять на дефектацію, де визначають такі параметри, як максимальний знос корпусу $R_{K3\ max} = 27,85\text{мм}$ та зноси шестерень $r_{шв} = 27,45\text{мм}$.

Після цього, шестерні 2 і 3 надходять на дільницю механічної обробки, де вони підлягають шліфуванню на крутлошліфувальному верстаті до виведення слідів зношення під найближчий ремонтний розмір до значення радіусу - $r_{шв} = 27,35\text{мм}$.

Під час відновлення корпусу 1 (фіг. 3) його нагрівають до температури вище температури рекристалізації, яка становить для сплаву АЛ - 9 - 220°C . При цьому, оскільки бажано зберегти таку температуру до кінця поверхневого пластичного деформування то корпус гріють до температури $380^\circ - 450^\circ\text{C}$ в електричній печі СНЗ - 6 12 4/10М1. Далі корпус 1 розміщують в спеціальному пристосуванні 8 і здійснюють поверхневе пластичне деформування інструментом 9, яке передбачає рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу з утворенням запон 10. При цьому заглиблення запон формують шляхом перерозподілу металу у напрямку зносу, а їх виступи у напрямку протилежному зносу ділянок розділення робочих порожнин. При цьому виступи спеціального роликів інструменту 9, який обертається відносно ексцентричне зміщеної осі, під впливом силового чинника занурюється в корпус 1. Процес поверхневого пластичного деформування стінок корпусу ШГМЗ3, який передбачає рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу з утворенням запон представлено на фіг. 2. При цьому спосіб, що пропонується, в змозі забезпечити відновлення корпусів практично з будь-якими зносами. Після відновлення корпусу змінює радіусу корпусу в результаті його відновлення поверхневим пластичним деформуванням становить - $\Delta R = 0,5\text{мм}$.

Запони 10 формують у вигляді прямої циліндричної поверхні, направляюча якої описується в полярній системі координат рівняннями (1) і (2), при цьому параметр α для вхідної стінки 11 становить $\alpha = 35^\circ$, а для вихідної стінки 12 - $\alpha = 90^\circ + (10^\circ - 15^\circ)$ (див. фіг. 3).

Наведемо приклад розрахунків параметрів запон за залежностями (1), (2) і (3). З фіг. 3 бачимо, що запона складається з двох частин з вхідної стінки, який відповідає кутова координата φ_1 і вихідної стінки, який відповідає кутова координата φ_2 . З залежності (1) знаходимо загальний вираз для знаходження параметра φ

$$\varphi = \text{ctg}\alpha \cdot \ln \frac{k}{r} \quad (12)$$

Задаємося значеннями глибини запон $h = 1\text{мм}$ та необхідного радіусу розточок колодязів корпусу $R = 27,45\text{мм}$.

Тоді виходячи з залежності (12) після підстановки конкретних величин $h = 1\text{мм}$ та $R = 27,45\text{мм}$ маємо

- для вхідної стінки запон при $\alpha = 35^\circ$

$$\varphi_1 = \text{ctg}35^\circ \cdot \ln \frac{27,45 + 1}{27,45} = 2,93^\circ,$$

- для вихідної стінки запон при $\alpha = 100^\circ$

$$\varphi_2 = -\text{ctg}100^\circ \cdot \ln \frac{27,45 + 1}{27,45} = 0,36^\circ,$$

При цьому значення радіус - вектора r для вхідної стінки запон обчислюємо за виразом (1) при значенні параметрів $R = 27,45\text{мм}$, $h = 1\text{мм}$ та $\varphi_1 = 0 - 2,93^\circ$. Результати обчислень наведені в таблиці 1. Радіус - вектор r описує направляючу для твірної циліндричної поверхні вхідної стінки запон з позиції 15 до позиції 16 фіг. 3.

