

Є.В. Калганков, інженер, ст. викладач
(ДДАУ)

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ГІДРОАБРАЗИВНО-ВТОМНОГО ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ МОБІЛЬНИХ МАШИН

Анотація. Розглянуто важливі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей, що лімітують працездатність гідроприводу. Отримані дані пропонується використовувати при розробці узагальненої теорії зносу деталей гідроприводу.

Ключові слова: гідроабразивно-втомне руйнування, гідропривід

Ye.V. Kalgankov, Engineer, Senior Teacher
(DSAU)

SOME PROBLEMS OF HYDROABRASIVE-FATIGUE WEAR OF DETAILS OF VOLUME HYDRAULIC DRIVE OF MOBILE MACHINES

Abstract. The important problems of hydroabrasive-fatigue wear of details, limiting the capacity of hydraulic drive, are considered. It is suggested to use findings while developing of the generalized theory of wear of hydraulic drive parts.

Keywords: hydroabrasive-fatigue fracture, hydraulic drive

В сучасному машинобудуванні гідропривід отримав широке застосування. Так, наприклад, на різних марках комбайнів встановлено до 20 гідромоторів надійність яких суттєво впливає на надійність машини в цілому. Як показують статистичні дослідження у 85-90 % випадків причиною виходу з ладу гідроагрегатів є знос вузлів та деталей; на подолання тертя витрачається близько 30-40 % виробленої енергії [1-3]. Тому створення енергоощадної технології завдяки оптимізації параметрів деталей та підвищення надійності гідроагрегатів являється важливою проблемою.

Для визначення та прогнозування зносу використовуються різноманітні методи і засоби випробування на тертя та зношування. Як правило більшість методик вирішують певну задачу і можуть бути використані для конкретної пари тертя, це призводить до значних витрат праці та коштів, бо в машинах використовуються різноманітні з'єднання з різних матеріалів, працюють в різних умовах та середовищах.

Актуальною задачею є розроблення уніфікованих теорій, та критеріїв руйнування, визначення величини зносу та триботехнічних властивостей контактуючих матеріалів. В такій ситуації важливим питанням є створення теорії зносу (гідроабразивно-втомного руйнування деталей агрегатів гідроприводу).

Проблемі тертя й зношування твердих тіл присвячена численна література. Дослідженням процесів тертя та зношування у різні часи займалися як закордонні вчені, так і вітчизняні [1-23]. Для нас найбільш близькими є основи теорії тертя та зношування, сформовані радянськими вченими Н.П. Петровим, П.А. Ребіндером, Б. Дерягиним, В.Д. Кузнецовим, Л.К. Зайцевим, І.В. Крагельским, М.М. Хрущевим, Б.І. Костецьким та іншими вченими [4-7]. Дослідженням процесів зношування гідроагрегатів займалися Т.М. Башта, Н.В. Камчагуров, В.Н. Лозовський [8-10].

Роботи, пов'язані з вивченням тертя, умовно можна розділити на п'ять основних теорій: механічна, молекулярна, молекулярно-механічна, гідродинамічна та енергетична. Основною методикою визначення зношування матеріалів є визначення ваги та лінійних розмірів зразків до і після випробування на машині тертя.

Дана методика дозволяє визначити інтенсивність зношування матеріалів при заданих умовах. Деталі гідроагрегатів працюють в важких умовах, особливо це стосується деталей об'ємного гідроприводу трансмісії в яких за один цикл тиск на деталі качаючого вузла змінюється від 1,6 МПа до 21 МПа, а в окремих випадках і до 35 МПа.

На нинішньому етапі розвитку науки про тертя велике значення приділяється втомним процесам, що виникають в процесі контакту поверхонь тіл, оскільки саме втомні процеси визначають довговічність сучасної машини.

Метою досліджень є побудова фізичної моделі зносу деталей об'ємного гідроприводу трансмісії.

Гідравлічні трансмісії більшості машин, виконано по роздільно-агрегатній схемі, що полегшує компонування гідроагрегатів.

Найбільше використання в об'ємних гідравлічних приводах машин знайшли застосування аксіально-плунжерні агрегати ГСТ-90, ГСТ-112, що виготовляються по ліцензії фірми «Зауэр Гетрибе КГ» Кіровоградським заводом «Гідросила».

Гідростатична трансмісія (ГСТ) призначена для передачі обертового руху від приводного двигуна до виконавчих органів, наприклад, до ходової частини самохідних машин, з безступінчастим регулюванням частоти й напрямку обертання, із ККД близьким до одиниці. Вона використовується в гідроприводах мобільних машин, таких як зернозбиральні й інші комбайни, автобетонозмішувачі, дорожні ущільнювачі, комунальна техніка та інші мобільні машини.

Основний комплект ГСТ складається з регульованого аксіально-плунжерного гідронасоса та нерегульованого аксіально-плунжерного гідромотора [11, 12, 13].

Деталі, що входять до їх качаючих вузлів, виготовляються за високим класом точності, комплектуються як прецизійні пари, що забезпечує експлуатаційну надійність гідромашин.

