

**Шевчук В.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Кутковецька Т.О.**

Уманський національний університет садівництва

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ МОБІЛЬНИХ МАШИН

*Робота присвячена аналізу досліджень надійності та довговічності гідросистем сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин. Наведено фактори, що впливають на роботу гідросистем мобільних машин і призводять до їх поломки. Визначено, що працездатність гідросистем сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин значною мірою залежить від функціонування гідравлічних насосів. Однією із найважливіших узагальнюючих властивостей цих машин є їхня надійність та довговічність. Ефективна робота гідросистем істотно визначається широким набором різноманітних властивостей, явищ і процесів у трибологічних елементах. Стосовно мобільних машин, надійність може характеризуватися як властивість зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність машини виконувати необхідні функції при заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання й транспортування. Підвищення надійності гідроприводу відбувається шляхом поліпшення контролю чистоти вузлів, агрегатів і систем машин різного призначення, що використовуються під час експлуатації мобільних машин і мають високу ефективність. Зношування гідроагрегатів машин зумовлене наявністю в робочій рідині механічних домішок і спричинене в основному твердими абразивними частинками. Найменший наросток на відмову мають гідроагрегати, які містять плунжерні пари, – гідронасоси, гідромотори, розподільники. Завдяки проведеним дослідженням розроблені методи очищення, диспергування механічних домішок, використання яких забезпечує значне підвищення працездатності гідроприводу. Після проведеного аналізу встановлено, що для надійної роботи гідроприводу доцільним є очищення рідини, яка використовується в системі, що забезпечить довговічність гідросистем мобільних машин.*

**Ключові слова:** гідросистеми, мобільні машини, гідравлічні насоси, гідропривід, зношування деталей.

**Постановка проблеми.** Ефективність та якість виконання технологічного процесу мобільними машинами залежить від досконалості їх робочих органів і систем керування. Конструктивно закладений рівень надійності та довговічності систем реалізується у разі відповідності розрахункових параметрів експлуатаційним навантаженням. Елементи сільськогосподарських, будівельних та дорожніх машин сприймають експлуатаційні навантаження змінного характеру, величина та інтенсивність зміни яких залежать від великого числа як контрольованих, так і випадкових факторів.

Працездатність гідросистем сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин значною мірою залежить від функціонування гідравлічних насосів. Надійність, довговічність та ефективна робота цих агрегатів істотно визначається широким набором різноманітних властивостей, явищ і процесів у трибологічних елементах, детальне

вивчення яких стало можливим у наш час з інтенсивним розвитком комп'ютерних та електронних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розв'язанню проблеми підвищення надійності гідроприводу присвячені роботи таких науковців: Т.М. Башти [1, с. 103], І.А. Вакуленка [2, с. 11], І.В. Крагельського [6, с. 46], А.С. Матвєєва [7, с. 20], В.К. Руднева [9, с. 17], В.А. Дідура [4, с. 36] та ін. Проте є ще багато невирішених проблем щодо роботи гідравлічних насосів мобільних машин, які потребують подальших досліджень. Тому ця стаття є актуальною.

**Постановка завдання.** На основі наукових напрацювань необхідно провести аналіз досліджень щодо довговічності гідросистем мобільних машин та визначити вплив негативних факторів на роботу цих систем.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Кількісну характеристику однієї або кількох влас-

тивостей стосовно до певних умов створення та експлуатації машин прийнято називати показниками якості машини. Однією з найважливіших узагальнюючих властивостей машин є їхня надійність. Стосовно мобільних машин, надійність може характеризуватися як властивість зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність машини виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання й транспортування. Завдяки дослідженням різних науковців з'ясовано, що рівень надійності гідросистем визначається високою концентрацією механічних домішок у робочій рідині. Розроблені наукові й практичні рекомендації із забезпечення промислової чистоти гідроприводу, використання яких забезпечує істотний ефект. Дослідники, ґрунтуючись на положеннях теорії тертя і зношування, також застосовували спроби побудувати аналітичні методи визначення зношування гідроагрегатів. Однак зроблені при цьому припущення роблять ці методи малоефективними.