Таблиця 1
Результати розрахунків зміни радіус вектора r вхідної стінки запони в залежності від зміни кута його повороту φ_1

Поточне значення кута повороту радіус - вектора r вхідної стінки φ_1 , град	0	0,586	1,172	1,758	2,344	2,93
Розрахункове значення радіус вектора r вхідної стінки запони, мм	28,45	28,25	28,05	27,85	27,65	27,45

Значення радіус — вектора r для вихідної стінки запони обчислюємо за виразом (1) при значенні параметрів $R = 27,45$ мм, $h = 1$ мм та $\varphi_2 = 0$ 0,361°
Результати обчислень наведені в таблиці 2 Радіус

- вектор r описує направляючу для твірної циліндричної поверхні поверхні вихідної стінки запони з позиції 15 до позиції 17 фіг 3

Таблиця 2
Результати розрахунків зміни радіус вектора r вихідної стінки запони в залежності від зміни кута його повороту φ_2

Поточне значення кута повороту радіус - вектора r вихідної стінки φ_2 , град	0	0,072	0,144	0,217	0,289	0,361
Розрахункове значення радіус вектора r вихідної стінки запони, мм	28,45	28,25	28,05	27,85	27,65	27,45

Розрахунки за отриманою залежністю (11) показують, що для зниження об'єму втрат робочої рідини на 5% при радіальному зазорі після місця утворення запон $\delta = 0,1$ мм складає 21 запону Тиск в місці утворення запон піднімається в 1,2 1,3 рази по зрівнянню з номінальним

Згідно способу, що пропонується доцільно формувати запони не по всьому периметру контактування шестерень 2 і 3 з корпусом 1, а пропорційно швидкості потоку втрат робочої рідини через радіальний зазор δ_r (фіг 5) Пропонується взагалі формувати запони лише в зоні безпосереднього ущільнення верхівок зубців шестерень 2 і 3 корпусом 1, тобто в секторах центральних кутів $O_1B_1C_1$ і $O_2B_2C_2$ (фіг 5)

Як відомо на цей час не існує досить ефективної технології відновлення втулок насоса, а тому їх виготовляють відливанням з наступною механічною обробкою При цьому отвори під цапфи шестерень зміщують відносно їх геометричного центру вбік максимального зносу корпусу 1 на величину ексцентриситету e за умовою (3)

Напрямок ексцентричного зміщення шестерень співпадає з напрямком рівнодіючої всіх сил на шестерні 2 і 3 ШГМЗЗ, а саме в напрямку прямої O_1A_1 для ведучої і O_2A_2 для веденої шестерні (фіг 5), тобто в напрямку максимального зносу корпусу, а сам ексцентриситет e визначають з умови (3), де $R_{K3 \max} = 27,85$ мм – радіус

максимально зношеного корпусу, $\Delta R = 0,4$ мм – зміна радіусу корпусу в результаті його відновлення поверхневим пластичним деформуванням, $r_{шв} = 27,35$ мм – радіус відремонтованих шестерень, $\delta_{ач \max} = 0,05$ мм – максимальний розмір абразивних часток, присутніх в робочій рідині Тоді маємо

$e = R_{K3 \max} - \Delta R - r_{шв} - \delta_{ач \max} = 27,85 - 0,4 - 27,35 - 0,05 = 0,05$ мм,

Тим самим забезпечують наявність гарантованого радіального зазору $\delta_r = 0,05$ мм, що дозволяє знизити інтенсивності абразивного

зношення деталей ШГМЗЗ чим і підвищується надійність та довговічність ШГМЗЗ в цілому

Після ремонту і відновлення деталей ШГМЗЗ його направляють на збирання Збирання насоса призводять в звичайній послідовності встановлюють нижні втулки, далі шестерні і верхні втулки, встановлюють гумові ущільнення, закривають насос кришкою і затягують болтами Ексцентричне розточені отвори втулок зміщують цапфи шестерень, а разом з ними і шестерні в сторону максимального зносу корпусу, що дає змогу ущільнити верхівки зубців шестерень спеціально заздалегідь обробленою частиною корпусу шляхом поверхневого пластичного деформування, яке передбачає рельєфний перерозподіл поверхневого шару металу з утворенням запон, при цьому заглиблення запон формують шляхом перерозподілу металу у напрямку зносу, а їх виступи у напрямку протилежному зносу ділянок розділення робочих порожнин При цьому центральний кут дуги, що охоплює верхівки зубців шестерень в секторах центральних кутів $O_1B_1C_1$ і $O_2B_2C_2$ (фіг 5) становить 45°, що дозволяє надійно забезпечити працездатність насоса, оскільки в зоні ущільнення постійно знаходиться не менше одного зубця шестерні при будь-якому куті повороту шестерень

