

УДК 621.878

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.53

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧАСТИНОК ЗАБРУДНЕНЬ 5 МКМ І МЕНШЕ НА ПРОТИЗНОШУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА СТРОКИ СЛУЖБИ РОБОЧИХ РІДИН ГІДРОПРИВОДІВ БУДІВЕЛЬНИХ І ДОРОЖНІХ МАШИН

Орел О. В.<sup>1</sup>, Варфоломєєв Ю. М.<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет<sup>2</sup>Національний транспортний університет

**Анотація.** Наведено аналіз впливу забруднення робочої рідини на стан елементів гідروобладнання будівельних і дорожніх машин, ефективність їх експлуатації, а також запропоновано використовувати коефіцієнт протизношувальних властивостей  $K_j$  для визначення строків служби робочих рідин. Отримано рівняння залежності швидкості зношування елементів гідрообладнання від коефіцієнта  $K_j$ . Проведено експлуатаційні випробування автогрейдера GR165, які показали, що строк служби робочої рідини Hydro HV 46 за коефіцієнтом протизношувальних властивостей  $K_j$  становить приблизно 1184 маш.-год.

**Ключові слова:** робоча рідина, забруднення, протизношувальні властивості, будівельні машини, гідросистема, трибосполучення.

### Вступ

Характеристики частинок, зокрема ступінь дисперсності, їх концентрація та розподіл за розміром, мають значний вплив як на фізико-механічні, так і на експлуатаційно-трибологічні властивості тертя між поверхнями [1] (особливо на силу тертя та інтенсивність зношування).

Досліджуючи вплив дисперсності домішкових частинок, особливо тонкодисперсних електрично заряджених частинок, на трибологічні характеристики вузла тертя (зокрема на силу тертя та інтенсивність зношування), доцільно розглянути питання про кореляцію між ними.

### Аналіз публікацій

Згідно з ДСТУ ГОСТ 17216:2004, частинки забруднень розміром 5 мкм і менше не враховуються у визначенні класу чистоти робочих рідин (РР), але літературні джерела, зокрема [1], свідчать, що вони можуть зменшувати інтенсивність зношування вузлів тертя. Це можливо завдяки тому, що ці частинки мають розвинену питому поверхню й можуть адсорбувати на собі продукти окислення РР, перетворюючись на природну протизношувальну присадку. Крім того, вони знижують електростатичне зношування, підвищуючи електропровідність граничних плівок РР, та нівелюють шорсткості поверхонь, зменшуючи тиск у сполученнях, тим самим знижуючи ризик мікротужавлення. Отже, вважається доцільним розглянути питання про кореляцію між особ-

ливостями дисперсних частинок домішок, зокрема тонкодисперсних електрично заряджених частинок, і трибологічними характеристиками вузла тертя, такими як сила тертя та інтенсивність зношування.

Тому запропоновано використовувати коефіцієнт  $K_j$  протизношувальних властивостей РР [2, 3], що визначається з рівняння:

$$K_j = \frac{n_5 \times 5}{n_{5-10} \times 10 + n_{10-25} \times 25 + n_{25-50} \times 50} \times \frac{n_5 \times 5}{50 + n_{50-100} \times 100 + n_{100-200} \times 200}, \quad (1)$$

де  $n_5$  – кількість частинок забруднень розміром 5 мкм і менше;  $n_{5-10}$ ;  $n_{10-25}$  тощо – кількість частинок забруднень розміром понад 5 і до 10 мкм, понад 10 і до 25 мкм тощо у 100 см<sup>3</sup> РР для кожного з 10 класів чистоти за ДСТУ ГОСТ 17216:2004.

### Мета та постановка завдання

Метою є аналіз впливу забруднення робочої рідини на стан елементів гідрообладнання будівельних і дорожніх машин, ефективність їх експлуатації, а також запропоновано використовувати коефіцієнт протизношувальних властивостей для визначення строків служби робочих рідин.