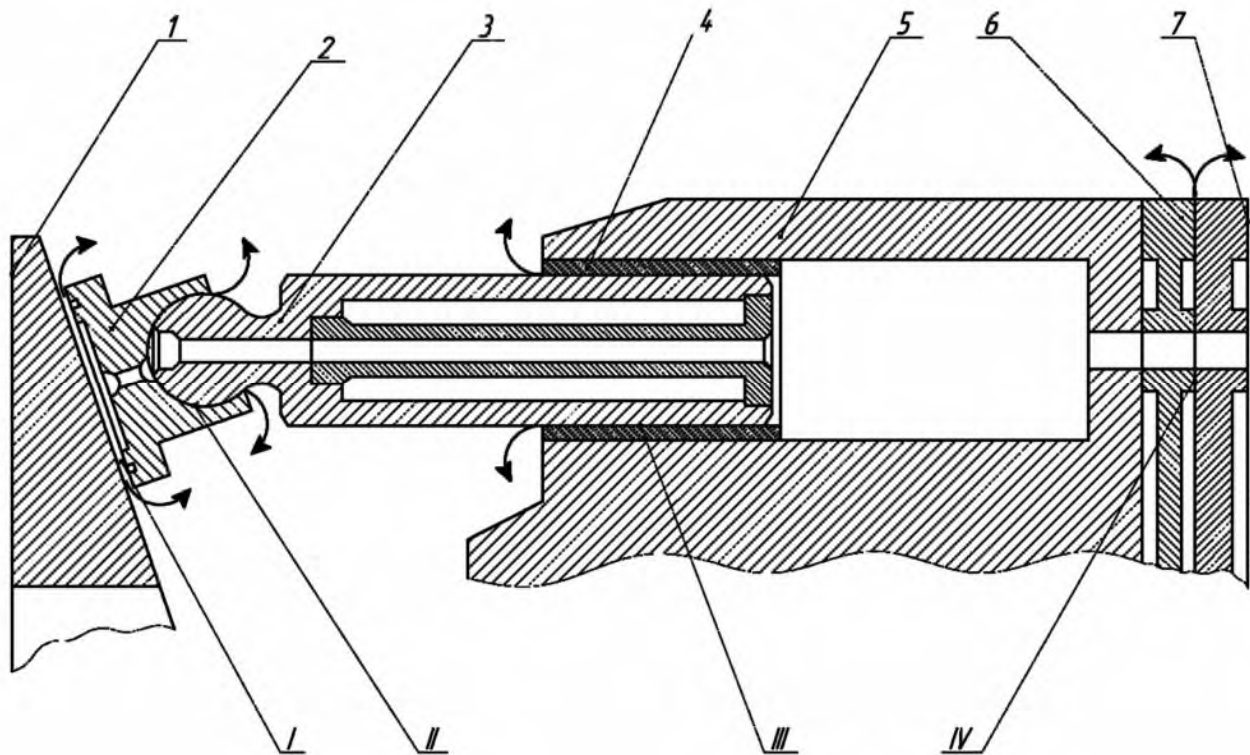
Разом з тим, аналіз експлуатаційної надійності агрегатів гідроприводу трансмісії вказує на недостатнє дослідження явищ, що відбуваються в агрегатах і процесах, вивчення факторів, що впливають на надійність і довговічність агрегатів.

Так в агрегатах нараховується до 20 пар тертя, що в процесі роботи зношуються і руйнуються. Статистична оцінка надійності машин обладнаних гідроприводом, вказує на те, що 30 відсотків всіх відказів техніки припадає на об'ємний гідропривід [14]. Низька надійність гідроприводів вітчизняного виробництва обумовлюється багатьма факторами [15].

Всі ці факти вказують на суттєвий недолік гідроприводів, низьку якість матеріалів з яких виготовлено деталі гідроагрегатів, невідповідність інтенсивностей зношування деталей трибоспряження (наприклад, з'єднання «розподільник сталевий – приставне дно латунне» – інтенсивність їх зношування відрізняється майже в 3 рази). Відсутні методики оцінки та прогнозування ресурсу як окремих деталей так і гідроприводу в цілому.

З аналізу даних роботи [16] можна зробити висновок, що лівова доля відмов гідроприводу, це відмови качаючих вузлів насоса та мотора, на їх долю припадає 44 % всіх відмов гідроприводу і до 74 % відмов гідроагрегату, що входить до складу гідроприводу.

Качаючий вузол (рис. 1) складається з чотирьох спряжень які виконують обертальний та зворотно-поступальний рух. Спряження качаючого вузла виконані з матеріалу «сталь-латунь».



I – з'єднання «п'ята плунжера – похила шайба», II – з'єднання «сферична опора плунжера – сферична опора п'яти», III – з'єднання «втулка плунжера – плунжер», IV – з'єднання «розподільник – приставне дно»; 1 – похила шайба, 2 – п'ята плунжера, 3 – плунжер, 4 – втулка плунжера, 5 – блок циліндрів, 6 – приставне дно, 7 – розподільник

Рис. 1 – Качаючий вузол об'ємного гідроприводу трансмісії ГСТ-90

Основними відмовами качаючого вузла є знос, схоплювання, ерозія, втомне руйнування поверхонь тертя та інші.

В наслідок зношування деталей зменшується потужність привода, продуктивність комбайна, збільшуються втрати врожаю та витрата палива.

На сьогодні існує багато методів зменшення зношення деталей, це зміцнення поверхонь електроіскровим обробленням, оброблення деталей епіламуванням, оброблення та очищення робочих рідин електричним струмом, внесення змін до конструкції гідроагрегату, підбір матеріалів з високими показниками зносостійкості та інше [17-19].