Після цього, відремонтовані насоси надходять на обкатку і випробування, що здійснюють на спеціальних стендах КИ - 4815 М

Після обкатки під час випробування були визначені основні технічні характеристики відремонтованого насоса за способом, що пропонується, а саме

- об'єм робочої порожнини насоса,
- об'ємну подачу насоса,
- деформації корпусу під час експлуатаційних навантажень,
- функціональні залежності коефіцієнта об'ємної подачі - η_v і загального ККД насоса - $\eta_{заг}$ від тиску, який розвиває насос,
- максимальний тиск, який спроможний розвинути насос

Відремонтовані насоси підлягали також стендовим прискореним випробуванням на зношування

При цьому для порівняння паралельно випробували новий насос, насос, відремонтований за прототипом і насос, відремонтований за способом, що пропонується

Дослідження нових та відновлених насосів за прототипом і за способом що пропонується виконували з використанням відомих методик

При визначенні об'єму робочої порожнини насоса, об'ємної подачі насоса та функціональних залежностей коефіцієнта об'ємної подачі – η_v і загального ККД насосу – $\eta_{\text{заг}}$ від тиску, який розвиває насос, використовували стенд для обкатки і випробування насосів КИ - 4815 М

Вимірювання деформацій відновленого корпусу шестеренного насоса під час експлуатаційних навантажень здійснювали за допомогою методик тензометрування

Прискорені стендові випробування насосів на зношування проводили за допомогою спеціального стенду СИН - 7 При цьому прискорення випробувань досягається завдяки

частішанню циклів експлуатаційного навантаження та додавання в робочу рідину штучного абразивного забруднювача Повний цикл випробувань складається із чотирьох етапів, які разом тривають 6 годин Випробування продовжували 12 годин, що відповідає 2700 годинам експлуатації

Випробування на максимальний тиск, який спроможний розвинути насос здійснювали таким чином На кожному наступному кроці тиск, який розвиває насос збільшували на 5МПа починаючи з максимального тиску, який може розвинути насос за паспортом 16,0МПа На цьому режимі насос працював впродовж 5 хвилин Далі тиск знижували до номінального 14,0МПа і насос працював на цьому режимі впродовж 3 хвилин Випробування продовжували до заклинювання насосу

Порівняльні результати вимірювання об'єму робочої порожнини насосу і об'ємної подачі насоса, деформації корпусу під час експлуатаційних навантажень та результати випробування на максимальний тиск наведені в таблиці 3

Таблиця 3

Порівняльні результати вимірювання об'єму робочої порожнини насосу, об'ємної подачі, деформації корпусу під час експлуатаційних навантажень та випробування насоса на максимальний тиск

Технічні показники насоса	Насос		
	Новий	Відремонтований за прототипом	Відремонтований за способом, що пропонується
Ширина шестерні, мм	32,0	31,8	31,8
Зовнішній діаметр шестерні, мм	55,0	54,7	54,7
Об'єм робочої порожнини при тиску, що розвиває насос $P = 0$ МПа, см^3	46,62	44,68	44,68
Об'ємна подача насосу при частоті обертання $N = 1920$ хв^{-1} і номінальному тиску, що розвиває насос $P = 14,0$ МПа, $\text{дм}^3/\text{хв}$	82,34	77,21	80,64
Деформації в різних місцях корпусу при тиску 14,0МПа	115 30	65 30	55 25
16,0МПа	225 75	135 60	125 65
Максимальний тиск, який спроможний розвинути насос, МПа	220	210	250

Функціональні залежності коефіцієнта об'ємної подачі – η_v і загального ККД насосу – $\eta_{\text{заг}}$ від тиску, який розвиває насос представлені на фіг 6 і фіг 7

Порівняльні результати прискорених стендових випробувань на зношення представлені в таблиці 4

Таким чином, з порівняльного аналізу технічних характеристик шестеренних насосів, що відновлені за прототипом і за способом, що пропонується, бачимо, що впровадження винаходу у виробництво в порівнянні з прототипом дасть змогу підвищити якість відновлення, а саме

- підвищити тиск, який спроможний розвинути насос в 1,2 рази за рахунок підвищення тиску в зоні утворення запон,
- підвищити стійкість спраження верхівки