Для досягнення поставленої мети необхідно розглянути процеси зношування елементів трибосполучень і експлуатаційних випробувань у польових умовах будівельної та

дорожньої техніки з гідравлічним устаткуванням.

### Теоретичні дослідження та експериментальні випробування впливу забруднень на характеристики та строки служби робочих рідин

Було розглянуто процес зношування трибосистеми для моделі електростатичної взаємодії між тонкодисперсними зарядженими частинками та поверхнею тертя. До того ж вважалося, що дрібнодисперсні частинки зазвичай перебувають у зарядженому стані через термоелектронну емісію, а також наявність різниці хімічних потенціалів між частинками зношування РР або елементами вторинних структур. Величина заряду  $q$  дисперсної частинки пов'язана з її розміром  $a$  виразом [4]

$$q = 4\pi\epsilon_0\epsilon\varphi_0 a \cdot \exp\left(-\frac{a}{D}\right), \quad (2)$$

де  $\epsilon$  – діелектрична проникність середовища;  $\epsilon_0$  – електрична стала;  $\varphi_0$  – потенціал виходу;  $a$  – розмір частинок забруднень;  $D$  – радіус дебайвського екранування заряджених частинок.

Характер взаємодії між поверхнями тертя та їх зношування залежать від властивостей дисперсних частинок, що розміщені між цими поверхнями й утворюють складну відкриту систему. Частинки забруднень мають різні характеристики, такі як ступінь дисперсності, концентрація та розподіл за розміром, що суттєво впливають на фізико-механічні та експлуатаційні характеристики пар тертя. Взаємозв'язок між властивостями дисперсних частинок і трибологічними характеристиками вузла тертя, зокрема силою тертя та інтенсивністю зношування, є об'єктом дослідження. Оскільки вузли тертя є складними відкритими системами, їх аналіз потребує комплексного та термодинамічного підходу.

В основу термодинамічного підходу лягли такі твердження [5]:

- у поверхневому шарі зношування матеріалу можна виділити об'єм, що є в стані локальної рівноваги;
- процеси тертя та зношування можуть бути описані рівняннями енергетичного балансу;
- швидкість деструкції визначається швидкістю генерування ентропії, тобто продукуванням ентропії.

Згідно з термодинамічною концепцією поверхневий шар можна розглядати як відкриту термодинамічну систему, яка здатна обмінюватися енергією та речовиною з навколишнім середовищем і визначається комплексом інтенсивних характеристик.

На основі цієї концепції маємо таке рівняння балансу частинок зношування:

$$n_v = n_0 - n_{ex} + n_{gi}, \quad (3)$$

де  $n_v$  – загальна об'ємна концентрація частинок зношування у вузлі тертя;  $n_0$  – концентрація частинок зношування, що генеруються безпосередньо поверхнями тертя;  $n_{ex}$  – концентрація частинок зношування, що виносяться з вузла тертя;  $n_{gi}$  – концентрація частинок, що генеруються всередині вузла тертя за рахунок внутрішніх процесів, які протікають у вузлі.

Наявність у вузлі тертя заряджених частинок, причина виникнення яких викладена нижче, потребує враховувати їх концентрацію  $n_q$  у загальному балансі концентрації частинок зношування. Концентрація заряджених частинок у тонкодисперсних аерозольних системах, відповідно до [6], становить від 0,4 до 0,75 загальної концентрації в діапазоні розмірів частинок [0,3–0,7] мкм. Отже, можна вважати, що

$$n_q = k_q n_v, \quad (4)$$

де коефіцієнт пропорційності  $k_q$  приймає характерні значення від 0,4 до 0,75 у вказаному діапазоні розмірів.

