



УДК 631.173.2

## CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF HYDRAULIC TRANSMISSION UNITS OF MOBILE MACHINES ON THE BASIS OF MONITORING THE LEVEL OF CLEANLINESS OF THE WORKING FLUID

КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АГРЕГАТІВ ГІДРАВЛІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ МОБІЛЬНИХ МАШИН НА ОСНОВІ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЧИСТОТИ РОБОЧОЇ РІДИНИ

Melyantsov P. T. / Мельянцеv П. Т.  
c. t. s., as. prof. / к. т. н., доц.

ORCID: 0000-0001-5937-4021

Dobryanskyi I. M. / Добрянський І. М.  
postgraduate / аспірант

Dnipro State Agrarian and Economic University, str. S. Yefremova, 25, 49600  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. С. Єфремова, 25, 49600

Losikov O. M. / Лосіков О. М.

senior lecturer / старший викладач  
ORCID 0009-0004-5523-7651

Sidorenko V. K. / Сидоренко В. К.  
senior lecturer / старший викладач  
ORCID 0009-0005-7610-4433

Ukrainian State University of Science and Technology, str. Lazaryana, 2, 49010  
Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010

**Анотація.** Організаційні та технологічні складові планово-запобіжної системи підтримання та відновлення працездатного стану гідравлічних трансмісій мобільних машин не відповідають сучасним вимогам з забезпечення їх експлуатаційної надійності. Мета роботи полягала в підвищенні надійності агрегатів гідравлічних трансмісій на основі контролю зміни структурних параметрів технічного стану деталей, застосуванням моніторингу рівня чистоти робочої рідини. Поставлена мета досягається розробленням пристрою з визначення кількості механічних домішок в промислових рідинах і їх розмірів, та використанням його в дослідженнях впливу гідроабразивного зношення на структурні параметри технічного стану деталей. Отримані результати зношення деталей дали можливість обґрунтовано визначити їх структурні параметри технічного стану для контролю при прямому діагностуванні. Виявлені функціональні залежності між напрацюванням гідравлічних трансмісій і динамікою зміни зазору в спряженнях вказують на ефективність застосування моніторингу контролю технічного стану робочої рідини для підвищення експлуатаційної надійності аксіально-поршневих агрегатів в складі гідравлічних трансмісій мобільних машин.

**Ключові слова:** мобільна машина, об'ємна гідравлічна трансмісія, аксіально-поршневі гідроагрегати, чистота робочої рідини, гідроабразивне зношення, структурні параметри деталей, динаміка зазору, надійність.

### Вступ.

Підвищення ефективності роботи будівельно-дорожніх та сільськогосподарських мобільних машин в значній мірі забезпечується безперервним конструктивним удосконаленням агрегатів їх гідравлічних систем та зростанням переліку механізованих робіт, за рахунок розширення гідрофікації робочого обладнання.



Одним із заходів зростання технічного рівня мобільних машин є застосування об'ємного гідроприводу трансмісії (ОГТ). Найбільшого використання в ОГТ знайшли аксіально-поршневі гідромашини, які виготовляються акціонерним товариством «Гідросила» м. Кропивницький та закордонними фірмами «Sundstrand», «Eaton» (США), «Danfos» (Данія) та ін.

Застосування гідравлічних трансмісій в мобільних машинах значно підвищує їх продуктивність роботи, за рахунок безступеневого регулювання швидкості машини, оптимального розподілення потужності двигуна на роботу трансмісії та робочі органи, і одночасно покращує умови роботи оператора. Постійне удосконалення конструктивних та технологічних рішень, при виготовленні аксіально-поршневих гідромашин, дає можливість значно підвищити їх надійність. Про що відмічається в роботі [1], де автори вказують, що закладений ресурс гідроагрегату у складі сільськогосподарської машини може бути більшим десяти років її роботи.

Водночас, треба враховувати також те, що в умовах експлуатації надійність аксіально-поршневих агрегатів в складі гідравлічних трансмісій буде підтримуватись проведенням регламентних технічних обслуговувань, які передбачають контроль монтажних з'єднань трубопроводів, заміну фільтруючих елементів та робочої рідини. Особливо це являється актуальним для гідравлічних систем, які відпрацювали гарантійний ресурс, закладений заводом-виробником, а також до пост-гарантійних імпорتنих сільськогосподарських машин, якими перенасичено машинно-тракторний парк агропромислового комплексу (АПК) [2, 3, 4].

Забезпечення експлуатаційної надійності ОГТ, які знаходяться в пост гарантійному стані, потребує наявності відповідної матеріально-технічної бази сервісних підприємств і кваліфікованих фахівців, які здатні для якісного і своєчасного проведення ремонтно-обслуговуючих робіт.

На сьогоднішній день існуюча стратегія планово-запобіжної системи підтримання та відновлення працездатного стану машинно-тракторного парку не може бути реалізована в реальних умовах експлуатації, через конструктивні особливості імпорتنих мобільних машин, інформації по яким не достатньо, щодо нормованих значень структурних параметрів технічного стану деталей. Слабкої матеріально-технічної бази для контролю технічного стану гідроагрегатів [3], яка сформувалась в ринкових умовах та складності в кадровому забезпеченню АПК [5, 6].

Вище наведений стан організаційних та технологічних факторів, які являються невід'ємними складовими для забезпечення експлуатаційної надійності ОГТ, збільшує ймовірність появи ресурсних відмов, які в ряді випадків можуть переходити в аварійні відмови, що приводить до значних матеріальних втрат від простою мобільної машини, та витрат на відновлення їх працездатного стану.

Зменшення даних втрат можливе за рахунок виявлення в умовах рядової експлуатації вагомого фактора, що обумовлює зміну технічного стану аксіально-поршневих агрегатів гідравлічних трансмісій, приводить до зниження їх ресурсу і впливає на їхнє нормальне функціонування. Який включав би в себе параметри,



що можна кількісно оцінювати з застосуванням доступних засобів їх контролю.

Відомо, що надійність і довговічність ОГТ знаходиться в прямій залежності від чистоти внутрішніх порожнин цих систем і робочих рідин, що використовуються в них. Частинки забруднення робочої рідини являються основними джерелами відмов гідравлічних систем. Наявність забруднень викликає зношення робочих поверхонь деталей в спряженнях, впливає на технічний стан мастила, що змінює умови роботи пар тертя, блокує дросельні отвори малого перерізу, приводить до заклинювання плунжерних пар, підвищує сили тертя у вузлах, що призводить до втрати працездатності та погіршення вихідних параметрів гідроагрегатів.