Спостереження за 68 комплектами гідроприводу ГСТ-90, що надходили в ремонт в період з 2001 по 2013 роки дали змогу визначити вагомість впливу різних видів зносу на працездатність та довговічність качаючих вузлів гідроприводу.

Встановлено, що часто масла, котрі заливаються в гідропривід, по чистоті відповідають 13-15, а інколи і 18-му класу чистоти за ГОСТ 17216-71, замість 10-го класу за технічними умовами, забруднення робочої рідини гідроприводу механічними частинками впливає на інтенсивне зношення в з'єднаннях качаючого вузла гідроагрегату.

На працездатність гідроприводу впливає не стільки маса домішок, скільки розміри і твердість їх частинок.

В робочій рідині, також завжди знаходиться газ (повітря), він може бути в ній як в розчиненому, так і в нерозчиненому стані, тобто у вигляді бульбашок. Наявність газу в робочій рідині призводить до перегріву, викликає кавітаційний знос і знижує загальний ККД.

Існуючі теоретичні дослідження вказують на те, що зношення деталей з'єднань качаючого вузла суттєво понижують працездатність гідроприводу транс-

місії. В зв'язку з цим дослідження характеру і виду зношення деталей з'єднань качаючого вузла гідроприводу є важливим етапом при проведенні експериментальних досліджень.

Оцінка характеру і значень зношення з'єднань качаючого вузла «розподільник – приставне дно», «втулка блока – плунжер», «кільцева опора п'яти – опора» виконується при безпосередньому їх візуальному огляді та мікрометруванням за наступної методикою.

Перед початком робіт агрегати гідроприводу трансмісії, котрі надійшли на випробування, очищуються від забруднень. Ця операція виконується за допомогою неводних розчинників, водяних розчинів або ж механічним способом (вручну).

Спосіб очищення вибирається в залежності від ступеня забруднення. Перед очищенням агрегатів гідроприводу трансмісії отвори в їх корпусі закриваються спеціальними заглушками або пробками, які виготовлені з полімерних матеріалів, металу або гуми.

Розбирання агрегатів гідроприводу трансмісії виконується за існуючою технологією. Перед заміром положення деталей фіксується нанесенням на їх неробочу поверхню міток та порядкових номерів, що дозволяє забезпечити правильне орієнтування деталей при виконанні замірів.

Заміри проводяться згідно рекомендацій, передбачених ГОСТ 18509-80. Перед заміром всі деталі ретельно протираються. Для запобігання суб'єктивних помилок мікрометраж деталей виконується одним і тим же інструментом в будівлі з температурою навколишнього середовища 20 ± 5 °С.

Зношення однойменних деталей та існуюче напруцювання є вихідними даними для оцінки динаміки параметрів технічного стану.

Для деталей гідроприводу характерні наступні види зношення: схватування металевих поверхонь, зношення при фретінгу, гідрообразивні зношення, контактне втомлення, спрацювання по механізму дисперсних плівок і вторинних структур, виникаючих на поверхні тертя, мікрошкрябання в результаті мікронерівностей контр тіл.

Кожний із видів зношення має свою фізичну основу, обумовлюється умовами експлуатації (швидкість ковзання, контактні навантаження), а також фізико – механічними властивостями деталей.

Знос з'єднання «розподільник – приставне дно». В агрегатах гідроприводу трансмісії ГСТ-90, для розподілення потоку робочої рідини в підплунжерний простір блоку циліндрів застосовуються плоскі розподільники, з'єднання «розподільник – приставне дно».

Основна перевага плоских розподільників полягає в тому, що теоретично вони менше підлягають заклинюванню в порівнянні з циліндричними парами.

Характер зношення деталей з'єднання «розподільник – приставне дно» визначається візуально. Значення зношення деталей визначається методом профілографування. Для проведення випробувань та зняття профілограм використовується профілограф TALUSURE-4.

Сутність методу виміру зношення профілографуванням зображено на рис. 2. Деталі розміщують відносно траси профілографування таким чином, щоб вістря алмазної голки починало рух з ділянки, що немає зношення. Значення зношення визначається як різниця в профілях зношеної та незношеної поверхонь деталі.

Оцінка стану розподільника (матеріал – сталь ШХ-15 ГОСТ 801-78, твердість 56-62 HRC) показує, що його зношення виникає в місцях контакту з приставним дном. Максимальне зношення поверхні виникає вздовж твірнорозподільчатих вікон біля перемичок розподіляючих вікна. Такий характер зношень характеризується тим, що перенесення замкнутого об'єму робочої рідини між зонами високого і низького тиску супроводжується при роботі