У роботі [7] викладено методику обчислення продукування ентропії для моделі електростатичної взаємодії тонкодисперсних заряджених частинок зношування з поверхнею тертя. У цьому разі вважалося, що дрібнодисперсні частинки зазвичай є в зарядженому стані [4]. Причина виникнення заряду на дрібнодисперсних частинках пов'язана з різноманітними процесами, що перебігають на фрикційному контакті: опромінюванням частинок електромагнітним та іншими видами іонізаційних випромінювань, термоелектронною емісією та обміном заряджених частинок із довкіллям, якщо хімічні потенціали заряджених частинок і середовища різні. Саме два останні процеси зазвичай реалізуються у вузлах тертя, для яких властиві висока локальна температура й наявність різниці хімічних по-

тенціалів між частинками зношування й масляною рідиною або елементами вторинних структур.

Величина заряду  $q$  дисперсної частинки пов'язана з їх розміром  $a$  формулою [4]

$$q = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon\varphi_0 a \cdot \exp\left(-\frac{a}{D}\right), \quad (5)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність середовища;  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – електрична стала;  $\varphi_0$  – потенціал виходу, В;  $a$  – розмір частинок забруднень, м;  $D$  – радіус дебаївського екранування заряджених частинок, м.

Продуктування ентропії відповідно до загального змісту цієї величини можна надати у вигляді

$$p_s = \int \vec{X}_q d\vec{J}_q, \quad (6)$$

де  $\vec{J}_q$  – густина струму заряджених частинок зношування;  $\vec{X}_q$  – термодинамічна сила, що спричинює цей струм.

Термодинамічна сила для цього випадку визначається за формулою

$$\vec{X}_q = -\frac{\text{grad } \varphi}{T}, \quad (7)$$

де  $\varphi$  – електричний потенціал поля сил електростатичного зображення.

Механізм виникнення цього поля полягає в тому, що заряджені дрібнодисперсні частинки, розташовані в проміжку трибосполучення на малих (порядку декількох дебаївських радіусів  $D$ ) відстанях від поверхні, індують у провідному матеріалі вузла тертя електричні заряди протилежного знака, унаслідок чого між зарядженими частинками й поверхнею трибосполучення виникають сили електростатичного зображення, які спричинюють електричний струм заряджених частинок. У цьому разі можна вважати, що частинка-зображення створює електричне поле, яке описується дебаївським потенціалом

$$\varphi_D = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r} \exp\left(-\frac{r}{D}\right), \quad (8)$$

а частинка-оригінал рухається в цьому полі.

Ця ж концепція у поєднанні з відомою теоремою І. Пригожина про мінімізацію продуктування ентропії дала змогу отримати рівняння для швидкості зношування  $i_v$  у вигляді

$$i_v = 2,8 \times 10^{-5} h \times \frac{\varphi_0 \sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{\rho a} \times \delta^{5/6} R_{\max}^{2/3} \left[ 1 - \left( \frac{a_0}{b_0} \times \frac{P_c}{H_B} \right)^{1/N} \right]^{2/3}} \times \times k_q \frac{\left(1 - \frac{n_{gi}}{n_v}\right)^{1/3}}{\left(\frac{n_{ex}}{n_v}\right)^{4/3}}, \quad (9)$$

де  $h$  – товщина деформованого шару тертя;  $k_q$  – коефіцієнт пропорційності між концентрацією заряджених частинок зношування та їх загальною концентрацією;  $\delta$  – величина подвійного електричного шару.

Відношення  $\frac{n_{ex}}{n_v} = \theta$  можна пояснити як

частину дрібнодисперсних частинок у повному ансамблі частинок забруднень через те, що з вузла тертя виносяться, головним чином, дрібнодисперсні частинки, а також вважати це відношення протизношувальним параметром. Цю величину можна пов'язати із запропонованою величиною коефіцієнта протизношувальних властивостей  $K_j$ , що визначається як відношення кількості дрібнодисперсних частинок до кількості решти частинок, тобто

$$K_j = \frac{n_D}{n_v - n_D}, \quad (10)$$

де  $n_D \approx n_{ex}$  – об'ємна концентрація дрібнодисперсних частинок.