Дана робоча гіпотеза підтверджується в роботі [7], де авторами відмічається, що від 60 до 90 % відказів гідроприводів тракторів пов'язано з підвищеним забрудненням гідравлічних систем. При цьому, джерелом забруднення являється в основному порушення умов експлуатації (не своєчасна заміна фільтруючих елементів, порушення герметичності в з'єднаннях, не дотримання технічних вимог при проведенні заміни робочої рідини, відсутність операцій з промивання гідравлічних систем та ін.), а також наявність залишкових забруднень, які формуються в процесі ремонту гідравлічних агрегатів і розміщуються в внутрішніх порожнинах агрегатів після проведення обкатки та випробування.

Для надійної роботи гідросистем та їх агрегатів необхідне забезпечення чистоти робочої рідини на всіх етапах життєвого циклу гідромашини: виготовлення, складання, заправлення рідиною, випробування та експлуатація. Звідси, виявлення ступеня забруднення гідравлічної рідини є одним з основних завдань, яке необхідно вирішити для контролю технічного стану агрегатів гідравлічної системи.

Інформація щодо основних параметрів (кількість, розміри, матеріали) абразивних частинок, що генеруються в робочу рідину в процесі експлуатації гідросистеми, відтворює зміну структурних параметрів технічного стану робочих поверхонь деталей від їх номінальних значень, а через них вказує на дійсні зазори в спряженнях, що обумовлюють втрату працездатності гідроагрегату.

Отримання такої інформації являється складним, так як не всі гідравлічні системи мобільних машин оснащені бортовими приладами для постійного контролю технічного стану робочої рідини, а існуючі переносні засоби контролю стану робочої оливи мають високу вартість, що обмежує їх використання в умовах експлуатації.

**Мета статті.** Підвищення надійності агрегатів гідравлічних трансмісій мобільних машин на основі контролю зміни структурних параметрів технічного стану деталей, які впливають на їх працездатність, застосуванням моніторингу рівня чистоти робочої рідини.

#### **Постановка задачі.**

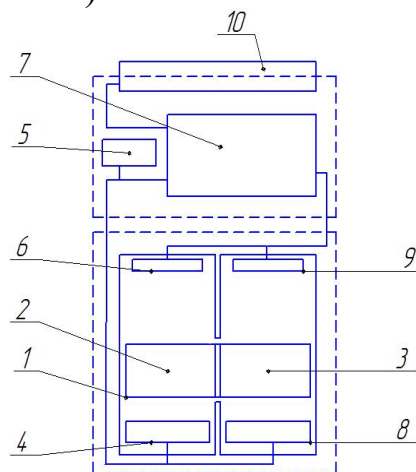
Для отримання інформації про структурні параметри технічного стану деталей, що суттєво впливають на втрату працездатності ОГТ, в першу чергу необхідно розробити засоби контролю технічного стану рідини гідравлічної



системи, які характеризуються простотою конструкції та не значними матеріальними затратами. На основі реалізації розробленої конструкції приладу провести дослідження впливу гідроабразивного зношення на структурні параметри технічного стану деталей, та з врахування зміни умов роботи деталей в спряженнях, обґрунтувати їх структурні параметри для отримання достовірної оцінки щодо технічного стану гідравлічної машини.

**Викладення основного матеріалу.** Контроль якості робочої рідини гідравлічних систем мобільних машин проводять з використанням різних приладів, а також в лабораторних умовах з застосуванням відповідних методик та обладнання. На сьогоднішній день в Європі та Америці працює безліч компаній та корпорацій, які можуть рекомендувати свої засоби контролю якості робочої рідини. Але в своїй більшості вони мають наступні недоліки: необхідність підключення до джерела живлення; великі габаритні розміри; висока ціна на міжнародному ринку для України.

Для уникнення даних недоліків розробляється пристрій з визначення кількості механічних домішок в промислових рідинах (воді, рідких паливах, маслах, охолоджуючих рідинах і т.д.), а також для визначення розмірів частинок механічних домішок, кількісного та відносного вмісту води в оливі [8]. Прилад містить програмно-апаратний блок, блок спектрального аналізу, ПЗС-фотоприймач (camera RPі3) та фотодіод для фіксування довжини спектра. Схема приладу наведена на (рисунок 1).



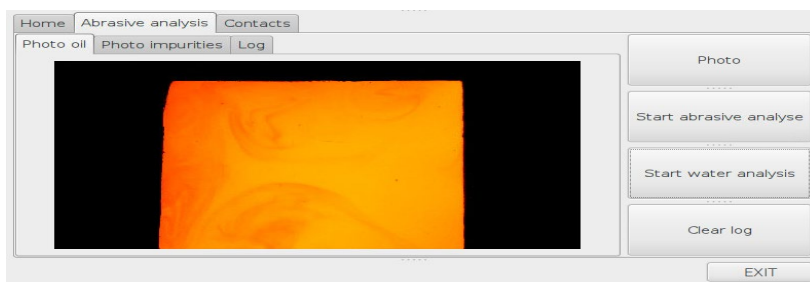
**Рисунок 1 - Графічна схема приладу: 1 – кюветка; 2, 3 – ємності кюветки; 4 – джерело світла; 5 – модуль живлення; 6 - ПЗС-фотоприймач; 7 - міні комп'ютер Raspberry Pi; 8 - ІЧ діод; 9 - інфрачервоний фотодіод; 10 – дисплей прилада**

*Авторська розробка*

Пристрій працює наступним чином. Оливу заливають в кюветку 1, яка складається з двох ємностей для оливи 2 і 3, та встановлюють в прилад, де відбувається фізичне визначення кількості абразивних частин. Джерело світла 4, яке отримує живлення від модуля живлення 5, опромінює оливу та фіксується за допомогою ПЗС-фотоприймача 6 (далі фотоприймач), який розташований над ємністю 2. В свою чергу фотоприймач 6 передає інформацію на міні комп'ютер Raspberry Pi 7, який аналізує дані за допомогою програмного забезпечення.



Після отримання цифрового файлу в вигляді фото кюветки з оливою (рисунок 2) електронно-програмний модуль аналізує отримане фото, переводячи його в бінарний код. Де аналізує всі знайдені частинки методом тіней.