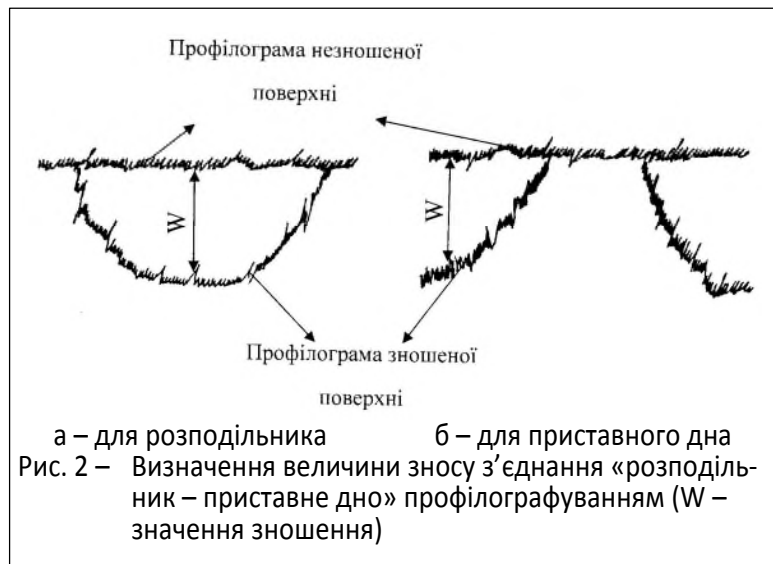


Рис. 2 – Визначення величини зносу з'єднання «розподільник – приставне дно» профілографуванням (W – значення зношення)

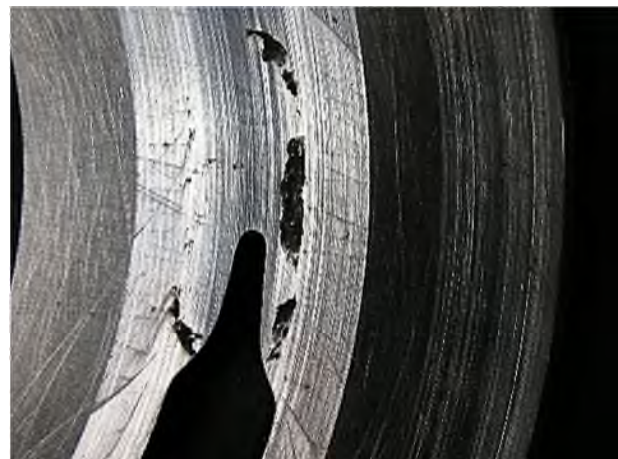
гідромашин хвилювими ударними процесами, які визивають руйнування країв розподільчатих вікон. Крім того високошвидкісні перетікання робочої рідини, яка включає в себе абразивні частинки, через між віконні перемички обумовлює виникнення каналів, з'єднуючих області високого і низького тисків.

Характерним є те, що максимальне зношення розподільника проходить по зовнішньому поясу вікна в зв'язку з більшими половини швидкостями по діаметру цього пояса. Абразивні частинки, що потрапляють до цього швидкісного потоку робочої рідини по зовнішньому поясу в умовах гідроабразивного зношення будуть обумовлювати більш глибокі канали ніж по внутрішньому поясу.

Загальний вид зношення підтверджує висновок про те, що переважним видом зношення розподільника є гідроабразивне зношення про що свідчить зовнішній вид зношення (рис. 3,а) чітко видно поздовжні риски, натири, гребінці, характерні для цього виду зношення. В ряді випадків спостерігається також процес скаплювання, який характеризується виникненням на найбільш твердій деталі наросту із матеріалу менш твердої деталі (приставного дна).



а



б

Рис. 3 – Зовнішній вид зношення приставного дна (а) та розподільника (б)

Виникнення схоплювання обумовлюється витисненням із зазору з'єднання робочої рідини в результаті попадання між деталями абразивних часток, а також баланс гідростатичних сил розвантаження пори тертя. В результаті цього виникає безпосередній металевий контакт і при недостатній протизадирній стійкості матеріалу деталей проходить схоплення. Приставне дно (матеріал ЛМЦ КНС 58-3-15-

15-1, ТУ 48-21-775-85, твердість HRC_э 80), зношується в місцях контакту з розподільником. Однакові умови роботи приставного дна і розподільника обумовлюють ідентичний характер зношення деталей. Про це свідчить зовнішній вид зношення поверхні, що підтверджує наявність гідроерозійного і гідроабразивного зношення (рис. 3, б). Також латунне приставне дно внаслідок дії знакозмінних навантажень та дії тиску рідини величиною до 35 МПа підвержене втомному руйнуванню про, що свідчать власні дослідження та дослідження [20, 21]. Авторами встановлено, що приставне дно має недопустимо низьку довговічність, як показали дослідження вона складає 597 год. при середньоквадратичному відхиленні 478 год., в той час коли регламентований ресурс ГСТ повинен бути не менше 1600 год. Всі деталі при випробуваннях вийшли з ладу внаслідок втомлювального руйнування.

У приставного дна найбільше значення теж виявляється по зовнішньому пояску і досягає 60 мкм при напрацюванні 5000 мотогодин, а гарантований заводом виробником міжремонтний ресурс гідростатичної трансмісії ГСТ-90 складає 1820 мотогодин.

Проведені дослідження характеру і виду зношення деталей спряження «розподільник – приставне дно» дозволяють зробити наступні висновки:

1. Переважним видом зношення деталей спряження «розподільник – приставне дно» є гідроабразивне та втомне зношення.

2. Максимальне зношення, як розподільника, так і приставного дна спостерігається по зовнішньому пояску і пояснюється тим, що по цьому діаметру кола, швидкості більше, ніж по внутрішньому.

