

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (131, 132, 133)

УДК 625.144.5

**ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДРІБНОДИСПЕРСНОЇ ВОДИ НА МЕХАНІЗМ
КОРОЗИЙНО-МЕХАНІЧНОГО ЗНОШУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ АГРЕГАТІВ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Д-р техн. наук С. В. Воронін, канд. техн. наук О. О. Скорик,
асист. І. Ю. Сафонюк, старш. викл. О. В. Росляков (НАНГУ)

**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ВОДЫ НА МЕХАНИЗМ
КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Д-р техн. наук С. В. Воронин, канд. техн. наук А. А. Скорик,
ассист. И. Ю. Сафонюк, старш. преп. А. В. Росляков (НАНГУ)

**INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF SMALL-WATER WATER ON THE
MECHANISM OF CORROSIVE-MECHANICAL WEARING OF HYDRAULIC
ENGINEERING OF VEHICLES**

Dr. sc. sciences S. Voronin, phd. tehn. O. Skoryk,
assistant I. Safoniuk, senior lecturer of NANGU O. Rosliakov

Проведено аналіз умов роботи гідравлічного привода транспортних засобів та причин його зносу. Розглянуто механізм взаємодії дрібнодисперсної води в мінеральній оливі із кристалічною поверхнею металу. Запропоновано математичну модель розрахунку міри корозійно-механічного зношування елементів гідравлічного привода, на прикладі пари тертя плунжер-гільза поршневого насоса. Подано результати експериментальних досліджень щодо впливу концентрації води в оливі та напрацювання на знос пари тертя плунжер – гільза.

Ключові слова: *тертя, корозійно-механічний знос, олива, концентрація води, поле поверхні.*

Проведен анализ условий работы гидравлического привода транспортных средств и причин его износа. Рассмотрен механизм взаимодействия мелкодисперсной воды в минеральном масле с кристаллической поверхностью металла. Предложена математическая модель расчета степени коррозионно-механического износа элементов гидравлического привода на примере пары трения плунжер – гильза поршневого насоса. Приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию концентрации воды в масле и наработки на износ пары трения плунжер – гильза.

Ключевые слова: *трение, коррозионно-механический износ, масло, концентрация воды, поле поверхности.*

The use of a hydraulic drive has several advantages over electric drive: relatively less weight, simplicity in operation. However, the operation of hydraulic drives has its own characteristics. An important factor in the operation of the hydraulic drive is the temperature difference at the boundary of the working body and atmospheric air, which leads to the formation of condensed water. Water can get into the hydrosystem and another way. The concentration of water in the hydraulic system of vehicles may reach 1% by volume. Water in oil leads to a number of negative consequences. These include oxidation of the oil and metal surfaces of the hydraulic drive elements, increased emulsibility, increased risk of formation of cavitation zones, increase of oxidative and hydrogen wear of parts of the hydraulic drive.

The influence of water on the wear of parts of the hydraulic drive vehicles always remains an urgent problem. Such wear is called corrosion-mechanical wear. The reason for the corrosion processes is the high activity of metals in comparison with hydrogen. The process of corrosion-mechanical wear is considered in the work and the calculation of wear is presented. The calculation of wear is shown on the example axial-piston pump. The calculation method includes both the basic geometric parameters of the axial-piston pump and the properties of the metallic surfaces. The distance to which the field of the metal surface acts is determined. At the same time, a system of equations was created for the energy of the thermal motion and the energy of the metal surface.

Theoretical calculation results were confirmed by experimental research. The experiment was a study on a stationary friction machine. The friction pair was a shaft and a roller. The main parameters of the experiment were chosen: load, slip speed, slipping path, temperature of the lubricant. The main variable parameter was the concentration of water. The investigated values ranged from 0.0 to 1.0% water. According to the results of the study, wear decreases with acceleration at a uniform growth of water concentration.

