

О.В. Кузишин, Г.О. Сіренко

Нова методика випробувань хімічних модифікацій ріпакової оливи при мащенні твердих тіл на чотирикульовій машині тертя

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна
Тел. (0342) 77.64.15; (096) 813.93.53, e-mail: orijant@gmail.com

Узагальнено методи та критерії оцінок змащувальної здатності мастильних матеріалів на чотирикульовій машині тертя. Досліджено 3 варіанти новітніх методів випробувань на чотирикульовій машині тертя. За новими методами під час випробувань знайдено 2 піки, які віднесені до критичного навантаження різної фізико-хімічної природи – руйнування фізичного адсорбційного шару (1-й пік) та хімічного адсорбційного шару (2-й пік). Виявлено, що позитивне зміщення піків залежить від ступеня оксіетилювання ріпакової олії. Найбільший ефект хімічної модифікації ріпакової олії спостерігається під час сульфурізації 3,5% сірки. При цьому зміщення 1-го піку, порівняно з немодифікованою ріпаковою олією, відбувається на 1069 Н, а другого – на 4063-4802 Н.

Ключові слова: ріпакова олія, тертя, зношування, сульфурізація, оксіетилювання, чотирикульова машина тертя.

Стаття постуила до редакції 09.02.2012; прийнята до друку 15.03.2012.

Вступ

1. Відомі кілька відносно точних методів дослідження протизадирних, протизносних та антифрикційних властивостей твердих тіл під час мащення мінеральними, рослинними, синтетичними оливами або мастильно-охолоджуючими технологічними засобами (МОТС), в основу яких покладено принципи:

- 1) радіоактивних індикаторів [12, 23, 36, 47];
- 2) електродних потенціалів [8];
- 3) точкових контактів під час коливання, обертання (ковзання), кочення чи протягування [1-7, 9-11, 13-22, 24-35, 37-46, 48,49].

Найбільш простим є метод точкових контактів. Звернемося до витоків методів точкових контактів, так як у розвитку цих методів у часі не внесено суттєвих змін.

2. До першого повідомлення про застосування кульок вальниць для створення чотирикульової машини тертя (ЧКМТ) відноситься [27]. Подальший розвиток метод точкових контактів отримав у роботах Г.В. Виноградова, М.Д. Безбородька, Ю.Я. Подольського [1-5, 13-16, 46], І.Е. Виноградової [9, 10], Р.М. Матвеевського [28-31] у 1956-1962 роках.

3. Моделювання умов високонавантажених вузлів тертя легко здійснити на чотирикульовій машині тертя (ЧКМТ) (рис. 1а) з високою надійністю та точністю, так як використання стандартних, нормалізованих, каліброваних кульок вальниць дозволяє просто реалізувати ковзання або кочення під час високих та надвисоких начальних контактних напружень [14].

Відомо значне число конструктивних варіантів ЧКМТ та широкого варіювання параметрів тертя (навантаження, швидкість, температура, газове або рідке середовище, вакуум) [14]. ЧКМТ дозволяє оперувати малими кількостями мастильного матеріалу [14].

Процес ковзання у ЧКМТ характеризується дуже малими об'ємами зносу (позитив!), але це не дає можливості досліджувати продукти зношування (негатив!) [14]. Це можливо, якщо неперервно змінювати зону точкового контакту, що досягається на двокульовій машині тертя (ДКМТ) (рис. 1б).

4. Мірою зносу є діаметр дучки, яка утворюється на долішніх 3-х закріплених притиском кульках під час обертання горішньої кульки, закріпленої у патроні, яка контактує з долішніми кульками. Мірою зносу може служити ширина доріжки зносу на горішній кульці [14]. Ці міри є умовними, так як однакові за діаметром дучки

можуть відповідати відмінним об'ємним зносам [35]. Умови, коли виникає заїдання, можна створювати за рахунок зміни будь-яких параметрів тертя – навантаження [9], температури [9,29], швидкості [16] тощо.

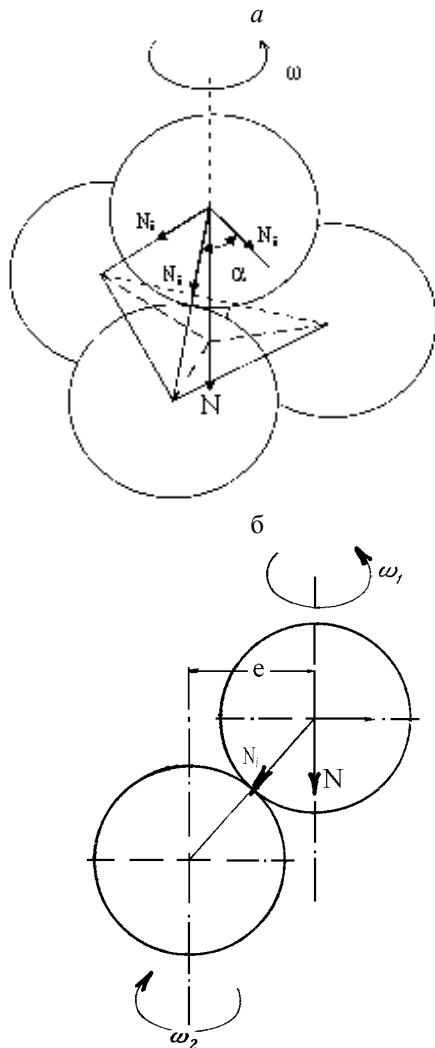


Рис. 1. Схема чотирикульового (а) та двоккульового(б) контактів.