зубців шестерень — корпус, що дає змогу знизити зношування шестерень по зовнішньому діаметру в 2,4 рази і знизити зношування корпусу насоса в 1,94 рази за рахунок збільшення радіального зазору до величини не менше $\delta_{\text{ач max}}$, через який спроможні проходити абразивні частки майже будь-якого діаметра не зашкодивши корпусу і верхівкам зубців шестерень,

- підвищити коефіцієнт об'ємної подачі насоса на 3%,

- знизити інтенсивність падіння коефіцієнта об'ємної подачі насоса при випробуваннях на зносостійкість на 6,9 %,

- підвищити загальний ККД насоса в середньому на 3 %,

- розширити область застосування за рахунок можливості відновлення корпусів ШГМЗ3

практично з будь-якими зносами багатократного деформування

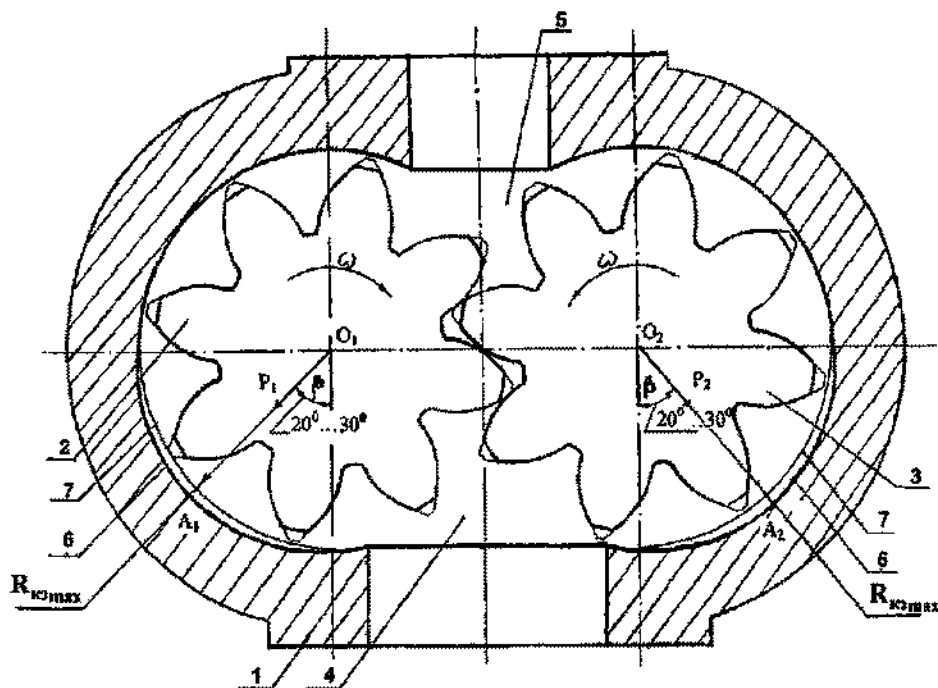
Таблиця 4

Порівняльні результати випробувань насосів на зносостійкість нових насосів, насосів, які відновлені за прототипом і за способом, що пропонується