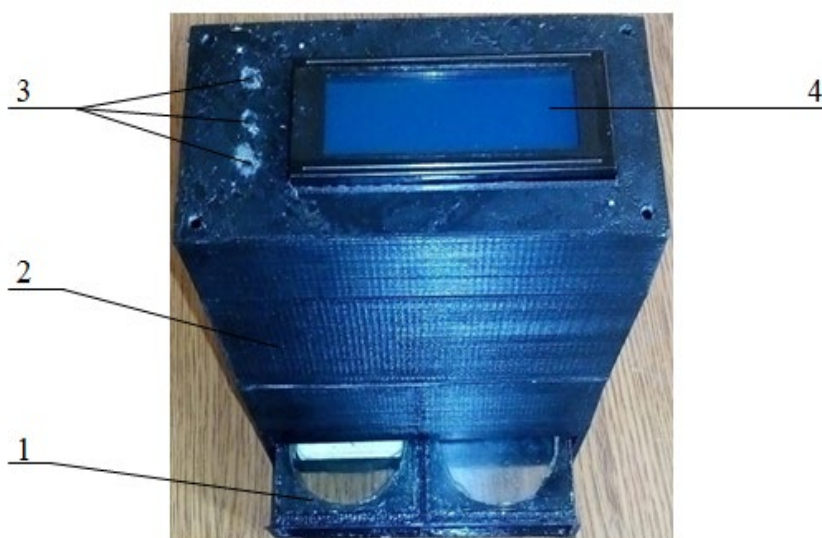


**Рисунок 2 – Зображення вікна фото оливи**

*Авторська розробка*

Аналізуючи розміри тіньових п'ятен, система починає розбивати їх на діапазони, відповідно до заданої бази даних. Програма підраховує кожен діапазон та конвертує значення по класам стандартів. Результат видається по найбільшому значенню класу стандарту. Після аналізу, прилад пропонує переглянути результати у вигляді конвертованого до стандартів (ДСТУ та ISO) та графічного аналізу по світлим п'ятнам, які є частинками абразиву.

Загальний вигляд приладу контролю робочої рідини на домішки абразиву та води наводиться на (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Загальний вигляд приладу контролю робочої рідини на домішки абразиву та води: 1 – ємність для оливи; 2 – корпус приладу; 3 – кнопки; 4 – дисплей LCD 2004**

*Авторська розробка*

Прилад переносний, що дозволяє проводити контроль робочої рідини в експлуатаційних та лабораторних умовах. Контроль робочої рідини проводиться на: домішки абразиву відповідно до ДСТУ 17216-2001 та європейського стандарту ISO 1638; домішки води в % до 1 мл. оливи. Керування приладом, виконаним на міні комп'ютері, здійснюється за допомогою трьох кнопок



програмно-апаратно.

На дисплеї, після ввімкнення, з'являється меню. За допомогою вибраної функції (аналіз оливи на домішки абразиву або домішки води) оператором, програмно-апаратна частина починає аналіз оливи відповідно до заданої функції.

У гідравлічних трансмісіях з аксіально – поршневими гідромашинами дорожньо-будівельної та сільськогосподарської техніки широке застосування знайшло мастило марки МГ-46-В, що працює при високих тисках до 60,0 МПа і інтервалі температур від мінус 10 °С до плюс 80 °С. Клас чистоти робочої рідини повинен бути не вище 10-го (маса забруднень не більше 0,001%).

Для визначення складу механічних домішок в робочій рідині ОГТ, було вибрано 25 мобільних машин, що мали наробіток в інтервалі 4...4000 мото-годин. Проба робочої рідини відбиралась пробозабірним пристроєм, який встановлювався після гідравлічного мотора в магістралі низького тиску.

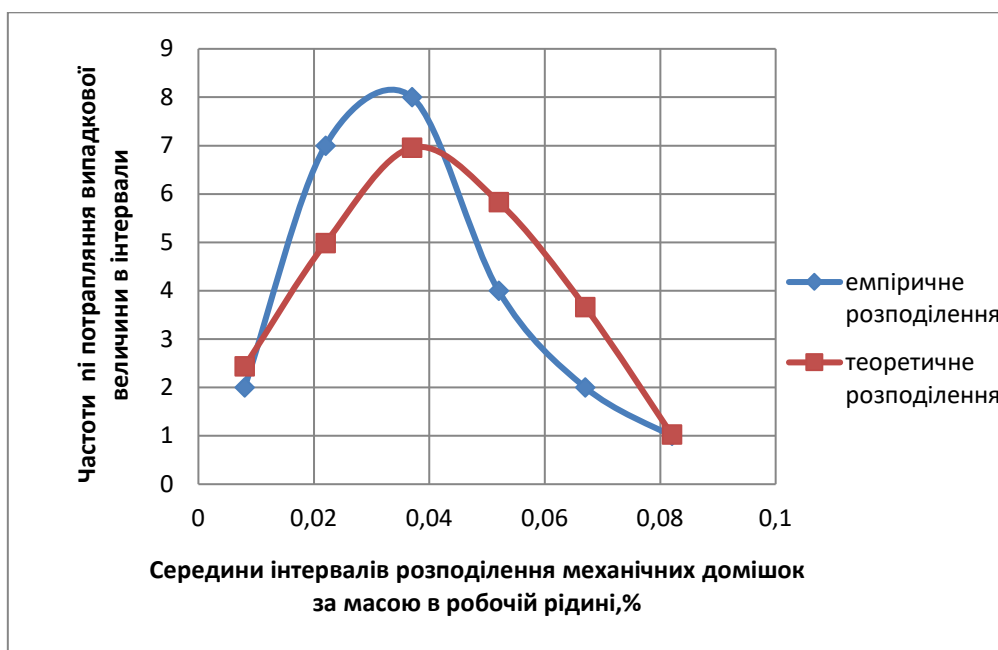
Отримані результати досліджень показали, що мінімальний склад механічних домішок в робочих рідинах склав 0,006 % і максимальний 0,102 % по масі, що не відповідає технічним вимогам на експлуатацію ОГТ.