Знос з'єднання «плунжер – втулка плунжера». Характер зношення деталей плунжерної пари визначається візуально. При заклинюванні плунжерів у втулках блока, характер зношення визначається після виймання плунжера з втулки. Зношення деталей з'єднання «втулка блока – плунжер» виконується визначенням дійсних розмірів деталей. Плунжери вимірюються в трьох перерізах і в двох взаємоперпендикулярних площинах важільною скобою СР25 ГОСТ 11098-75, ціна поділки якої 0,002 мм. Визначення характеру і величини зношення деталей спряження «втулка блока – плунжер» є важливим етапом, оскільки ряд авторів вважають, що технічний стан качаючого вузла гідромашин може бути оцінений за допомогою такого параметру як зазори в парі «втулка – плунжер».

Плунжер (матеріал – сталь ШХ-15СГ ГОСТ 801-78, твердість 52-56 HRC) зношується по діаметру 20 мм. Характер зношення плунжера показано на рис. 5.

Такий характер зношення плунжера обумовлюється його рухом в процесі роботи гідромашини. Плунжер має складний рух; він рухається зворотно-поступово та обертово. При досягненні ним верхньої і нижньої мертвих точок та за наявності перекидного моменту, що виникає в результаті руху п'яти плунжера по нахиленій опорі, максимальне зношення деталей виникає в крайніх точках.

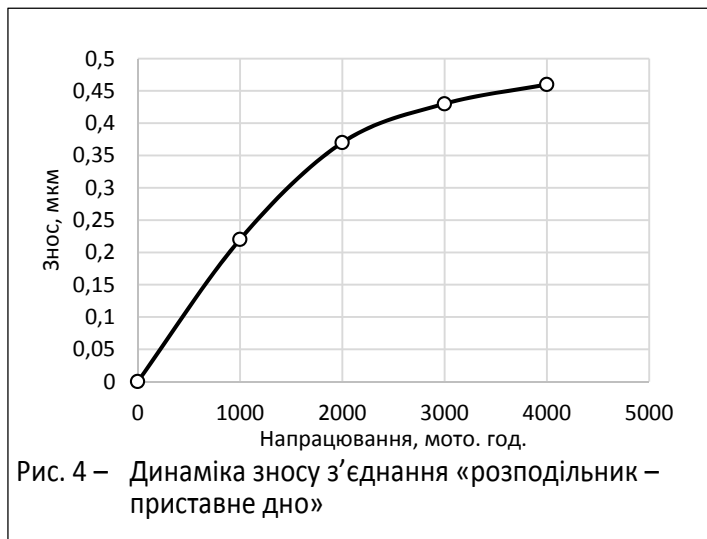
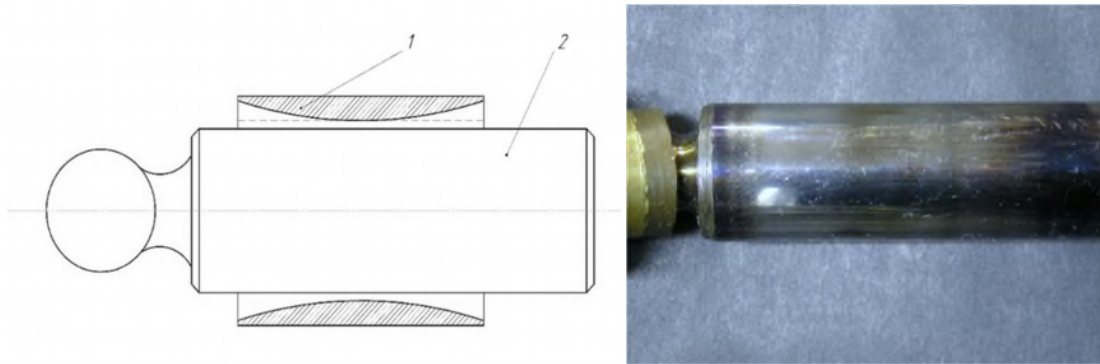


Рис. 4 – Динаміка зносу з'єднання «розподільник – приставне дно»



1 – латунна втулка, 2 – сталевий плунжер

Рис. 5 – Характерний вид зношення пари «плунжер – втулка»

Загальний вид (рис. 5) підтверджує висновок про те, що вагомішим видом зношення плунжера є гідроабразивний, про що свідчать поздовжні риски, натири характерні для виду зношення. Втулка блока (матеріал ЛМЦСКА58-2-2-1-1, ТУ 48-21-775-85, твердість HRC_э – 80) зношується в місцях контакту з плунжером, характер зношення якої наведено на рис. 5. У втулки, як і у плунжера, в більшій мірі зустрічається гідроабразивне зношення. Зношення деталей спряження «втулка – плунжер» в процесі експлуатації зумовлює збільшення зазору в зручній парі. Якщо за технічними умовами на виготовлення деталей даного спряження зазор повинен бути в межах 11-23 мкм, то в умовах експлуатації середнє значення зазору досягає значно більших значень.

Його ріст буде зумовлювати об'ємні втрати робочої рідини, а тому при більш детальному розгляді надійності агрегатів гідроприводу трансмісії цей взаємозв'язок треба розглянути більш детально. В цілому, проведені дослідження характеру і виду зношення деталей спряження «втулка блока – плунжер» дозволяють зробити наступні висновки:

- плунжер і втулка зношуються не рівномірно, що зумовлюється слабким рухом плунжера та його перекошенням у втулці, а тому в якості структурного параметру для цієї пари слід взяти середнє значення зазору;
- основним видом зношення деталей спряження «втулка блока – плунжер» є гідроабразивне зношення.