У наш час розвивається напрям підвищення надійності гідроприводу шляхом поліпшення контролю чистоти вузлів, агрегатів і систем машин різного призначення, що використовуються під час експлуатації мобільних машин і мають високу ефективність.

Дослідження фірми Cincinatti (США) показують, що достатньо збільшити довговічність гідроагрегатів на 5,5%, щоб відшкодувати витрати на обладнання гідросистеми фільтрами більш тонкого очищення, що дасть змогу продовжити ресурс деталей на 46%, при цьому витрати окупаються за короткий термін.

Японські фахівці вважають [10, с. 30], що інтенсивність зношування різко зростає у разі збільшення концентрації забруднень до 0,15...0,2 %.

Підвищення робочого тиску викликає негативний вплив забруднень на надійність гідроагрегатів. Зв'язок між підвищенням робочого тиску в системі та допустимим забрудненням робочої рідини може бути представлений у вигляді [8, с. 120]:

$$P_1/P_2 = e^{0,0037 \ln N_2/N_1}, \quad (1)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – робочий тиск у системі до і після забруднення;  $N_1$  і  $N_2$  – кількість частинок забруднень цього розміру в системі до і після забруднення.

Фахівці імперського коледжу і науково-дослідного інституту (ВМС) США вважають, що значне збільшення терміну служби гідроагрегатів досягається в класах чистоти не нижче ніж 14/11.

Термін служби подвоюється, якщо рівень забруднень знижується з 21/13 до 17/14 за класифікацією ISO 44061.

Вплив забруднення робочої рідини на надійність гідроприводу будівельних і дорожніх машин вивчався в ХАДІ [9, с. 17–18]. Огляд гідрофікованих екскаваторів, бульдозерів і автокранів, які перебували в умовах реальної експлуатації, показав, що чистота робочих рідин на екскаваторах і бульдозерах перебуває на рівні 16–17 класів, автокранів – на рівні 15–16 класів. Під час заправлення машин робочою рідиною із чистотою IS класу граничний наробіток до встановлених значень чистоти робочої рідини становив, відповідно, 240 і 480 годин. Виявлено, що для екскаваторів небезпечними є частки розміром 5...25 мкм, для бульдозерів і автокранів – 10...40 мкм.

Вивчення розподілу частинок за розмірами дало змогу встановити, що відсоток небезпечних частинок у загальній їх кількості сягає для екскаваторів 95 %, а для автокранів і бульдозерів – 30...33 %.

У разі підвищення температури робочої рідини понад 80 °С і забруднення її на рівні 75-го класу має місце заклинювання плунжера гідророзподільника, що приводить до нестійкого режиму роботи гідросистеми, і насос працює з підвищеною шумовою характеристикою. Стендові випробування гідронасосів 210.25 і 223.25 показали, що очищення робочої рідини від механічних домішок дає змогу підвищити наробіток насосів для екскаваторів у середньому в 2,8 раза, а для автокранів – в 1,7 раза. Очищення одночасно від механічних домішок і води збільшує термін служби насосів екскаваторів в 3,9 раза, автокранів – в 1,9 раза [7, с. 26].

У роботах певних учених [2, с. 18; 4, с. 11] показано, що інтенсивне зношування створюють частинки, розмір яких спільномірний із зазором у парах тертя. Якщо розмір частинок менше зазору, то частка забруднень у потоці рідини вільно проходить через нього, не викликаючи ушкоджень. Частинки забруднень, розмір яких значно більший величини зазору, в нього не проникають, а можуть викликати часткову закупорку зазору ззовні. Великі частинки можуть дробитися на дрібні. Частинки забруднень, розмір яких близький до розміру зазору, є найнебезпечнішими, особливо в разі їх твердості, яка перевершує твердість матеріалу деталей. Проникнення в зазор більших частинок можливе лише після його збільшення в результаті абразивного впливу дрібних частинок або внаслідок перекошу деталей під навантаженням. Потрапивши в зазор, частинка забруднення

переміщається щодо робочих поверхонь із ковзанням, результатом чого є подряпини на поверхнях контактуючих деталей. Вплив частинок на поверхні є, як правило, багаторазовим.