Keywords: *friction, corrosion-mechanical wear, oil, water concentration, surface field.*

Вступ. У сучасних умовах виробництва застосування гідропривода набуває все більшого поширення. Гідропривод має ряд переваг перед електроприводом: порівняно менша маса, простота в управлінні. Однак експлуатація гідроприводів має свої особливості. Важливим фактором роботи гідроприводу є перепади температур на межі робочого тіла та атмосферного повітря, що призводить до утворення конденсованої води. Вода може потрапити в гідросистему і іншим шляхом. На прикладі колійної техніки концентрація води в гідравлічній системі транспортних засобів може сягати 1% за об'ємом [1]. Вода в оливі призводить до ряду негативних наслідків. До них можна віднести окислення оливи та металевих поверхонь елементів гідропривода, підвищену емульсованість, підвищення ризику утворення зон кавітації, підвищення окислювального та водневого зносу

деталей гідропривода. Дослідження, подані у [2], показали, що при терті значний вплив на знос чинить вода. Про це свідчать характерні продукти зносу червонуватого кольору на сталевих кульках. Однак кількісного зв'язку впливу води на поверхню в аналітичному вигляді вченими не було встановлено.

Аналіз досліджень та публікацій. Процес зносу пар тертя в агресивному середовищі згідно з [3] умовно можна поділити два взаємно пов'язаних паралельних процеси: механічне зношування та корозійне зношування. Механічна складова зносу добре досліджена вченими [4]. Окремо корозійну складову розглянуто в роботі [15]. Залежності впливу наявності абразивних частинок, впливу шорсткості, в'язкості та мастильної здатності встановлено. Однак корозійна складова зносу є менш дослідженою.

Причиною корозії металевих поверхонь можуть бути кисень, вода, солі, низькомолекулярні кислоти, органічні кислоти і навіть жирні кислоти та ін. Швидкість корозії різного сортаменту металів у різних агресивних середовищах досліджено в праці [5].

Як відомо з [3-4, 6-7], природа взаємодії надмолекулярних структур із металевою поверхнею є електромагнітною. Як показано у [8], краплю води можна розглядати як надмолекулярну структуру, оскільки молекули води є полярними. У зовнішньому електричному полі молекули води впорядковуються, в результаті чого змінюються і деякі властивості краплі [9]. Механізм взаємодії полярних частинок та поверхні металу розглянуто в [10]. Незважаючи на велику кількість робіт, єдиного уявлення щодо корозійно-механічного зношування води не існує, хоча переважна кількість машин працюють в умовах, коли гідравлічна рідина містить воду у певній концентрації.

Мета та завдання дослідження.

Метою дослідження є встановлення

закономірностей впливу концентрації води в гідравлічній оливі на процес розвитку корозійно-механічного зносу деталей гідравлічного привода транспортних засобів.

Для досягнення даної мети необхідно розв'язати такі завдання:

- розробити теоретичну модель корозійно-механічного зносу деталей гідравлічного привода за наявності дрібнодисперсної води в робочій рідині;

- виконати експериментальні дослідження впливу концентрації дрібнодисперсної води на знос трибологічної пари колодка – ролик.

Основна частина. Теоретична модель корозійно-механічного зношування. Визначити міру зношування від корозійного впливу води. Припустимо, що в гідросистемі присутній аксіально-поршневий насос або мотор, поршень із гільзою в якому контактують по циліндричній поверхні (рис. 1). Між поршнем та гільзою існує технологічний зазор Δ , який для справного аксіально-поршневого насоса становить 10-50 мкм.

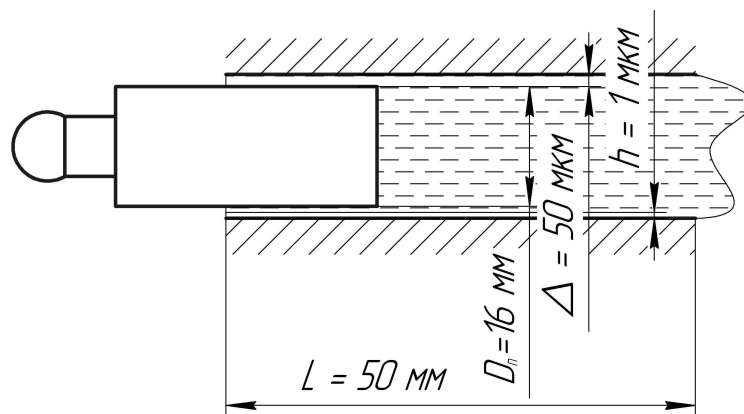


Рис. 1. Схема поршня та гільзи аксіально-поршневого насоса:

L – хід плунжера, мм; h – висота дії поля, мкм; Δ – зазор між плунжером та гільзою, мкм;

D_n – діаметр плунжера, мм

При кожному оберті вала насоса поршень повністю виштовхує робочу рідину і гільза заповнюється новою порцією робочої рідини. Отже, в зазорі між

поршнем та гільзою при кожному оберті вала опиняється нова порція робочої рідини (РР). Тоді витрату РР, що пройшла крізь зазор можна розрахувати за формулою:

$$Q_{\text{вт}} = \frac{V_p}{T_{\text{об}}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{вт}}$ – витрата оливи через одну пару поршень – гільза, м³/с;

$T_{\text{об}}$ – період обертання вала насоса, с;

V_p – об’єм РР у зазорі пари поршень-гільза, м³;

$$V_p = L \left(\frac{\pi(d_n + \Delta)^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_n^2}{4} \right). \quad (2)$$

Врахувавши концентрацію води в РР, можна визначити кількість води, що проходить крізь зазор між поршнем та насосом за один оберт:

$$V_p = C \cdot L \left(\frac{\pi(d_n + \Delta)^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_n^2}{4} \right), \quad (3)$$

де C – концентрація води в оливі, % по об’єму.

Тоді витрата води через зазор між поршнем та гільзою:

$$Q_{\text{вт}} = C \frac{V_p}{T_{\text{об}}}. \quad (4)$$

Механізм взаємодії води та кисню з поверхнею металу має електромагнітну природу. Молекула води є полярним діелектриком, тому вона потрапляє в поле дії кристалічної решітки поверхні металу. Згідно з працями Ахматова О. С. [6] та [7], силове поле поверхні нелінійно ослаблюється і для диполя молекули води діє на відстані до 1 мкм від поверхні металу, Диспергована в оливі вода, у вигляді мікроскопічних крапель, наближаючись до поверхні металу поляризується, утворюючи своє локальне поле, та набуває властивостей електричного диполя [11]. Тобто під впливом поля металевої поверхні крапля води індукує своє поле (рис. 2). Сила, що виникає між ними називається Ван-дер-Ваальсовою силою [12].

Отже, у міру наближення диполя до кристалічної решітки поверхні металу відбувається поляризація диполя і виникає сила притягання, що збільшується у міру наближення.

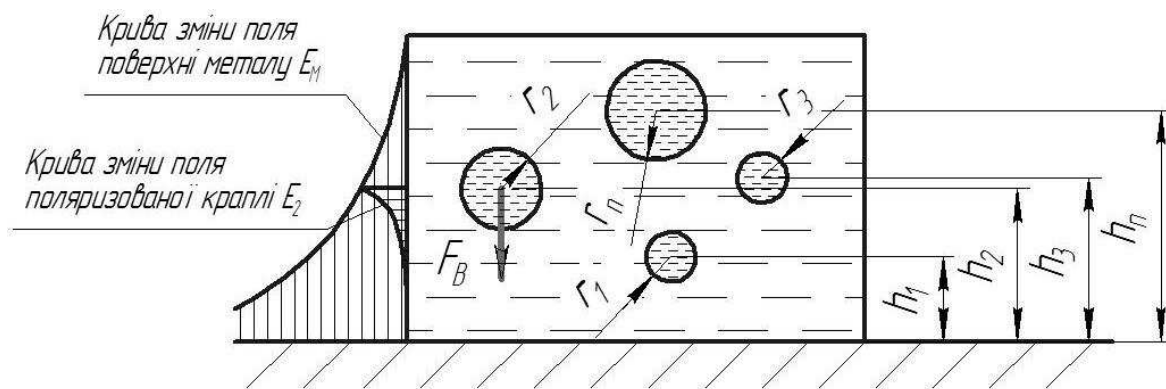


Рис. 2. Схема появи власного електричного поля краплі в наслідок дії поля поверхні металу:

h_1, h_2, h_3, h_n – відстані від крапель до поверхні металу; r_1, r_2, r_3, r_n – радіуси крапель; E_2 – поле конкретної краплі; E_M – поле поверхні металу; F_B – Ван-дер-Ваальсова сила