Знос з'єднання «п'ята плунжера – опора». Аналіз технічного стану п'яти плунжера та опори люльки гідронасоса теж вказав на присутність гідроабразивного та втомного зношення на їх робочих поверхнях (рис. 6, рис. 7).

П'ята плунжера (матеріал ПМЦСКА-58-2-2-1-1 ТУ 48-21-775-85) по кільцевій опорі на якій чітко проглядаються риски вільної глибини і профілю, дійсні розміри яких не має можливості визначити за допомогою мікрометричного інструмента.

Таке зношення кільцевої опори пояснюється забрудненням робочої рідини. Абразивні частинки, що знаходяться в робочій рідині, втискаються в більш м'яку поверхню п'яти, які потім нарізають канали на опорі та похилій шайбі (рис. 7).

Виникаючі таким чином риски і канали зумовлюють додаткові канали, які приводять до збільшення втрат робочої рідини і, як наслідок, порушують площину між п'ятою і опорою люльки. Виникнення останнього фактора приводить до прискореного зношення кільцевої опори, це і пояснює той факт, що при розгляді технічного стану п'яти плунжера, кільцева опора яких або має риски, або ж вона повністю зношена (рис. 6,а) і практично відсутні п'яти з рівномірним зношенням кільцевої опори.



а



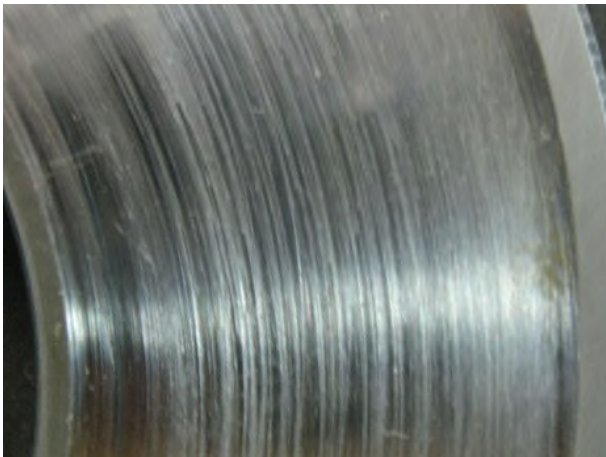
б



в

а, б – гідроабразивний знос; в – втомне руйнування

Рис. 6 – Види зносу п'яти плунжера



а – опора люльки, б – опора похилої шайби



Рис. 7 – Гідроабразивний знос

Саме п'ята плунжера працює в умовах змінного тиску, так частина п'ят сприймає тиск до 35 МПа, а частина до 1,6 МПа таким чином п'яти постійно стискаються, що призводить до їх втомного руйнування рис. 6, в. Також при дряпанні абразивними частинками поверхні п'яти виникає пластичне деформування матеріалу та вириг часток металу, що також призводить до втомного руйнування п'яти.

Прискорене зношення кільцевої опори зумовлює її повне зминання, після чого починається процес завальцювання отвору статичного підпору п'ят, що зу-

мовлює різке збільшення перпендикулярного моменту і обумовлює вилив п'яти із загорнення [22, 23].

Одночасно з гідроабразивним зносом протікають процеси пластичного деформування поверхневого шару матеріалу внаслідок дії часток абразиву та частих змін тиску в магістралях. Такі дії призводять до поступової втрати пружності матеріалу і втомного руйнування п'яти.

Процес переходу до повного зношення п'яти плунжера, її виливу із плунжера на кінцевій стадії проходить швидко і зумовлюється висотою кільцевої опори, яку можна використовувати як структурний параметр.