Існують три способи очищення робочої рідини – це фізичний, фізико-хімічний та хімічний. Фізичні методи дають змогу видаляти з масел тверді частинки забруднень, мікрокраплини води і частково смолисті й коксувальні речовини, а за допомогою випарювання домішки легко википають. Масла обробляються в силовому полі з використанням гравітаційних, відцентрових і рідше електричних, магнітних і вібраційних сил, а також застосовуються фільтрування, водне промивання, випарювання та вакуумна дистиляція. До фізичних методів очищення відпрацьованих масел належать також різні масло- і теплообмінні процеси, які застосовуються для видалення з масла продуктів окиснення вуглеводнів, води і фракцій, які легко википають [2, с. 19; 4, с. 16].

Фізико-хімічні методи знайшли широке застосування у процесі очищення масел, до них належать коагуляція, адсорбція та селективне розчинення забруднень, які втримуються в маслі, різновидом адсорбційного очищення є іонно-обмінне очищення [3, с. 16].

Хімічні методи очищення засновані на взаємодії речовин, які забруднюють відпрацьовані масла, та реагентів, які вводяться в ці масла. При цьому в результаті хімічних реакцій утворюються з'єднання, які легко видаляються з масла. До хімічних методів очищення належать: кислотне і лужне очищення; окиснення киснем; гідрогенізація, а також осушка і очищення від забруднень за допомогою окислів, карбідів й гідридів металів [3, с. 17].

Складні умови роботи сільськогосподарської, будівельної та дорожньої техніки (висока запиленість, коливання температури, вологість) приводять до підвищеного зношування гідроагрегатів і, як наслідок, до високого відсотка відмов у роботі. Зношування гідроагрегатів машин зумовлене наявністю в робочій рідині механічних домішок і спричинене в основному твердими абразивними частинками. Найменший наробіток на відмову мають гідроагрегати, які містять плунжерні пари, – гідронасоси, гідромотори, розподільники. Завдяки проведеним дослідженням розроблені методи очищення, диспергування механічних домішок, використання яких забезпечує значне підвищення працездатності гідроприводу.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що на довговічність гідроприводу сільсько-

господарських, будівельних і дорожніх машин істотний вплив також мають конструктивні параметри, що закладаються на етапі проектування, та властивості робочої рідини, які підтримуються на етапі експлуатації.

З огляду на характеристику мобільних машин як складних динамічних систем, їх придатність і безпека для практичного використання, насамперед, залежать від того, чи задовольняють вони умовам стійкості і яка чутливість як системи загалом, так і її окремих елементів.

Щодо гідроприводів мобільних машин чутливість показників безпеки системи до зміни експлуатаційних факторів представляється виявленням характеру інтенсивності зношування елементів тертя, зокрема плунжерних пар аксіально-поршневих насосів залежно від стану робочої рідини. Встановлення параметрів, їхня якісна та кількісна характеристики не отримали точного трактування в наявних наукових розробках.

У вузлах тертя поширений режим змішаного (граничного) мащення: одні ділянки поверхні контактуючих тіл розділені гідродинамічним шаром, а інші – граничним. Для цього виду мащення велике значення має об'ємна характеристика мастильного матеріалу, а саме його в'язкість та здатність створювати на поверхнях тертя міцні граничні шари. Чим вищою є частка гідродинамічного режиму мащення, тим нижчий коефіцієнт тертя при змішаному мащенні [5, с. 147].