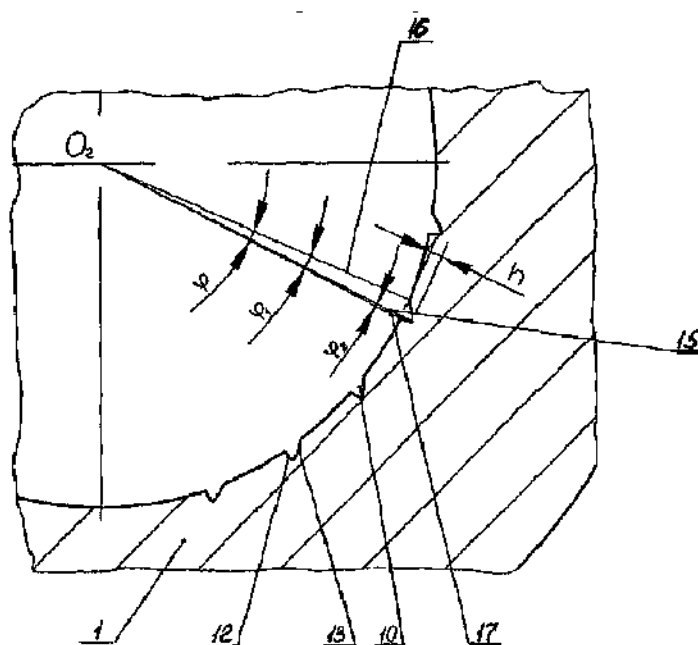
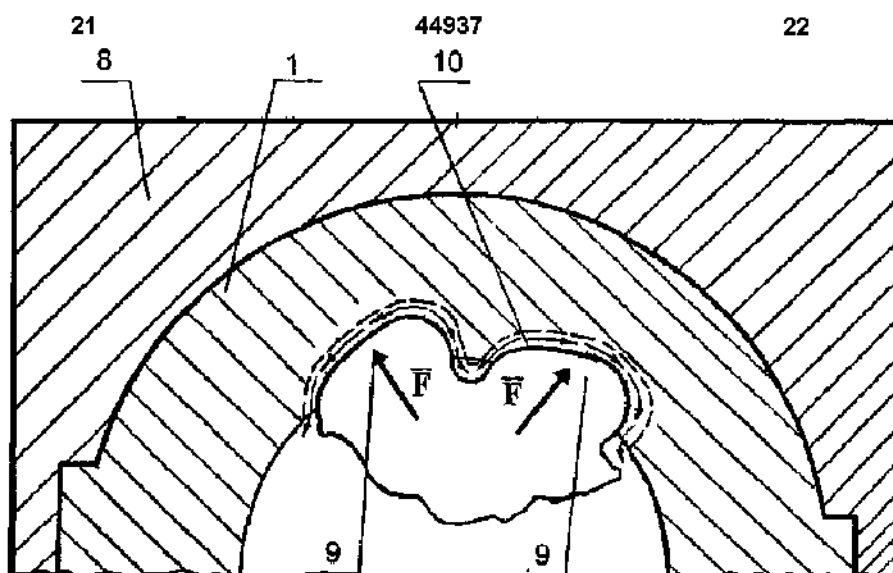
Технічні показники насоса	Результати досліджень технічних характеристик насосів		
	Новий корпус серійного насоса	Корпус, який відновлено за прототипом	Корпус, який відновлено за способом, що пропонується
Продовження випробувань насосів на зносостійкість, годин	12	12	12
Коефіцієнт об'ємної подачі насоса в кінці випробувань η_v	0,80	0,82	0,88
Знос шестерень, м По зовнішньому діаметру	0,35	0,36	0,15
по ширині	0,8	0,82	0,83
Знос корпусу насоса, мм	0,5	0,35	0,18
Об'ємна подача насоса в кінці випробувань при тиску 14,0МПа і частоті обертів 1920хв ⁻¹ дм ³ /хв	66,89	68,44	75,32

Спосіб ремонту ШГМЗЗ може бути успішно застосований на ремонтних підприємствах, що займаються централізованим ремонтом

гідромашин Спосіб відрізняється значним покращенням якості ремонту та незначними витратами при відновленні шестерень, корпусу і насоса в цілому