5. Під час дослідження тертя та зношування коченням долішні кульки вільно перекочуються по чашці, внутрішня поверхня якої виконана у формі тора або циліндричного стакана [3,11,17,48]. Тут мірою зношування є масовий знос кульок, з'ява та розвиток піттингу. При коченні кульок по чашці у точках теоретичного контакту проковзування практично відсутнє, виключно можливе лише мале проковзування за рахунок пружних деформацій та зносу кульок [1].

Чотирикульовий вузол тертя може бути виконаний у вигляді плоского контакту торців порожнинних циліндрів [5].

Система навантаження може бути гідравлічна, яка складається з двох плунжерних пар та зразкового поршневого манометра, що знижує втрати на тертя [14]. Дальше зниження втрат на тертя в системі навантаження досягають виконанням її у вигляді важеля з опорою на чотирикульвий шарнір [46]. З

цією ж метою у роботах [20,41] використані зубо-рейкова важельна система навантаження та дворядна самоцентруюча вальниця.

Для реєстрації сил тертя використовують: тензометричні, ємнісні, індукційні, магнітоелектричні, п'єзоелектричні перетворювачі [6].

У табл. 1 приведені технічні характеристики машин тертя.

У ЧКМТ використовують кульки для вальниць діаметрами 9,52; 12,70; 19,05 см [6,14] зі сталі ШХ-15, ШХ-16, ХВГ тощо (HRC 55-65; ∇ 9-∇ 10) [14]. Діапазон параметрів ЧКМТ, у яких проводять випробування становить: число обертів шпінделя $n = 0,0015-30000$ об./хв.; швидкість ковзання $v = 0,1-5$ м/с; нормальне навантаження на 3 кульки $N = 20-10000$ Н, тиск на початку тертя (герцівський контакт) $p = 1000-8000$ МПа; час випробування на одному ступені під час визначення навантаження заїдання $\tau = 5-60$ с та під час дослідження на зношування $\tau = 0,5-36$ год., температура випробувань $T = 293-1073$ К [4, 6, 18, 19, 22, 24-26, 28, 30-34, 38, 43-43, 49]. Порівняння випробувань за ЧКМТ та шестерного стенда ІАЕ показало на високу кореляцію результатів [21].

I. Критерії оцінок змащувальної здатності мастильних матеріалів

Аналіз властивостей мастильного матеріалу під час тертя та зношування **визначають величини таких характеристик** [14, 37]:

1. Протизадирні властивості.

1.1. Критичне навантаження на 1 ($N_{кр,i}$) або 3 кульки ($N_{кр.}$) (розраховують й питоме навантаження) за залежністю діаметра плями зносу d_z від нормального навантаження на 3 кульки N або на 1 кульку N_i , яке передається через шпіндель ЧКМТ [37].

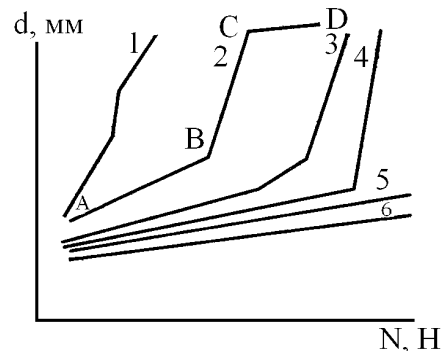


Рис. 2. Типові трибограми $d = f(N)$: 1 – розчини глини; поліорганосилоксанові оливи; 2 – нафта; мінеральні оливи; 3 – мінеральні оливи з присадками; 4 – мінеральні оливи з високоефективними присадками; синтетичні рідини; розчини солей; 5 – мінеральні оливи з високоефективними полімерними присадками; насичені розчини солей; синтетичні рідини з високоефективними присадками; а – лінія діаметрів плями пружної деформації за Герцем

$d_2=f(N)$ [37 та ін.].