У загальному уявленні в оливі містяться диполі різної природи: 1 –

штучно додані присадки; 2 – продукти окислення самої оливи; 3 – молекули води

у складі крапель. Їх активність перебуває на рівні одного порядку. Наприклад, дипольний момент олеїнової кислоти становить $4,84 \cdot 10^{-30}$ Кл·м; стеаринової кислоти – $5,80 \cdot 10^{-30}$ Кл·м; а води – $6,152 \cdot 10^{-30}$ Кл·м. Отже, полярна активність молекули води, як наслідок, і її реакція на її електромагнітне поле дещо перевищує класичні полярно активні присадки.

Будучи вільно в об'ємі оливи біля поверхні металу відбувається фізична адсорбція полярних діелектриків. Особливо яскраво це проявляється при оновленні поверхонь тертя (задир, продавлювання граничного шару мастильної плівки, мікрорізання), але це не обов'язкова умова. Конкурентне витіснення молекул присадки молекулами води можливе також за законом теплового руху молекул.

Слід зазначити, що у випадку електричного притягування молекули води до металу процес не закінчується полярним (фізичним) зв'язком. Оскільки переважна більшість металів, які застосовуються у машинобудуванні, є більш активними, ніж водень, то виникає хімічний зв'язок – перехід електронної орбіталі від водню до металу, внаслідок чого утворюється гідроксид, а згодом і оксид металу (новоутворений іонний зв'язок міцніший, ніж зв'язок металу між собою в кристалічній решітці).

Таким чином, поверхня тертя втрачає своє тіло (утворений осад не зв'язаний з поверхнею та змивається новою порцією оливи в насосі). Схема, подана на рис. 3, дає змогу зрозуміти який відсоток води в оливі може доторкнутися до металевої поверхні.

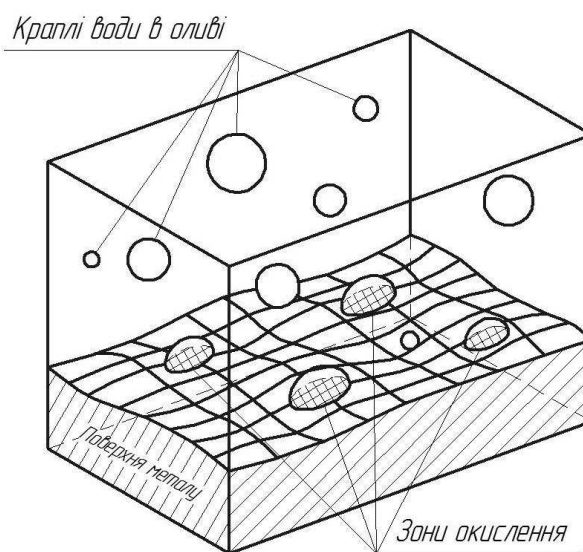


Рис. 3. Схема утворення зон окислення

Звичайно, що в окисленні поверхні металу бере участь не вся вода, яка міститься в зазорі між плунжером та гільзою. Причиною цьому є відносно слабка сила дії поля поверхні металу, тобто поле поверхні діє на деяку величину h у глибину мастильного середовища. Цю величину можна знайти виходячи з

енергетичного балансу. З одного боку, це енергія теплового руху молекул середовища, а з іншого – енергія поля поверхні. На тій відстані, де переважає енергія поля поверхні, буде спрямований рух диполів води до поверхні, а отже, і наступне окислення.

Енергія теплового руху W_{TP} визначається законом Больцмана [9]:

$$W_{TP} = k \cdot T, \quad (5)$$

де k – постійна Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж·К

T – абсолютна температура, °К.