Очевидно, що між протизношувальним параметром  $\theta$  й коефіцієнтом протизношувальних властивостей  $K_j$  існує зв'язок, який має вигляд співвідношення

$$\theta = \frac{K_j}{1 + K_j}. \quad (11)$$

Тоді рівняння (9) для швидкості зношування вузла тертя набуває вигляду

$$i_v = 2,8 \times 10^{-5} h \times \frac{\varphi_0 \sqrt{E}}{\sqrt{\rho a} \times \Delta^{5/6} R_{\max}^{2/3} \left[ 1 - \left( \frac{a_0}{b_0} \times \frac{P_c}{H_B} \right)^{1/N} \right]^{2/3}} \times \times k_q n_v^{1/3} \left(1 - \frac{n_{gi}}{n_v}\right)^{1/3} \left(1 + \frac{1}{K_j}\right)^{4/3}. \quad (12)$$

Як бачимо з рівняння (12), зі збільшенням величини коефіцієнта  $K_j$  протизношувальних властивостей РР інтенсивність зношування зменшується.

Безпосередній розрахунок швидкості зношування за цією формулою стикається з труднощами, спричиненими недостатньою визначеністю низки параметрів, що містяться в цій формулі (наприклад, товщина подвійного електричного шару  $\delta$ , розмір дисперсних частинок  $a$ , їх концентрації  $n$  тощо). Щоб уникнути цих труднощів, можна знайти зв'язок між відносними змінами величин  $i_v$  й  $K_j$ , виходячи з того, що в стаціонарному стані основні триботехнічні характеристики вузла тертя не зазнають істотних змін, а також вважати, що коефіцієнт  $K_j$  суттєво впливає на процес зношування. У такому разі логарифмічне диференціювання дає змогу визначити зв'язок між відносною величиною швидкості зношування й коефіцієнтом протизношувальних властивостей  $K_j$ :

$$\frac{\Delta i_v}{i_v} = -\frac{4}{3} \frac{\Delta K_j}{(1 + K_j)K_j}. \quad (13)$$

Знак мінус у правій частині цього виразу підтверджує зменшення швидкості зношування за умови збільшення коефіцієнта протизношувальних властивостей.

Для підтвердження здобутих результатів теоретичних досліджень щодо зв'язку швидкості зношування та коефіцієнта  $K_j$  протизношувальних властивостей було проведено експлуатаційні випробування автогрейдера *GR165* для визначення строків служби РР гідропривода.

Перед початком тестування гідросистеми автогрейдера було вилите відпрацьоване мастило РР. Після ретельного очищення гідросистеми його резервуар заповнено свіжим мастилом РР *Hydro HV 46* [8], що містить протипінні, протизношувальні, антиокислювальні та інші присадки, що часто використовуються в іноземних гідравлічних системах БДМ.

Під час експлуатаційних випробувань автогрейдер працював у штатному режимі, тобто виконував основні види робіт, що зазвичай пов'язані з його функціональністю.

Було використано заздалегідь підготовлену схему для відбору проб РР з гідросистеми. Після відбору проби були проаналізовані в лабораторії, де визначено

гранулометричний склад частинок забруднень, зокрема тих, що мали розмір 5 мкм або менше. За результатами цього аналізу обчислено значення індексу забруднення, встановлено клас чистоти РР згідно з ДСТУ ГОСТ 17216:2004 та розраховано коефіцієнт протизношувальних властивостей  $K_j$  з використанням формули (1). Крім того, під час проведення аналізів РР визначено вміст частинок забруднень неорганічного походження та заліза, що є показником процесу зношування елементів гідропривода.

Здобуті результати аналізів РР оброблялися й аналізувалися з метою визначення фактичного строку служби РР *Hydro HV 46*.

За результатами аналізу проб РР виявлено поступове й монотонне зростання індексу забрудненості РР залежно від часу експлуатації (рис. 1). Це свідчить про погіршення класу чистоти РР відповідно до ДСТУ ГОСТ 17216:2004 від 10-го до 14-го класу (після експлуатації РР протягом 1250 маш.-год).