Математична обробка отриманих результатів показала, що розподілення проб по складу механічних домішок в робочій рідині підпорядковується нормальному закону і може бути апроксимована функцією:

$$\phi(x) = \frac{1}{0,0218 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-0,0395)^2}{2 \cdot 0,0218^2}} \quad (1)$$

Авторська розробка

Розподілення проб робочої оливи за складом механічних домішок представлено на (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Полігон розподілення механічних домішок в робочій рідині по масі**

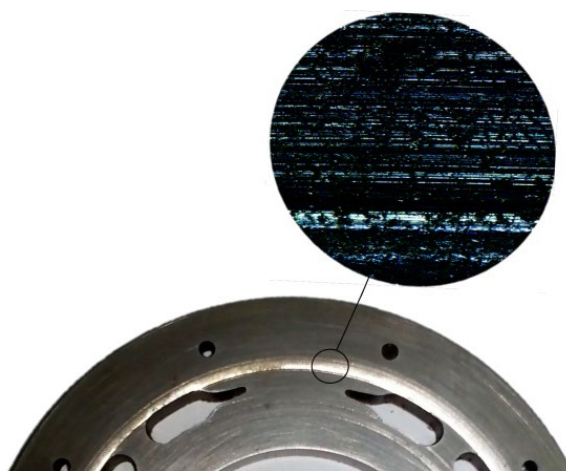
Авторська розробка



Детальний аналіз отриманих результатів показує, що близько 30 % гідравлічних агрегатів працює на робочому мастилі, забрудненість якого знаходиться в інтервалі 0,020-0,045 % по масі, що відповідає 15-16 класу чистоти рідини за вмістом числа частиць забруднень. В таких мастилах для об'єму  $100 \pm 0,5 \text{ см}^3$  рідини, число забруднень розміром від 100 до 200 мкм буде знаходитись в інтервалі 800..1600 одиниць, а кількість волокон відповідно від 160 до 315 одиниць. Експлуатація гідравлічних машин на робочих рідинах такого класу їх чистоти буде суттєво впливати на динаміку зношення деталей в прецизійних спряженнях і обумовлювати зростання об'ємних втрат робочої рідини та приводити до ресурсної відмови гідравлічної системи або заклинювання деталей та провокування аварійної відмови гідромашин. Отримані результати підтверджують висунуту робочу гіпотезу про можливість використання контролю класу чистоти робочої рідини для дійсної оцінки структурних параметрів технічного стану деталей.

Для вирішення задачі, з виявлення впливу чистоти робочої рідини на зміну технічного стану робочих поверхонь деталей, розроблюються методики контролю деталей спряжень, які першочергово обумовлюють втрату працездатності аксіально-поршневих агрегатів ОГТ. До них слід віднести пари тертя качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин, які працюють під високим тиском робочої рідини і сприймають знакозмінні навантаження: «розподільник – приставне дно», «втулка блоку -плунжер», «п'ята плунжера – опора люльки гідронасоса», «п'ята плунжера-похила шайба гідромотора». Такий вибір спряжень підтверджується і в роботі [9], де автори вказують, що вони являються ресурсолімітуючими для аксіально-поршневих гідроагрегатів.

Оцінка стану розподільника (матеріал – сталь ШХ 15), показує, що його зношення виникає в місцях контакту з приставним дном (рис 5).



**Рисунок 5 – Зовнішній вид зношення розподільника (збільшення 40х)**

*Авторська розробка*

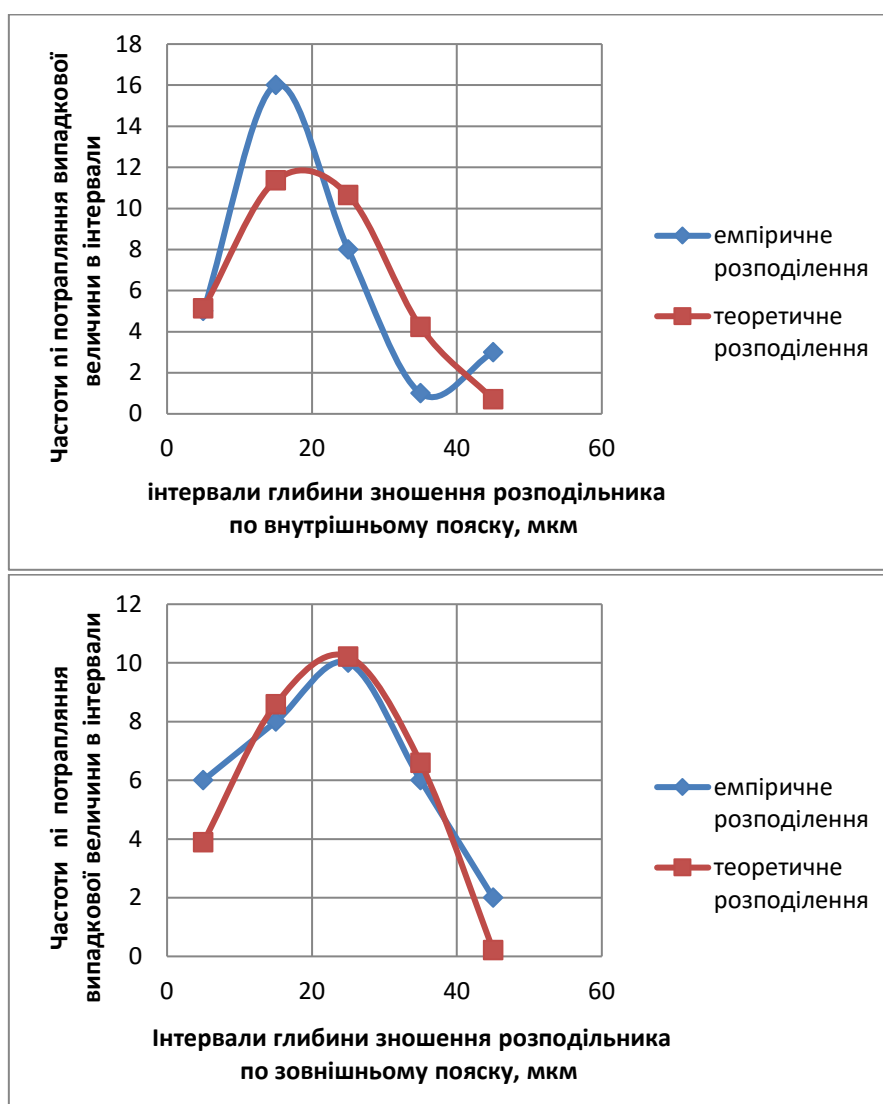
Максимальне зношення поверхні виникає вздовж твірних розподільчатих вікон біля перемичок, які розподіляють вікна. Такий характер зношень пояснюється тим, що перенесення замкнутого об'єму робочої рідини між зонами високого і низького тиску супроводжується, при роботі гідромашин, хвильовими



ударними процесами, які визивають руйнування країв розподільчатих вікон. Крім того, високошвидкісні перетікання робочої рідини, яка включає в себе абразивні частинці, через міжвіконні перемички обумовлює виникнення каналів, які з'єднують області високого і низького тисків.