Фіг. 1



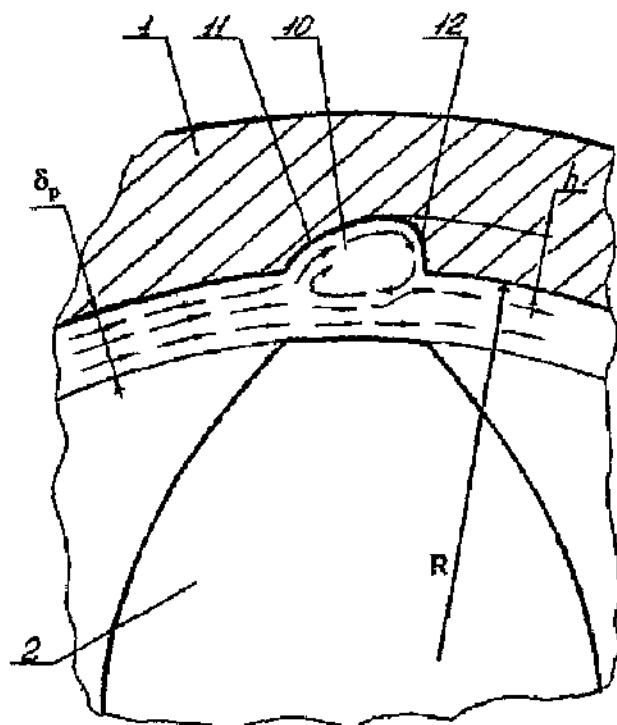


Fig. 4

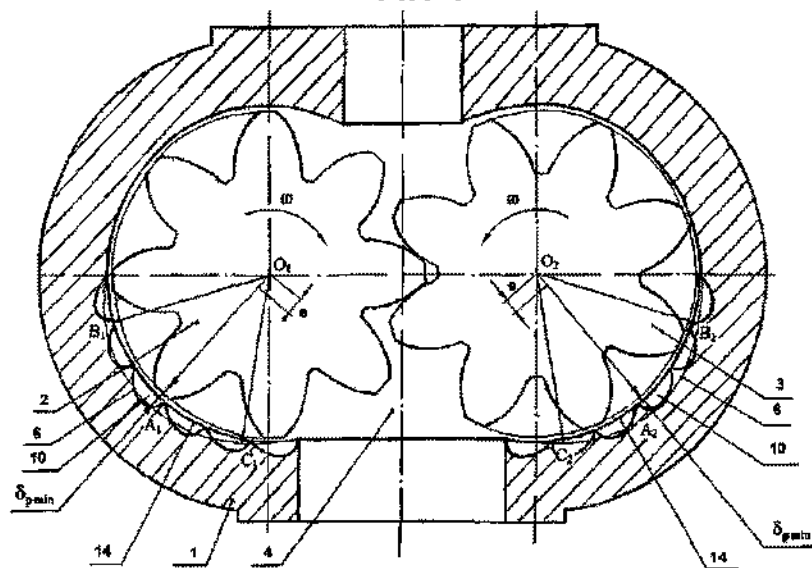
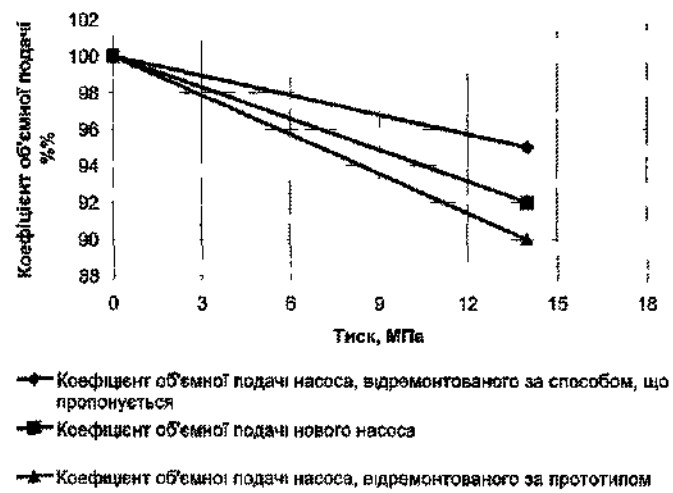
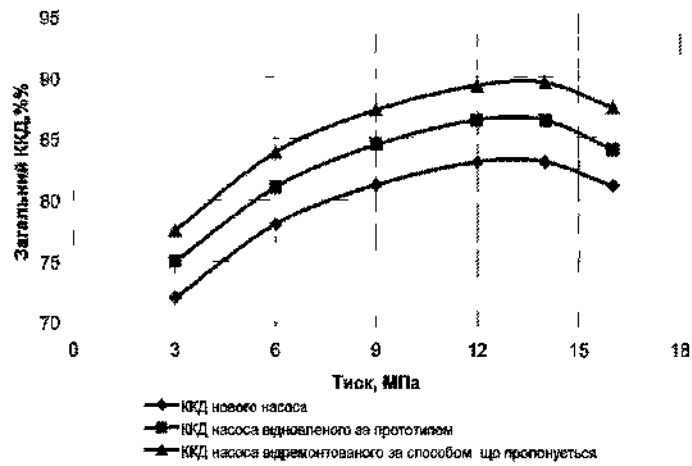


Fig. 5



Фіг. 6



Фіг. 7