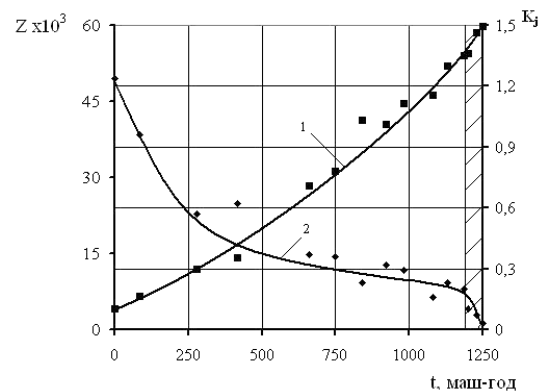


Рис. 1. Залежність індексу забрудненості  $Z$  (1) та коефіцієнта протизношувальних властивостей  $K_j$  (2) від часу напрацювання РР *Hydro HV 46*

Після 919 маш.-год роботи гідропривода автогрейдера, РР досягла 14-го класу чистоти. Водночас значення коефіцієнта  $K_j$  монотонно зменшувалося з 1,23 (для свіжої РР) до 0,2 (на 1184 маш.-год роботи РР). Після цього термін експлуатації РР та її ступінь забрудненості продовжували зростати, але клас чистоти залишався на рівні 14-го. Монотонний характер зменшення значення коефіцієнта  $K_j$  зупинився на 1184 маш.-год, після чого спостерігається різке падіння його величини. У процесі напрацювання РР 1229 маш.-год значення коефіцієнта становить 0,07.

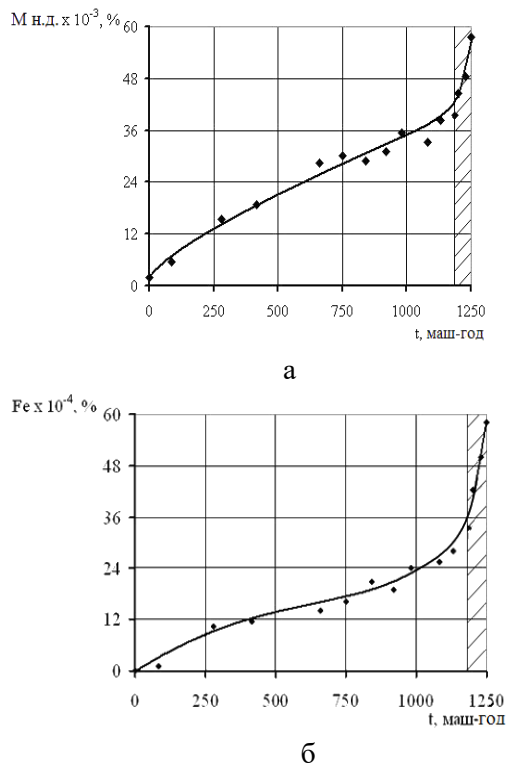


Рис. 2. Залежність вмісту домішок неорганічного походження (а) і заліза (б) від часу напруцювання РР *Hydro HV 46*

З рис. 2, а видно, що спостерігається поступове збільшення вмісту домішок неорганічного походження в РР. Так, у процесі напруцювання РР 1184 маш.-год кількість неорганічних домішок зросла з  $1,82 \cdot 10^{-3} \%$  (свіжа РР) до  $38,4 \cdot 10^{-3} \%$ , тобто збільшилась у 22,65 рази (початок заштрихованої зони на рис. 4, а). Далі різко збільшується вміст неорганічних домішок в РР до  $44,5 \cdot 10^{-3}$  за умови 1184 маш.-год, тобто у 24,4 рази порівняно зі свіжою РР та  $56,5 \cdot 10^{-3}$ , якщо напруцювання 1249 маш.-год (в 30,65 рази більше порівняно з РР без напруцювання).