Зовнішній огляд робочих поверхонь підтверджує висновок, що переважним видом зношення розподільника являється гідроабразивний, про свідчить наявність рисок (рисунок 5).

Максимальне зношення розподільника проходить по зовнішньому поясу вікна в зв'язку з більшими швидкостями рідини по діаметру цього пояса. Абразивні частинці, що потрапляють до цього швидкісного потоку робочої рідини, в умовах гідроабразивного зношення будуть обумовлювати більш глибокі канали ніж по внутрішньому поясу (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Полігон розподілення зношення розподільника по внутрішньому і зовнішньому поясах**

*Авторська розробка*

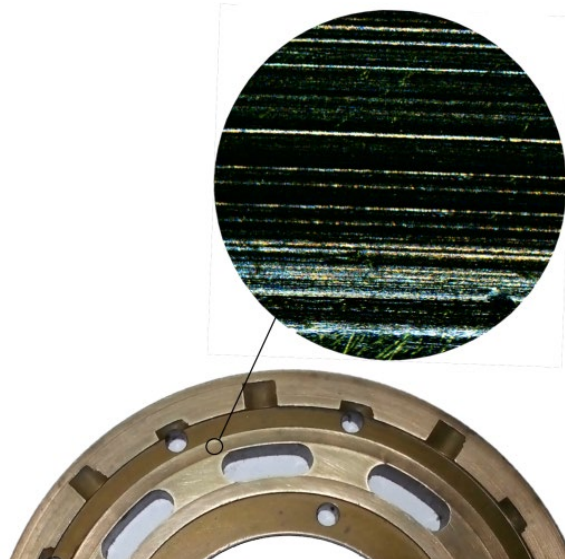
Середнє значення глибини зношення розподільника по зовнішньому поясу складає  $\bar{X} = 27,83$  мкм при середньоквадратичному відхиленні  $S = 12,73$  мкм,





по внутрішньому пояску середнє значення зношення становить  $\bar{X} = 19,24$  мкм при середньоквадратичному відхиленні  $S = 10,74$  мкм. Максимальне зношення по зовнішньому пояску становить 52,0 мкм по внутрішньому 46,0 мкм.

Приставне дно (матеріал ЛМЦ КНС 58-3-15-15-1), зношується в місцях контакту з розподільником. Однакові умови роботи приставного дна і розподільника обумовлюють ідентичний характер зношення деталей (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Зовнішній вид зношення розподільника (збільшення 40x)**

*Авторська розробка*

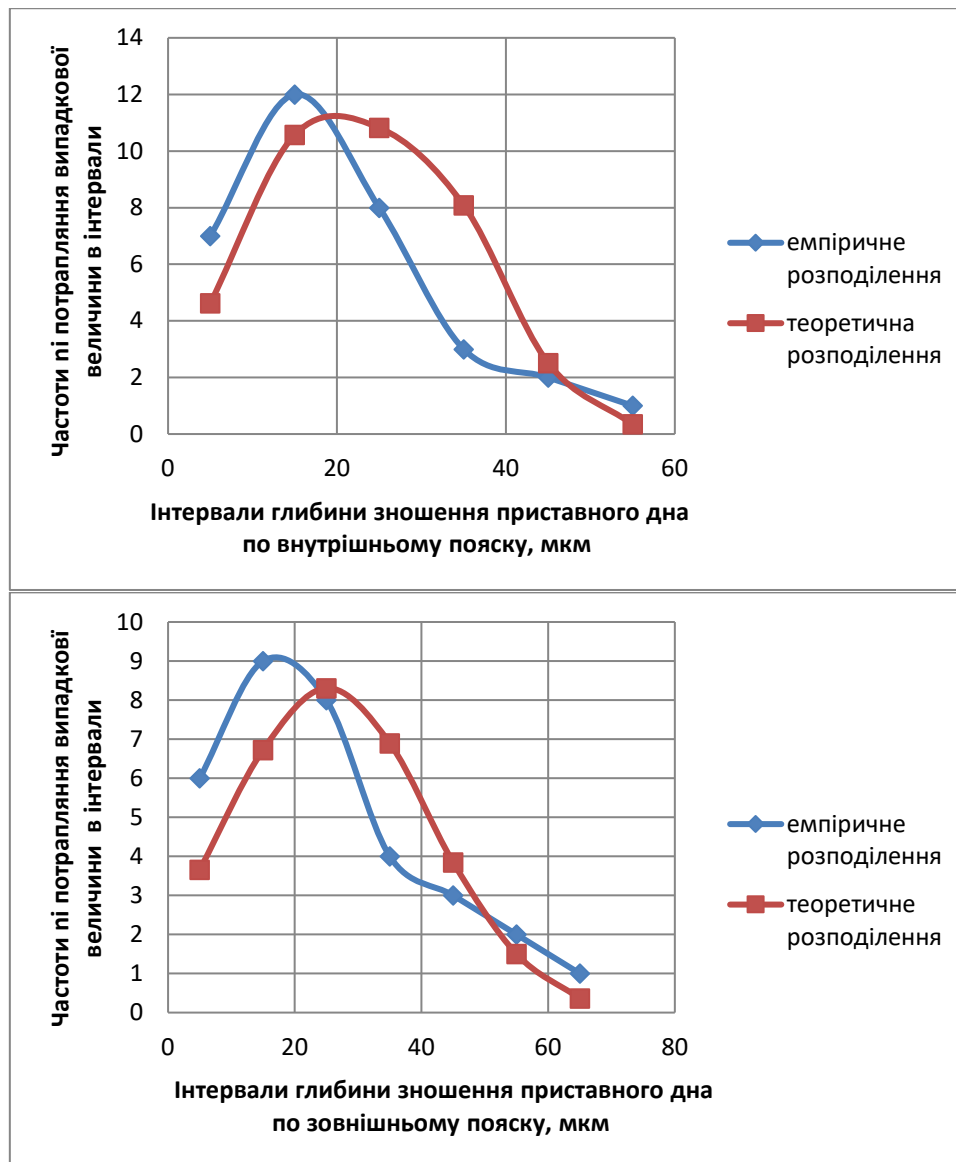
Зовнішній вид зношення робочої поверхні підтверджує наявність гідроабразивного зношення та гідроерозійного.

У приставного дна також спостерігається більше зношення ущільнюючого пояску по зовнішньому діаметру (рисунок 8).