Отже,

$$W_{TP} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 = 404,34 \cdot 10^{-23} \text{ Дж.}$$

Енергія взаємодії молекули води з полем поверхні металу W_M , залежно від відстані, визначається формулою [8]:

$$W_M = \frac{p_v \cdot q}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot a_0^2} \left(1 - \frac{h}{\sqrt{a_0^2 + h^2}} \right), \quad (6)$$

де p_v – дипольний момент молекули води, Кл·м;

q – заряд іонного вузла, $q = 0,4e = 0,64 \cdot 10^{-19}$ Кл;

ϵ_0 – діелектрична постійна, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

ϵ – відносна діелектрична проникність, для олив $\epsilon = 2,5$;

R – радіус мікроскопічної ділянки, що притягує диполь, $R = 0,1$ мкм;

a_0 – період розміщення ступенів іонного вузла, $a_0 = 5 \cdot 10^{-10}$ м.

Формула визначення енергії взаємодії (6) не має математичного розв'язання. Тому знайдемо розв'язки рівнянь (5) та (6) за допомогою програмного комплексу Mathcad (рис. 4).

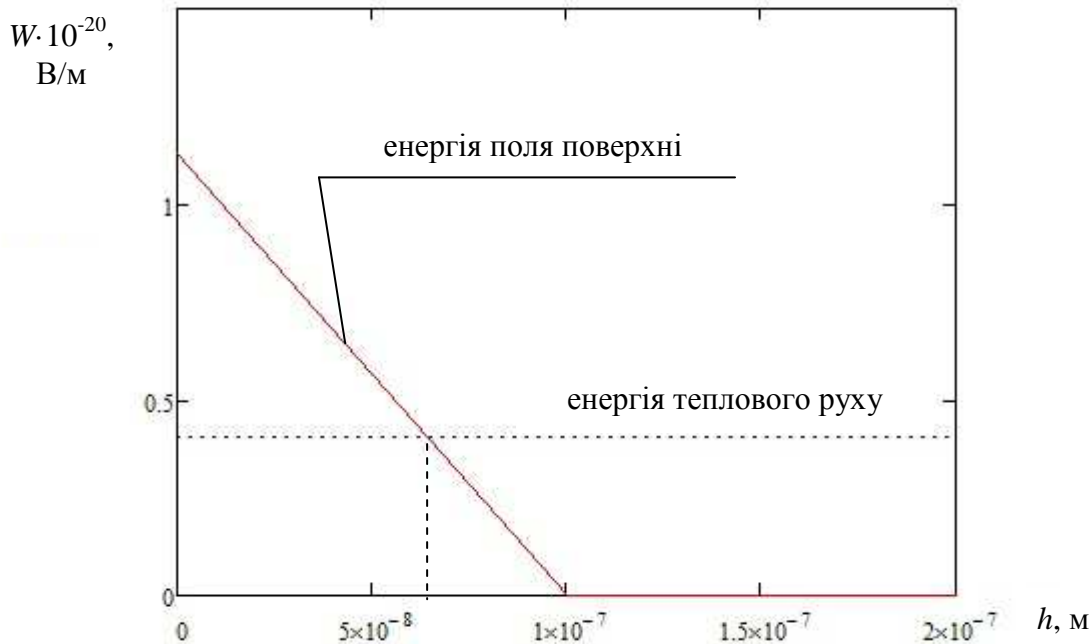


Рис. 4. Відображення енергії поверхні металу та енергії теплового руху

Отже, енергія поверхні металу перевищує енергію теплового руху на відстані близько $7 \cdot 10^{-8}$ м = 0,07 мкм. А отже, краплі та окремі молекули води, що розташовані на відстані менше 0,07 мкм,

будуть притягуватися до поверхні металу (адсорбуватися) та вступати з нею у взаємодію.

Тоді об'єм води, що може взяти участь у реакції, із урахуванням фактичної

площі контакту [13] можна визначити, використавши раніше подану формулу (2).

$$V_B = k \cdot C \cdot L \cdot \left(\frac{\pi(D_n + 2h)^2}{4} - \frac{\pi D_n^2}{4} \right), \quad (7)$$

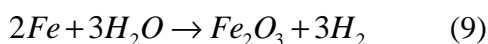
де k – коефіцієнт, що враховує фактичну площу контакту поверхонь тертя, $k = A_\phi / A_H = 0,01 \dots 0,001$ [13], де A_ϕ , A_H – відповідно фактична та номінальна площі контакту.