Схожим чином змінюється вміст заліза в РР залежно від часу їх напруцювання (рис. 2, б): перші 1184 маш.-год спостерігається плавне збільшення вмісту заліза в РР з 0% (свіжа РР) до  $32,4 \cdot 10^{-4} \%$ . Але вже за умови напруцювання 1199 маш.-год (початок заштрихованої зони на рис. 2, б) маємо різке збільшення значення вмісту заліза до  $41 \cdot 10^{-4} \%$ , у разі напруцювання 1249 маш.-год вміст заліза становить  $48 \cdot 10^{-4} \%$ , тобто за 63 маш.-год роботи вміст заліза збільшився в 1,45 рази порівняно зі значенням заліза за умови напруцювання 1184 маш.-год. Адекватно збільшенню вмісту механічних домішок і заліза підвищується зношування елементів гідروпривода, а в

заштрихованих зонах (рис. 2) зношування аномально високе.

Отже, можна зробити висновок, що раціональний строк служби РР *Hydro HV 46* в гідроприводі автогрейдера *GR 165* становить приблизно 1184 маш.-год. У цьому разі граничне значення коефіцієнта  $K_j$  протизношувальних властивостей становить 0,2.

## Висновки

Отримано рівняння для швидкості зношування з урахуванням взаємодії заряджених частинок зношування з поверхнями тертя. Із цього рівняння можна побачити, що швидкість зношування може бути презентована як функція коефіцієнта протизношувальних властивостей  $K_j$ , який є мірою відношення концентрації дрібнодисперсних частинок зношування до концентрації грубодисперсних частинок.

Для стаціонарного режиму тертя розроблено рівняння балансу частинок забруднень, що містяться в складі РР гідроприводів, та швидкості зношування пар тертя.

Коефіцієнт  $K_j$  протизношувальних властивостей може бути єдиним інтегральним показником якості РР та визначати їх строки служби в гідроприводах БДМ.

## Література

1. Венцель Є. С., Жалкін С. Г., Данько М. І. Поліпшення якості та підвищення термінів служби нафтових олій. Харків: УкрДАЗТ, 2003. 168 с.
2. Венцель Є. С. Гранулометричний склад забруднень як один із факторів, що визначають протизносні властивості олій. *Тертя та зношування*. 1992. Т. XIII. № 4. С. 683–688.
3. Венцель Є. С., Орел О. В. Патент 56107 Україна, МПК G 01 N 1/20. Спосіб визначення строків служби робочих рідин гідроприводів / заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № u201008871. Заявл. 16.07.2010. Опубл. 27.12.2010. Бюл. № 24.
4. Goertz С. К. Dusty plasmas in the Solar system. *Reviews of Geophysics*. 1992. № 27, 2. Р. 271–272.
5. Громаковський Д. Г. Система понять та структура моделей зношування. *Тертя та зношування*. 1997. Т. 18. № 1. С. 53–62.
6. Green H., Lane W. Particulate clouds: dusts smokes and mists. London, 1964. 425 p.
7. Березняков А. І. Рівняння інтенсивності зношування вузла тертя за наявності часток забруднень у мастильному матеріалі. *Тертя та зношування*. 1996. 17. № 1. С. 43–48.
8. MOL – Hydraulic oils. *MOL Hydro HV 46 multi-grade hydraulic oil*. 2008. URL:

[http://www.mol.hu/en/business\\_centre/products/lubricants\\_autochemicals/industrial\\_oils/hydraulic\\_oils/mol\\_hydro\\_hv\\_46](http://www.mol.hu/en/business_centre/products/lubricants_autochemicals/industrial_oils/hydraulic_oils/mol_hydro_hv_46)