Середнє значення глибини зношення приставного дна по зовнішньому пояску складає  $\bar{X} = 25,30$  мкм при середньоквадратичному відхиленні  $S = 15,84$  мкм, по внутрішньому пояску середнє значення зношення становить  $\bar{X} = 20,30$  мкм при середньоквадратичному відхиленні  $S = 11,14$  мкм. Максимальне зношення по внутрішньому пояску становить 52,0 мкм по зовнішньому 67,0 мкм.

Виконання мікрометражних робіт, з метою визначення кількісної оцінки зношення деталей спряження розподілення потоку робочої рідини в качаючому вузлі гідроагрегату, показало, що в результаті їх зношення формується щільовий канал, який представляє собою форму дифузора з кутом раструба 0,5.

Враховуючи звуження щілини, яка обумовлює витoki робочої рідини, в якості структурного параметра, для контролю технічного стану деталей спряження «розподільник-приставне дно» необхідно застосовувати величину зазору на вході  $B_1$  і виході  $B_2$  із торцевої щілини по зовнішньому пояску та відповідно на вході  $B'_1$  і виході  $B'_2$  щілини по внутрішньому пояску.



**Рисунок 8 – Полігон розподілення зношення приставного дна по внутрішньому і зовнішньому поясах**

*Авторська розробка*

Для визначення впливу технічного стану деталей спряження «розподільник – приставне дно» на працездатність гідромашини необхідна інформація щодо динаміки зазору в даній парі тертя, та функціональної залежності між зазором і об'ємними втратами робочої рідини, що доповнюють сумарні об'ємні втрати в гідромашинах, які суттєво впливають на вихідні параметри гідравлічної трансмісії.

Результати дослідження динаміки зношення деталей спряження «розподільник-приставне дно» представлені на (рисунок 9) в вигляді двох статистичних рядів значення зазору і наробітку.

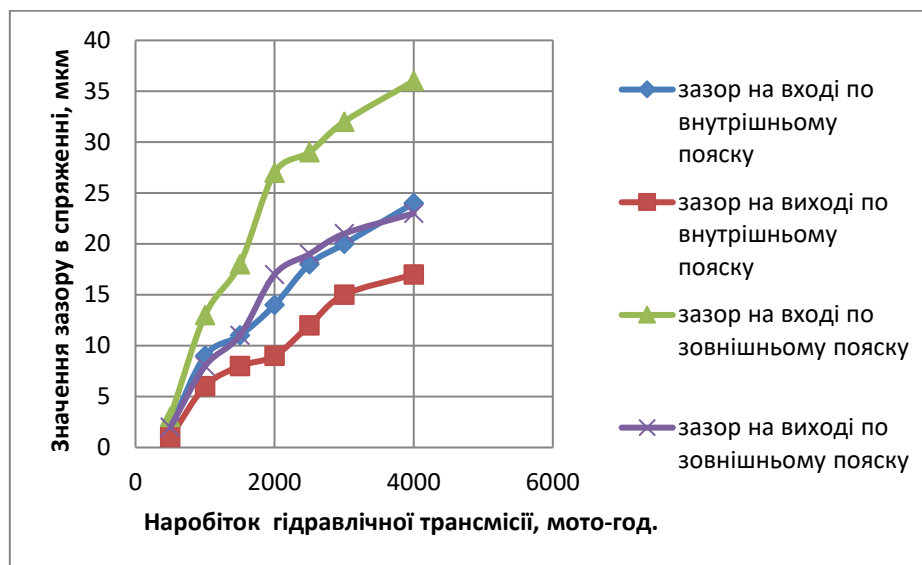
Результати експериментальних даних були апроксимовані функцією виду  $Y = A + B \ln x$ . В результаті отримані залежності зазорів  $B_1, B_2$  і  $B'_1, B'_2$  відповідно по зовнішньому і внутрішньому поясах спряження «розподільник-приставне дно»:



$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 = 16,472 + 11,257x; \\ Y_2 = 10,031 + 6,985x; \\ Y_3 = -31,944 + 20,472x; \\ Y_4 = -19,440 + 12,270x. \end{array} \right. \quad (2)$$

Авторська розробка

щілини по зовнішньому пояску та на вході  $B'_1$  і виході  $B'_2$  щілини по внутрішньому пояску).



**Рисунок 9 – Динаміка зазору в спряженні «розподільник-приставне дно»**

Авторська розробка

Інтенсивне зростання зазору в розподільчатій парі спостерігається за перші 1000 мото-годин роботи гідромашин, що пояснюється вмістом механічних домішок, які знаходяться (або з'являються) в робочій рідині з початку експлуатації аксіально-поршневих агрегатів. Їх наявність приводить до гідроабразивного зношення робочих поверхонь розподільника і приставного. Менш інтенсивне зношення деталей спостерігається після напрацювання 1000 мото-годин, що обумовлюється зростанням кількості абразивних частин, які мають геометричні розміри менші ніж гідроабразивні канали на поясках деталей. Їх переміщення разом з робочою рідиною по каналам, із зони високого тиску до зони низького, проходить за мінімальним контактом з поверхнями тертя деталей або з його повною відсутністю в залежності від розміру абразиву.

Визначення характеру і величини зношення деталей спряження «втулка блоку-плунжер» являється важливим, так як вважається, що плунжера пара суттєво впливає на об'ємні втрати робочої рідини в результаті зростання в ній зазору, обумовленого зношенням деталей.