Врахувавши щільність води, можна визначити масу води, яка може вступити в реакцію:

$$m_B = \rho \cdot k \cdot C \cdot L \cdot \left(\frac{\pi(D_n + 2h)^2}{4} - \frac{\pi D_n^2}{4} \right), \quad (8)$$

де ρ – щільність води, $\rho = 1000$ кг/м³.

За нормальних умов хімічна реакція



є малоімовірною, однак згідно з [3] вона є абсолютно реальною (хоч і відбувається двома етапами) як трибо-хімічна реакція.

Найважливішим моментом в цій реакції є пропорції кількостей речовини. Як

впливає з рівняння (9), на три молекули води припадає два атоми металу (заліза), а результатом є одна молекула оксиду. Отже, можна записати таку рівність:

$$V_{Fe} = \frac{2}{3} V_{H_2O}. \quad (10)$$

де V_{Fe} – кількість металу, моль;

V_{H_2O} – кількість води, моль;

$$V_{H_2O} = \frac{m_B}{M_{H_2O}}, \quad (11)$$

M_{H_2O} – молярна маса молекули води, $M_{H_2O} = 18$ г/моль.

Допускаючи можливість повного реагування води, можна визначити об'єм окисленого металу таким чином:

$$m_{Fe} = V_{Fe} \cdot M_{Fe}, \quad (12)$$

де M_{Fe} – молярна маса заліза, $M_{Fe} = 54$ г/моль.

Остаточна формула визначення окисленого металу матиме вигляд:

$$m_{Fe} = \frac{2 \pi \cdot \rho \cdot k \cdot C \cdot L \cdot h (D_n + h)}{3 M_{H_2O}} \cdot M_{Fe}. \quad (13)$$

Для конкретного випадку проведемо розрахунки вагового зносу m_{Fe} пари плунжер – гільза та відобразимо результати на рис. 5.

Маса окисленого металу m_{Fe} при концентрації води в РР $C = 1\%$ буде становити $3,639 \cdot 10^{-6}$ за один прохід.

Експериментальні дослідження. Згідно з дослідженнями [11] встановлено, що концентрація води в робочій рідині гідроприводів може сягати 1% води. Тому для дослідів було прийнято максимальну концентрацію води 1% за об'ємом. За досліджувану робочу рідину було прийнято

мінеральну оливу И-30А ГОСТ 20799. Для пари тертя було прийнято такі матеріали: Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-71 – ролик та БРАЖ9-4 ГОСТ 18175-78 – колодка.

Оскільки лінійні швидкості взаємного переміщення пар тертя в гідравлічному приводі, як правило, незначні, то було прийнято рішення проводити дослідження на мінімально можливих швидкостях для машини тертя СМЦ-2. Частота обертання ролика 300 хв^{-1} , а отже, лінійна швидкість ковзання становила $0,785$ м/с. У свою чергу шлях ковзання за 50 годин становив $141,3$ км.

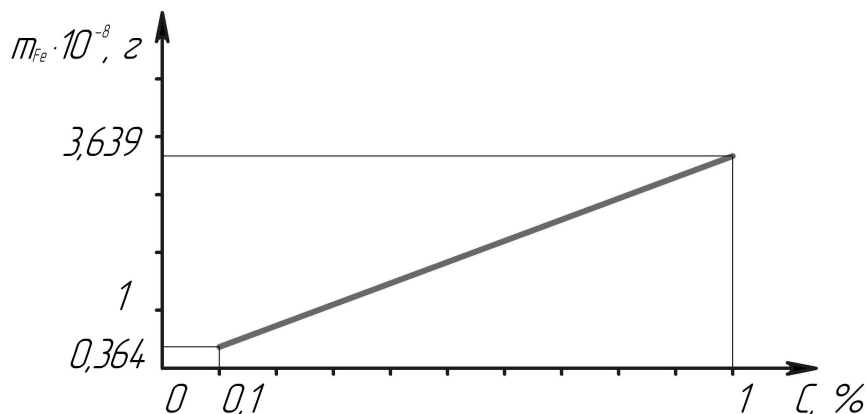


Рис. 5. Ваговий знос плунжера залежно від концентрації води в робочій рідині за один прохід

Навантаження, з яким притискалась колодка до ролика, вибиралось дослідним шляхом. Основною умовою було встановлення максимального навантаження, при якому температура залишається стабіль-

ною. Таке навантаження було прийнято в розмірі 1000 Н, що близько до межі текучості матеріалу колодки для площі 1,7 см².