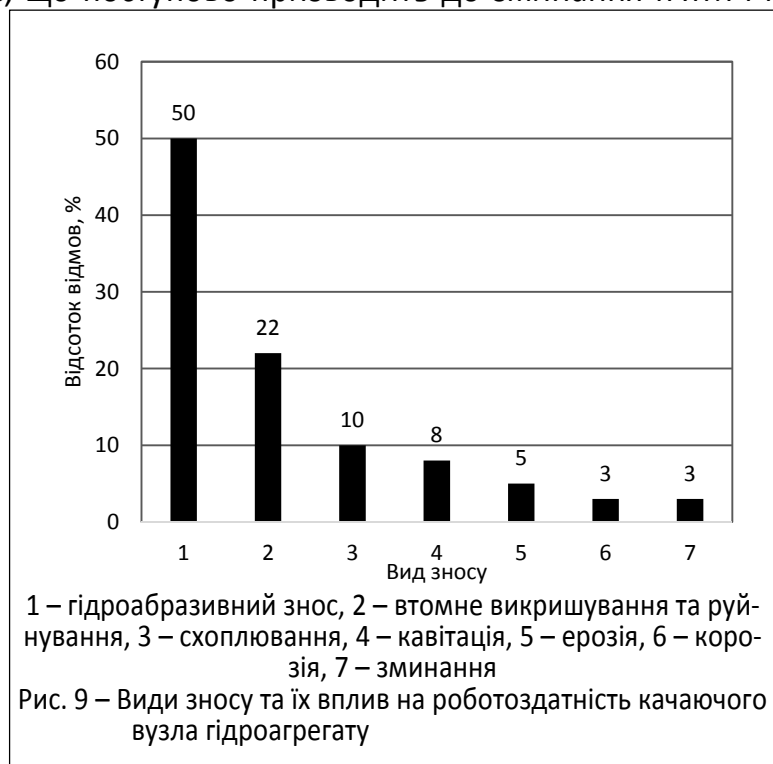
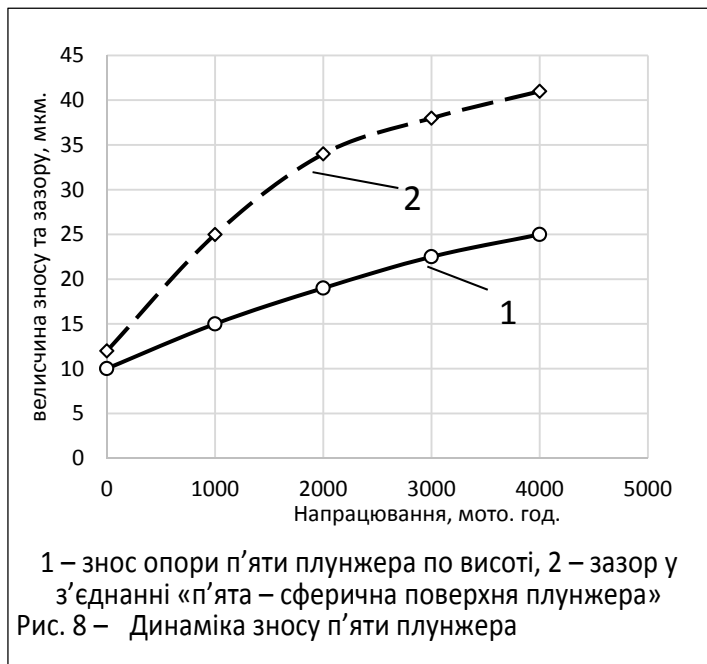
Поведені дослідження характеру і виду зношення кільцевої опори дозволяють зробити наступні висновки:

- переважним видом зношення кільцевої опори п'яти плунжера являється гідроабразивне та втомне зношення, що зумовлює виникнення рисок і каналів, що призводять до втрат робочої рідини і порушенню плоскості між третьюми поверхнями і прискореному зношенню опори, а часті занурення абразиву в поверхні п'яти викликають втому матеріалу і його руйнування;
- процес переходу до повного зношення п'яти і її виливу проходить на завершальній стадії швидко і зумовлюється висотою кільцевої опори, котру можна застосовувати як структурний параметр;
- при експлуатації на рідинах, що відповідають технічним умовам переважним видом зносу є - втомний знос, що поступово призводить до змінання п'яти і її руйнування.

Вплив різних видів зносу на роботу качаючого вузла наведено на рис. 9.

Таким чином, основними видами зносу являються гідроабразивний та втомний; вони викликані забрудненням робочої рідини механічними домішками та частими змінами тиску.

Головними джерелами забруднення гідроприводу є: технологічні забруднення, які потрапляють в процесі виготовлення й ремонту гідроагрегатів; забруднення, котрі потрапляють при транспортуванні, зберіганні та заправці робочої



рідини; продукти спрацювання деталей гідроагрегатів; частини пилу, які попадають при експлуатації через зазори ущільнень гідроагрегатів та заливну горловину; продукти окислення деталей гідроагрегатів. Дія абразивних часток на поверхні призводить до зношування деталей і, як наслідок, збільшення зазору в парах тертя та збільшення втрат робочої рідини, також дія часток призводить до пластичного деформування поверхневих шарів металу і втомного руйнування деталей.