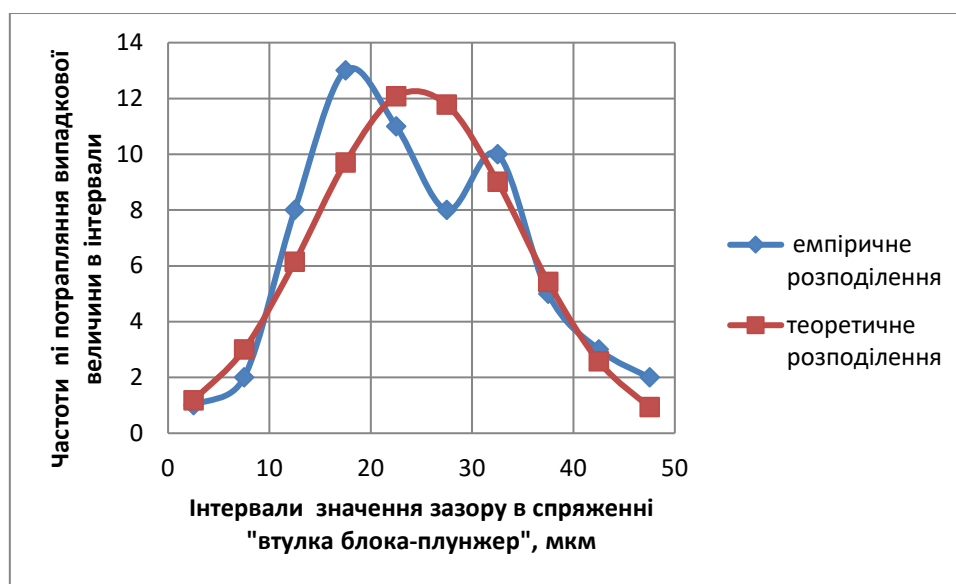
Плунжер (матеріал сталь ШХ15 СГ) зношується не рівномірно із-за наявності перекидного моменту, який виникає в результаті руху п'яти плунжера по похилій шайбі гідромотора або опори люльки гідронасоса. Розміщення плунжера в втулці з перекосом вказує, що для отримання достовірної оцінки з



контролю об'ємних втрат через плунжерну пару, в якості структурного параметра для даного спряження необхідно застосовувати середнє значення зазору.

Втулка блоку (матеріал ЛМЦСКА 58-2-2-1-1) зношується в місцях контакту з плунжером.

Зношення деталей спряження «втулка блоку-плунжер» приводить до збільшення зазору в парі тертя. Якщо за технічними умовами на виготовлення деталей даного спряження зазор повинен бути в границях 11...23 мкм, то в умовах експлуатації середнє значення зазору складає  $\bar{X} = 24,48$  мкм при середньоквадратичному відхиленні  $S = 10,14$  мкм (рисунок 10), а максимальний зазор досягає  $\delta = 48,0$  мкм.



**Рисунок 10 – Полігон розподілення зазору в спряженні «втулка блоку-плунжер»**

*Авторська розробка*

Аналіз результатів, представлених на (рисунок 10) показує, що близько 25% гідромашин, мають середній зазор в спряженні «втулка блоку - плунжер» в інтервалі  $\delta = 30...48,0$  мкм, що в 1,3...2,1 рази перевищує максимальний допустимий зазор при виготовленні деталей плунжерної пари.

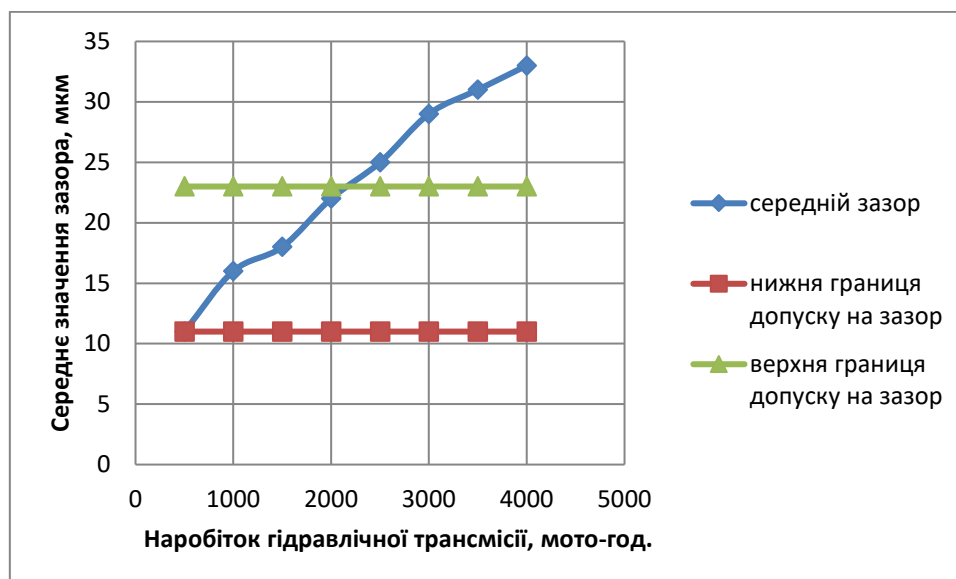
Для прогнозування технічного стану деталей плунжерної пари качаючого вузла гідромашини проводяться дослідження динаміки зношення деталей спряження, результати яких наводяться на (рисунок 11).

Аналіз результатів показує, що при напрацюванні гідравлічного приводу 2000 мото-годин зазор в спряженні «втулка блоку-плунжер» досягає значень, які розміщуються в інтервалі 20...23 мкм, що практично відповідає допустимим значенням зазору, прийнятого на заводах-виробниках і оговорених в технічних умовах на виготовлення деталей плунжерної пари.

Отримання більш достовірної оцінки зміни динаміки зазору від напрацювання можливе за умови наявності першочергової інформації щодо номінального зазору для нової гідромашини, так як він може знаходитись в районі верхньої границі допуску із-за технологічних похибок в процесі



виготовлення деталей. За таких умов, зазор в плунжерній парі в процесі експлуатації швидко вийде за границі допуску і буде обумовлювати зростання об'ємних втрат робочої рідини. В даному випадку визначення зазору в плунжерній парі можливе за рахунок наявної функціональної залежності між структурними параметрами деталей, що формують зазор, і об'ємними втратами робочої рідини.



**Рисунок 11 – Динаміка середнього значення зазору в спряженні «втулка блоку-плунжер»**

*Авторська розробка*

Дослідження впливу чистоти робочої рідини на технічний стан деталей спряження «п'ята плунжера – опора люльки гідронасоса» ускладнюються конструктивними особливостями п'яти плунжера, кільцева опора якої виконує роль гідростатичного підшипника. Аналіз технічного стану кільцевої опори п'яти плунжера показав, що переважним видом зношення являється гідроабразивне зношення, яке чітко проглядається в вигляді рисок різної глибини і профілю, що пояснюється забрудненістю робочої рідини. Результати контрольних операцій показали, що рівномірне зношення висоти кільцевої опори по всій площині практично відсутнє.

Риски формують додаткові канали на поверхні кільцевої опори, які обумовлюють зростання об'ємних втрат робочої рідини та порушення аксіальної жорсткості гідростатичного підшипника, що приводить до прискореного зношення кільцевої опори і повного її зникнення. Подальша експлуатація таких п'ят супроводжується виривом п'яти із заробки плунжера та аварійною відмовою гідравлічної трансмісії.