Результати досліджень зведені до таблиці.

Таблиця

Знос колодки та ролика залежно від напрацювання

Номер досліджу	Час проведення досліджу, год	Ваговий знос колодки, г	Ваговий знос ролика, г
1. Знос колодки та ролика при використанні чистого И-30А (без впливу води)	10	0,00265	0,00260
	20	0,00460	0,00415
	30	0,00655	0,00550
	40	0,00850	0,00725
	50	0,00955	0,00855
2. Знос колодки та ролика при застосуванні И-30А із вмістом води 0,5 %	50	0,01240	0,01115
3. Знос колодки та ролика при застосуванні И-30А із вмістом води 1 %	50	0,01910	0,01710

Проведені дослідження показали, що збільшення концентрації води в мастильному матеріалі до 1 % призводить до збільшення зносу майже у два рази. Зобразимо отриману характеристику графічно (рис. 6).

Важливо зазначити, що характер зміни швидкості зносу в межах до 1% води

має нелінійний характер. Тобто у міру збільшення концентрації води в оливі швидкість зносу зростає із прискоренням.

Теоретична лінія зносу нанесена із урахуванням різниці площ контакту аксіально-поршневого насоса та моделі колодка – ролик, а також кількості циклів (обертів).

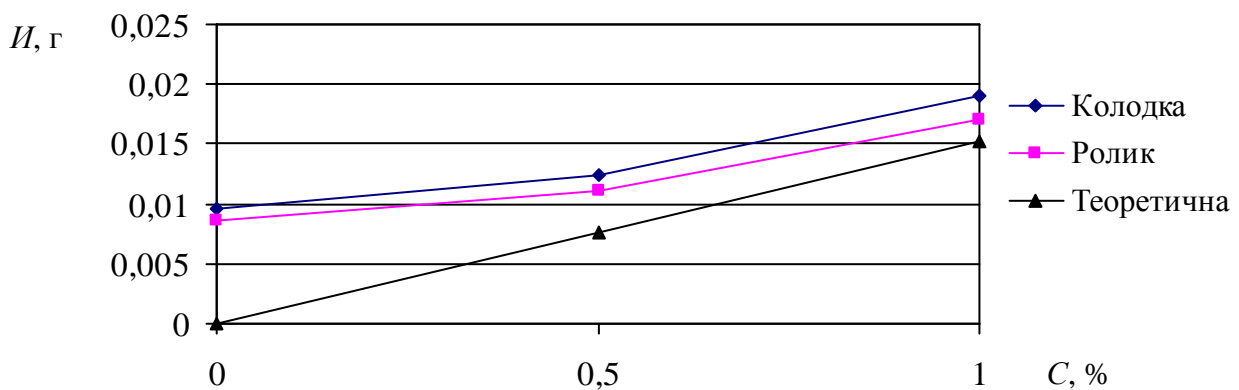


Рис. 6. Знос пари тертя за наявності води

Висновки. Розроблено теоретичну модель корозійно-механічного зношування, яка враховує концентрацію молекул води в оливі та підтверджує негативний вплив води на зношування агрегатів гідравлічних приводів засобів транспорту. В теоретичній моделі знос залежить від концентрації води прямо пропорційно.

Експериментальні дослідження підтверджують теоретичні дослідження.

Знос зростає зі збільшенням концентрації води, однак в експерименті спостерігається нелінійність. Цей факт може бути пояснений механічним зношуванням без наявності води в оливі та наявністю великої кількості абразивних продуктів зносу – окислів. Розбіжність значень теоретичної та експериментальної кривої при концентрації 1 % становить 20 %.