### References

1. Wentsel, E. S., Zhalkin, S. G., Danko, M. I. (2003) Improving the quality and increasing the service life of petroleum oils. Kharkiv, 168 p.
2. Wentsel, Ye. S. (1992) Granulometric composition of impurities as one of the factors determining the antiwear properties of oils. *Friction and wear*, vol. XIII, no. 4, pp. 683–688.
3. Wenzel, E. S., Orel, O. V. (2010) Stalemate. 56107 Ukraine, IPC G 01 N 1/20. The method of determining the service life of working fluids of hydraulic drives / applicant and patent owner Kharkiv National Automobile and Road University, no. u201008871. Statement 16.07.2010. Published 27.12.2010. Bull. no. 24.
4. Goertz, C.K. (1992) Dusty plasmas in the Solar system. *Reviews of Geophysics*, 27, 2, pp. 271–272.
5. Gromakovskiy, D. G. (1997) System of concepts and structure of models of wear. *Friction and wear*, vol. 18, no. 1, pp. 53–62.
6. Green, H., Lane, W. (1964) Particulate clouds: dusts smokes and mists. London, 425 p.
7. Berezyakov, A. I. (1996) The equation of the intensity of wear of the friction unit in the presence of particles of impurities in the lubricant. *Friction and Wear*, 17, no. 1, pp. 43–48.
8. MOL – Hydraulic oils. (2008) *MOL Hydro HV 46 multigrade hydraulic oil*. URL: [http://www.mol.hu/en/business\\_centre/products/lubricants\\_autochemicals/industrial\\_oils/hydraulic\\_oils/mol\\_hydro\\_hv\\_46](http://www.mol.hu/en/business_centre/products/lubricants_autochemicals/industrial_oils/hydraulic_oils/mol_hydro_hv_46)

**Орел Олександр Володимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. Холодова, [oav1980@gmail.com](mailto:oav1980@gmail.com), тел. +38 067-701-98-64.

**Варфоломєєв Юрій Михайлович**, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, [varfolomeev1947@gmail.com](mailto:varfolomeev1947@gmail.com), тел. +380964755574.

**Study of the influence of pollution particles of 5 мкм and less on the anti-wear properties of the working fluids of hydraulic drives of construction and road machinery**

**Abstract. Problem.** An analysis of the impact of contamination of the working fluid on the state of the hydraulic equipment elements of construction and road machines, the efficiency of their operation, and also the use of the coefficient of anti-wear properties to determine the service life of working fluids is presented. The equation of the dependence of the wear rate of hydraulic equipment elements on the coefficient was obtained. Operational tests of the GR165 motor grader were also carried out, which showed that the service life of the Hydro HV 46 working fluid according to the coefficient of anti-wear properties is approximately 1184 machine hours. **Methodology.** In the process of studying the state of the matter, the method of analysis was used, and in theoretical studies – the analytical method, which is based on the theory of interaction of working bodies with the developed environment, as well as the provisions of the theory of reliability, probability and mathematical statistics. **Results.** The research results showed that coefficient  $K_j$  of anti-wear properties can be the only integral indicator of the quality of working fluids and determine their service life in hydraulic drives of Construction machines. **Originality.** The equation was obtained for the rate of wear, taking into account the interaction of charged particles of wear with friction surfaces. For the stationary friction mode, the equation of the balance of the contamination particles that are part of the working fluids of the hydraulic actuators and the rate of wear of friction vapor were obtained. The use of  $K_j$  coefficient as an indicator of working fluids of hydraulic drives of construction machines is presented. **Practical value.** The research results showed that the coefficient  $K_j$  of anti-wear properties can be the only integral indicator of the quality of working fluids and determine their service life in hydraulic drives of Construction machines.

**Key words:** working fluid, pollution, anti-wear properties, construction machinery, hydraulic system, tribocombination.

**Orel Oleksandr**, Cand. of Technical Sciences, Assistant Professor, of the Department of Construction And Road Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, [oav1980@gmail.com](mailto:oav1980@gmail.com), tel. +38 067-701-98-64.

**Varfolomeev Yurii**, Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines, [varfolomeev1947@gmail.com](mailto:varfolomeev1947@gmail.com), tel. +380964755574.