Швидкий процес зміни структурних параметрів п'яти ускладнює прогнозування її технічного стану і безпосередньо спряження «п'ята плунжера – опора люльки» гідронасоса. Для вирішення цього питання необхідні додаткові дослідження з обґрунтування інформативних діагностичних параметрів, які дадуть можливість контролювати роботу гідростатичного підшипника п'яти плунжера не за об'ємними, а за механічними втратами.



**Висновки.** На основі проведених досліджень вдалось підтвердити вагомість впливу класу чистоти робочої рідини гідравлічних трансмісій, оснащених аксіально-поршневими гідромашинами, на стан структурних параметрів технічного стану деталей їх качаючих вузлів. Першочергово це виявилось на основі результатів дослідження складу механічних домішок в робочій рідині, забрудненість якої знаходиться для 30 % гідравлічних систем в інтервалі 0,020-0,045 % по масі, що значно перевищує допустимі значення (0,001 %), і відповідає 15-16 класу чистоти рідини за вмістом числа забруднень.

Переважним видом зношення деталей спряжень качаючих вузлів гідроагрегатів являється гідроабразивне зношення, що підтверджується наявністю рисок, які мають різну глибину, форму та розміщення на поверхнях деталей.

Дослідження характеру та виду зношення деталей дали можливість обґрунтовано визначити структурні параметри технічного стану деталей качаючих вузлів для їх контролю при прямому діагностуванні і застосуванню в подальшому для виявлення функціональної залежності з об'ємними втратами робочої рідини. Для контролю технічного стану деталей спряження «розподільник-приставне дно» необхідно застосовувати величину зазору на вході  $B_1$  і виході  $B_2$  із торцевої щілини по зовнішньому пояску та відповідно на вході  $B'_1$  і виході  $B'_2$  щілини по внутрішньому пояску, а для спряження «втулка блоку - плунжер» для отримання достовірної оцінки з контролю об'ємних втрат через плунжерну пару, в якості структурного параметра необхідно застосовувати середнє значення зазору. Контроль технічного стану деталей спряження «п'ята плунжера – опора люльки гідронасоса» або «п'ята плунжера-похила шайба гідромотора» за висотою кільцевої опори п'яти ускладнюється нерівномірністю зношення кільцевої опори, яка приводить до порушення роботи гідростатичного підшипника і обумовлює зростання не об'ємних а механічних втрат в гідромашині, які супроводжуються зміною температурного режиму роботи спряження, який може бути використаний в якості джерела діагностичної інформації для попередження раптової відмови.

Результати дослідження функціональної залежності між напрацюванням гідравлічних трансмісій і динамікою зміни зазору в спряженнях «розподільник-приставне дно» та «втулка блоку плунжер» показали інтенсивність зношення деталей за перші 1000 мото-годин, що пояснюється вмістом механічних домішок, які знаходяться в робочій рідині з початку експлуатації аксіально-поршневих агрегатів, і вказує на ефективність використання доступних засобів контролю технічного стану робочої рідини для підвищення експлуатаційної надійності аксіально-поршневих агрегатів в складі гідравлічних трансмісій мобільних машин.

### Література.

1. Guo, R., Zhou, J., Zhang, C., Zhao, J., & Zhang, Y. (2017). Reliability Evaluation of Axial Piston Pump Based on Degradation Failure. International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC), 204-209, doi: 10.1109/SDPC.2017.46.



2. Редьква О. З. Аналіз основних показників функціонування та розвитку сільськогосподарського машинобудування в Україні. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. 2019. № 4. С. 30-36.

3. Михайлов М. Г. Аналіз тенденцій оснащення матеріально-технічної бази аграрних підприємств. Інвестиції: практика та досвід. 2017. № 9. С. 39-44

4. Петров В. М. Формування ринку зернозбиральних комбайнів в Україні. Економіка АПК. 2020. № 4. С. 43-53.

5. Грищенко Н. В. Кадрові ресурси в системі економічного потенціалу аграрних підприємств. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. №6. С. 266-270.

6. Виноградов Ю. Л. Кадровий потенціал в агропромисловому комплексі регіону: сучасний стан. Науковий вісник Ужгородського університету. 2005. №17. С. 172-178.

7. Мельянцов П. Т. Визначення напрямків забезпечення якості очистки агрегатів гідравлічної системи трактора для різних методів їх ремонту / П. Т. Мельянцов, В. О. Безсмертний – Zbiór artykułów naukowych rezensowanych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej « Inżynieria i technologia. Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2017» - Warszawa: Zakopane (PL): «Diamond trading tour», 2017. – S 46-50.

8. Мельянцов П.Т. Пат. № 131939 Україна, МПК G1N 15/02, G1N 15/06, G1N 29/02, Пристрій для контролю класу чистоти та кількісного вмісту води в робочій рідині мобільних машин / П. Т. Мельянцов, І. М. Добрянський (Україна) - №u 201807677; заяв.09.07. 2018; опубл.11.02.2019, Бюл. № 3.

9. Мельянцов П. Т. Підвищення післяремонтної довговічності вузлів тертя аксіально-поршневих гідромашин шляхом застосування епіламних покриттів робочих поверхонь деталей / П. Т. Мельянцов, В. М. Федченко, В. О. Носенко - Zbiór artykułow naukowych. «Inzynieria i technologia. Osiagniecia naukowe, rozwoj, propozicje na rok 2015» - Warszawa: «Diamond trading tour»,2015 – s. 77-82.

**Abstract.** *The organizational and technological components of the planned and preventive system for maintaining and restoring the working condition of hydraulic transmissions of mobile machines do not meet modern requirements for ensuring their operational reliability. The purpose of the work was to increase the reliability of hydraulic transmission units based on the control of changes in the structural parameters of the technical condition of parts, using monitoring of the purity level of the working fluid. The goal is achieved by developing a device for determining the amount of mechanical impurities in industrial fluids and their sizes, and using it in studies of the impact of hydroabrasive wear on the structural parameters of the technical condition of parts. The obtained results of the wear of the parts made it possible to reasonably determine their structural parameters of the technical condition for control during direct diagnosis. The identified functional dependencies between the working of hydraulic transmissions and the dynamics of the gap change in couplings indicate the effectiveness of monitoring the technical condition of the working fluid to increase the operational reliability of axial-piston units as part of hydraulic transmissions of mobile machines.*

**Key words:** *mobile machine, volumetric hydraulic transmission, axial-piston hydraulic units, working fluid purity, hydroabrasive wear, structural parameters of parts, clearance dynamics, reliability*