Список використаних джерел

1. Аналіз властивостей робочих рідин гідроприводів колійної техніки залізниць України [Текст] / С. В. Воронін, І. Ю. Сафонюк, Д. В. Онопрейчук [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 165. – С. 90–98.
2. Сафонюк, І. Ю. Вплив вмісту води у гідравлічній оливі на знос деталей тертя засобів транспорту [Текст] / І. Ю. Сафонюк // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 159. – С. 103–108.
3. Хайнике, Г. Трибохимия [Текст] / Г. Хайнике. – М. : Мир 1987. – 584 с.
4. Крагельский, И. В. Трение и износ [Текст] / И. В. Крагельский. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.
5. Огородников, С. В. Справочник нефтехимика [Текст] / под ред. С. К. Огородникова. – Л. : Химия, 1978. – Т. 1. – 496 с.
6. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А. С. Ахматов. – М. : Физматгиз, 1963. – 471 с.
7. Лысиков Е. Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на знос технических систем [Текст] / Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов, С. В. Воронин. – Харьков : ЭДЭНА, 2009. – 273 с.

8. Voronin, S. The influence of external field on the lubricity of mineral oil for railway transport [Text] / Serhii Voronin, Pavlo Konovalov, Ivan Safoniuk, Oleksandr Kebko / MATEC Web of Conferences 2017, Vol. 116, 6 p.

9. Воронін, С. В. Вплив частоти коливань електричного поля на процес коалесценції води в робочій рідині [Текст] / С. В. Воронін, І. Ю. Сафонюк, А. В. Олійник // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 142. – С. 169–173.

10. Voronin, S.V. Effects of electric and magnetic fields on the behavior of oil additives [Text] / S.V. Voronin, A.V. Dunaev / Friction and wear 2015, Vol. 36, No. 1, pp. 41–49.

11. Руднев, В. К. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин [Текст] / В. К. Руднев, Е. С. Венцель, Е. Н. Лысиков. – К., 1993. – 238 с.

12. Киреев, В. А. Курс физической химии [Текст] / В. А. Киреев. – М. : ГОСХИМИЗДАТ, 1955. – 832 с.

13. Чичинадзе А. В. Основы трибологии [Текст] / А. В. Чичинадзе – М. : Машиностроение, 2001. – 664 с.

14. Yanliang Huang. Pure mechanical wear loss measurement in corrosive wear [Text] / Yanliang Huang, Xiaoxia Jiang, Sizuo Li / Bulletin of Materials Science, January 2000, Vol. 23, Issue 6. – P. 539–542.

Воронін Сергій Володимирович, д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту.

Тел. (057) 730-10-66; (095) 500-81-59. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Скорик Олексій Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +380 (057) 730-10-10. E-mail: dek__srt@ukr.net.

Сафонюк Іван Юрійович, асистент кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (096) 851-31-37. E-mail: jonisaf@meta.ua.

Росляков Олексій Васильович, старш. викл. кафедри управління повсякденною діяльністю командно-штабного факультету Національної академії Національної гвардії України. Тел.: (057) 739-26-79.

E-mail: metodistfak1@ukr.net.

Воронин Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Тел. (057) 730-10-66; (095) 500-81-59. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Скорик Алексей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: +380 (057) 730-10-10.

E-mail: dek__srt@ukr.net.

Сафонюк Иван Юрьевич, ассистент кафедры строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (096) 851-31-37.

E-mail: jonisaf@meta.ua.

Росляков Алексей Васильевич, старш. преп. кафедры управления повседневной деятельностью командно-штабного факультета Национальной академии Национальной гвардии Украины. Тел. (057) 739-26-79.

E-mail: metodistfak1@ukr.net.

Sergey Voronin, Doctor of Sciences in Technology, Associate Professor, Head of Department «Construction, track and handling machines», Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-66; (095) 500-81-59.

E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Skoryk Oleksii, Candidate of Technical Sciences, associate professor Department of Track and track facilities Ukrainian State University of Railway Transport Tel.: +380 (057) 730-10-10. E-mail: dek__srt@ukr.net.

Ivan Saphonyuk, assistant, Department of «Construction, track and handling machines», Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (096) 851-31-37. E-mail: jonisaf@meta.ua.

Oleksii Rosliakov, Senior Lecturer at the Department of Management of the day-to-day activities of the Command-Staff Faculty of the National Academy of the National Guard of Ukraine. Tel. (057) 739-26-79.

E-mail: metodistfak1@ukr.net.

Статтю прийнято 7.06.2018 р.