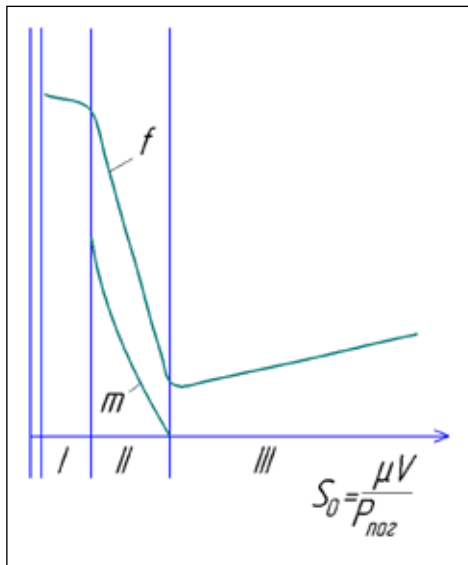
Область застосування гідродинамічного, змішаного і граничного мащення у вузлах тертя ковзання визначають за діаграмою Герси – Штрибека (рис. 1), який являє собою залежність коефіцієнта тертя у вузлі тертя, що змащується від безрозмірного критерію, який називається числом Герси, або критерієм Зоммерфельда [5, с. 240]:

$$S_o = \mu \cdot V / P_{\text{пог}} \quad (2)$$

де  $\infty$  – динамічна в'язкість;  $V$  – швидкість порівняного переміщення пар тертя;  $P_{\text{пог}}$  – погонне навантаження на вузол тертя (навантаження, належне до довжини спряження в напрямі, перпендикулярному напрямку порівняного переміщення).

У лівій частині діаграми локалізована зона реалізації граничного режиму мащення як найбільш твердого. Він реалізується за умови високих питомих навантажень у парах тертя, низьких швидкостей порівняного переміщення трибологічних пар, підвищених температур (які спричиняють зниження динамічної в'язкості) і характеризується не тільки підвищеним коефіцієнтом тертя, але й постійним зношуванням деталей пари тертя.

Серед трибологічних пар аксіально-поршневого насоса найбільшому зношуванню піддається пара тертя «плунжер-втулка», яка працює при змішаному режимі мащення.

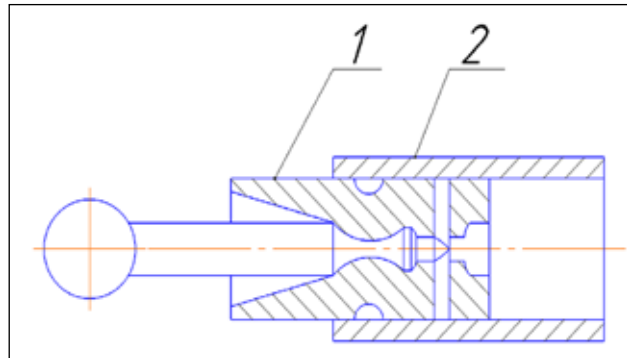


**Рис. 1. Діаграма Герси – Штрибека: залежність коефіцієнта тертя  $f$  і зношування  $m$  від безрозмірного параметра (числа Герси): I-III – зони мащення: I – гранична; II – змішана; III – гідродинамічна**

Загальний вигляд однієї з конструктивних різновидностей пари тертя «плунжер-втулка блоку» качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини представлено на рис. 2.

Ця конструкція плунжерної пари знайшла широке застосування в аксіально-поршневих гідромашинах із похилим корпусом для забезпечення збільшення робочого ходу плунжера, а звідси і робочого об'єму гідромашини.

Точка переходу між змішаним і гідродинамічним мащенням характеризується найменшим



**Рис. 2. Пара тертя «плунжер втулка блоку» аксіально-поршневого насоса: 1 – плунжер, 2 – втулка**

значенням коефіцієнта тертя та зменшенням зношування до нуля. Оскільки в парі тертя «плунжер-втулка» аксіально-поршневого насоса неможливо досягти винятково гідродинамічного режиму мащення, то з метою забезпечення найменшого зношування в трибологічній парі актуальним завданням є зменшення в ній коефіцієнта тертя.