Така фізична модель дає змогу побудувати узагальнену теорію гідроабразивно-втомного зносу деталей гідроприводу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шимчук, С.П. Метод дослідження протизносних властивостей мастильних матеріалів при радіальних коливаннях валу. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / С.П. Шимчук. – Київ, 2008. – 16 с.
2. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видувництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 322 с.
3. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше [и др.]; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.
4. Таненбаум, М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин / М.М. Таненбаум. – М.: Машиностроение, 1966.
5. Основы расчётов на трение и износ / Крагельский И.В. [и др.] – М.: Машиностроение, 1977. – 570 с.
6. Петров Н.П. Гидродинамическая теория смазки. – М.: Издательство АН СССР, 1948. – 556 с.
7. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МСХА, 2001.
8. Козырев, С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации / С.П. Козырев. – М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.
9. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1990. – 234 с.
10. Дидур, В.А. Влияние технологической среды на износ гидроагрегатов / В.А. Дидур // Техника в сельском хозяйстве. – 1984. – №3. – С. 41.
11. Н.В. Камчагуров. Причины появления ресурсных отказов и оценка долговечности гидростатических трансмиссий сельскохозяйственной техники автореферат: дис. канд. техн. наук. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1992. – 16 с.
12. Фролов, С.Н. Исследование износов плунжерных пар гидростатической трансмиссии ГСТ-90 / С.Н. Фролов // Новые методы ремонта и восстановления деталей сельхозтехники. – Саранск: Изд-во Морд. Ун-та, 2001. – С. 95-99.
13. Гидравлика, гидромашин и гидропневмопривод: Учеб. пособие для студ. высших уч. заведений / Т.В. Артемьева, А.Н. Румянцева, С.П. Стесин; Под ред. С.П. Стесина. – 4-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 336 с.
14. Мельянцева, П.Т. Опыт ремонта гидропривода ГСТ-90 на ремонтных предприятиях / П.Т. Мельянцева, Б.Г. Харченко, И.Г. Голубев // Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1989. – 41 с.
15. Калганков, Є.В. Технічне діагностування об'ємних гідроприводів трансмісії як об'єктивна необхідність / Є.В. Калганков // Сучасна наука: теорія і практика. – Запоріжжя, 2012. – Т. 2. – С. 88-90.
16. Мельянцева, П.Т. Аналіз відмов та причин втрати роботоздатності агрегатів гідроприводу трансмісії ГСТ-90 / П.Т. Мельянцева, Є.В. Калганков, О.І. Кириленко, Т.В. Черних // Достижения науки за последние годы: Сб. научн. докл. – Варшава, 2012. – С. 62-66.
17. Голубев, В.А. Исследования работоспособности гидропривода ГСТ-90 на масле МГ-30У (МГЕ-46В) / В.А. Голубев // Тракторы и сельхозмашины. – 1983. – №10.
18. Буря, А.И. Підвищення технічного рівня гідрооб'ємної трансмісії шляхом удосконалення конструкції та використання композитних матеріалів / А.И. Буря, Ю.В. Армашов, А.С. Бедин // Композитные материалы. – Днепропетровск: ДГАУ, 2009. – Т. 3. – № 1. – С. 53.
19. Бурумкулов, Ф.Х. Электроискровая обработка металлов – универсальный способ восстановления изношенных деталей / Ф.Х. Бурумкулов, В.П. Лялякин, И.А. Пушкин, С.Н. Фролов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – №4. – С. 23-28.
20. Качанов, Ю.Ф. О выборе режимов нагружения при обкатке аксиально-поршневых гидромашин / Ю.Ф. Качанов // Тракторы и сельхозмашины. – 1983. – № 2. – С. 19.
21. Ткаченко, В.А. Повышение долговечности тяжело нагруженных деталей аксиально-поршневых машин путем подбора материала / В.А. Ткаченко, Г.Б. Гершман // Тракторы и сельхозмашины. – 1983. – № 2. – С. 29.
22. Мельянцева, П.Т. Визначення впливу технічного стану п'яти – плунжера качаючого вузла ГСТ-90 на його роботоздатність / П.Т. Мельянцева, Є.В. Калганков // Науковий вісник Національного універси-

тету біоресурсів та природокористування України. Серія: техніка та енергетика в АПК. – К., 2010. – Вип. 144, Ч. 3. – С. 390-398.

23. Калганков, Є.В. Обґрунтування інформативних діагностичних параметрів технічного стану об'ємного гідроприводу трансмісії ГСТ-90 / Є.В. Калганков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2009. – № 2. – С. 71-74.

Про автора

Калганков Євген Васильович, інженер, старший викладач кафедри «Надійність та ремонт машин», Дніпропетровський державний аграрний університет (ДДАУ), Дніпропетровськ, Україна

About the author

Kalgankov Yevgeniy Vasilievich, Engineer, Senior Teacher of Department «Reliability and repair of machinery», Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

УДК 622.454:622.016.62:622.411.332

Т.В. Бунько, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
И.Е. Кокоулин, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
С.А. Головко, магистр, мл. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ОБОБЩЁННЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЁТА УТЕЧЕК ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Аннотация. Описан обобщённый алгоритм расчёта утечек воздуха через выработанное пространство. На примере шахты им. А.Ф. Засядько и для самой распространённой схемы проветривания выемочного участка (2в; 10-ая зап. лава пл. l_1) рассмотрено распределение утечек через выработанное пространство в зависимости от изменения его длины (180, 370 и 450 м). Сделаны выводы относительно возможности использования предложенного подхода при переходе от плоского к объёмному потоку и оценки динамики газовой обстановки на вентиляционном штреке в нормальных и аварийных (при возникновении в данных участках экзогенного или эндогенного пожара) режимах проветривания выемочного участка.

Ключевые слова: проветривание, утечки, выработанное пространство, вентиляционный штрек

T.V. Bunko, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
I.Ye. Kokoulin, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,
S.A. Golovko, M. S. (Tech.), Junior Researcher
(IGTM NASU)

THE GENERALIZED ALGORITHM OF CALCULATION LOSSES OF AIR THROUGH THE WORKED OUT SPACE FOR DIFFERENT VENTILATION PLANS OF MINING AREAS

Abstract. The generalized algorithm of calculation losses of air through the worked out space is described. On the example of A.F. Zasjadko mine and for the most widespread ventilation plans of mining areas (2в; 10th west lava of the seam l_1) distributing of losses is considered through the worked out space depending on the change of its length (180, 370 and 450 m). Conclusions about possibility of the use offered approach in transition from flat one to the solid stream and estimations of dynamics of gas situation on a ventilation drift in normal and accident (in case of occurring in the examined areas exogenous or endogenous fire) are done.

Keywords: ventilation, losses, worked out space, ventilation drift

Ефективність проветривання виемочного участка в значительній степені залежить від кількості утечек воздуха в його пределах, представляючих собою непроизводительную часть проветривания. Большую часть составляют при этом утечки воздуха через выработанное пространство. Величина их зависит от соотно-