**Висновки.** Таким чином, проведений аналіз літературних джерел і досліджень різних науковців показує, що на довговічність гідроприводу сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин істотний вплив мають як конструктивні параметри, що закладаються на етапі проектування, так і властивості робочої рідини, які підтримуються на етапі експлуатації. Тому, враховуючи вище наведені фактори впливу на роботу гідроприводів мобільних машин, можна зробити такі висновки: щоб уникнути несправностей у цій системі, необхідно забезпечити високу очистку робочої рідини, яка використовується в гідроприводі, що, своєю чергою, забезпечить надійну та ефективну роботу сільськогосподарських, будівельних та дорожніх машин.

#### Список літератури:

1. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидравлические машины и гидроприводы. Москва : Машиностроение, 1962. 423 с.
2. Вакуленко И.А. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин применением рациональной очистки рабочих жидкостей : автореф. дис. ... канд. Харьков, 1989. С. 19.
3. Волков В.И. Совершенствование системы очистки масла в автомобильном двигателе : автореф. дис. ... канд. Москва, 2000. 18 с.
4. Дидур В.А. Влияние технологической среды на износ гидроагрегатов. *Техника в сельском хозяйстве*. 1984. № 3. С. 41.
5. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев : Техника, 1970. 396 с.
6. Крагельский И.В., Алисин В.В. Трение, изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн. Москва : Машиностроение, 1978. Кн. 1. 400 с.
7. Матвеев А.С. Влияние загрязнённости масел на работу гидроагрегатов. Москва : Россельхозиздат, 1976. 48 с.

8. Прокофьев В.Н. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод. Москва : Машиностроение, 1968. 495 с.

9. Руднев В.К. Ресурсосберегающие технологии при эксплуатации гидроприводов строительных и дорожных машин. *Механизация и строительство*. 1996. № 4. С. 17–18.

10. Сато Я., Сасаки М. Влияние загрязнений рабочих жидкостей на характеристики гидравлических механизмов. *Юнкид Гидзону*. 1976. № 1. С. 27–34.

#### **Shevchuk V.V., Kutkovetska T.O. ANALYSIS OF THE MOBILE MACHINES HYDRAULIC SYSTEMS DURABILITY**

*The study is devoted to the analysis of reliability and durability of hydraulic systems of the agricultural, construction and road machines. The factors influencing the work of hydraulic systems of mobile machines and their breakdown are given. It is determined that the working capacity of the hydraulic systems of agricultural, construction and road machines depends to a large extent on the hydraulic pumps operation. One of the most important generalizing properties of such machines is their reliability and durability. The effective work of hydraulic systems is largely determined by a wide variety of different properties, phenomena and processes in tribological elements. The mobile machines reliability may be characterized as the ability to keep the values of all parameters that characterize the machine's ability to perform the required functions under given modes and conditions of application, maintenance, storage and transportation within the established limits and specified period of time. The increase in the hydraulic drive reliability is due to the improved control of the cleanliness of nodes, aggregates and systems of various machines, used by the mobile machinery operation and have high efficiency. The wear of the hydraulic components of machines is conditioned by the mechanical impurities in the working fluid and is caused mainly by the solid abrasive particles. The smallest failure interval have the hydraulic units, which contain plunger pairs, namely the hydraulic pumps, hydraulic motors, distributors. On the basis of the conducted research, such methods as the purification method, the method of mechanical impurity dispersion, the use of which provides a significant increase in the working capacity of the hydraulic drive, were developed. As a result of the analysis, it was found that for the reliable operation of the hydraulic drive the purification of liquid, used in the system is expedient, which will ensure the durability of hydraulic systems of mobile machines.*

**Key words:** hydraulic systems, mobile machines, hydraulic pumps, hydraulic drive, component wear.