Таблиця 1

Технічні характеристики машин тертя [2,4,7,9,10,13-15]

Марка	Тіла тертя	Межа змін параметрів		Максимальна температура, К	Вид тертя	Газове середовище
		навантаження на вісь, Н	швидкість шпінделя, об./хв.			
МТ-2	4 кульки або 2 циліндри	75-5000	50-1200	673	ковзання, кочення	повітря, інші гази
МТ-3	те ж саме	15-3000	1-20000	523	ковзання, кочення	те ж саме
МТ-4	те ж саме	75-5000	50-3000	873	ковзання, кочення	те ж саме, глибокий вакуум
МТ-5	2 кульки	160-3000	1-10	573	ковзання, кочення з коченням	повітря
МТ-6	4 кульки або 2 циліндри	75-5000	0,0015-2000	1073	ковзання, кочення	гази, глибокий вакуум

Типові трибограми $d = f(N)$ або $d_i = f(N_i)$ приведені на рис. 2 [37]. Як видно з рис. 2, криві 1-5 відрізняються кутом нахилу прямої АВ і ВС, довжиною ділянок АВ, ВС, CD, наявністю точок перегину В, С, D тощо.

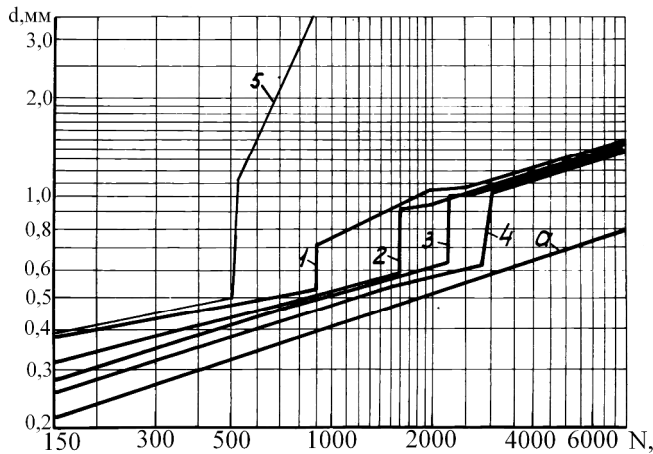


Рис. 3. Залежність діаметра плями зносу кульок зі сталі ШХ-15 (d) від осевого навантаження (N) при машинні індустріальною оливою ІС-20 (5) та одно модульним калієвим рідким склом з кінематичною в'язкістю при 323 К в сСт: 1 – 20; 2 – 60; 3 – 100; 4 – 140; а – лінія пружної деформації за Герцем (ЧКМТ; $\tau = 1$ хв.; $\nu = 0,5723$ м/с).

Органічні та неорганічні рідини можуть різко відрізнятися за критичним навантаженням (рис. 3) [50]: якщо для індустріальної оливи ІС-50 (крива 5) навантаження заїдання дорівнює $N = 500$ Н, то для калієвого рідкого скла з кремнеземним модулем 1 ця величина знаходиться в межах 900-2775 Н і залежить від кінематичної в'язкості розчину скла за 323 К: 900 Н (20 сСт), 1600 Н (60сСт), 2240 Н (100 сСт), 2775 Н (140 сСт). Як видно з рис. 3, результати $d = f(N)$ представляють у двологарифмічних

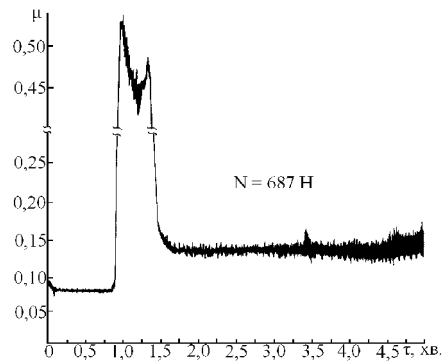


Рис. 4. Трибограма $\mu = f(\tau)$ для авіаційної оливи МС-20 за нормальним навантаженням на 3 кульки $N_{кр.} = 687$ Н.

1.2. За коефіцієнтами тертя до (μ_0), під час (μ_{max}) та після (μ_{τ}) заїдання. Так, для мінеральної оливи характерна трибограма показана на рис. 4: $\mu_0 = 0,08$; μ_{max} (за 55-94 с) = 0,39-0,54; μ ($\tau = 1,5-5$ хв.) = 0,15-0,17.

1.3. За залежностями коефіцієнта тертя від часу випробувань на кожному ступені навантаження.

Результат випробувань на $d = f(N)$ $\mu = f(\tau)$ визначається тим, у який час настає заїдання: на початку, в середині чи у кінці випробувань. (У першому випадку отримуємо істинний результат, у двох останніх випадках на чинник критичного навантаження накладається часово-температурний).

1.4. За нормальним навантаженням зварювання $N_{зв.}$ або $N_{i зв.}$.

1.5. Авторами [50] введено у науковий обіг характеристики навантажувальної здатності мастильних матеріалів за залежностями $p_k = f(p_0)$ під час випробувань $d = f(N)$, де p_k – тиск у кінці тертя випробувань за τ хв. [МПа]; p_0 – тиск під час

навантаження N_0 (до початку випробувань) [МПа].
Характерна залежність $p_k = f(p_0)$ приведена на рис. 5.
 $P_k, \text{МПа}$

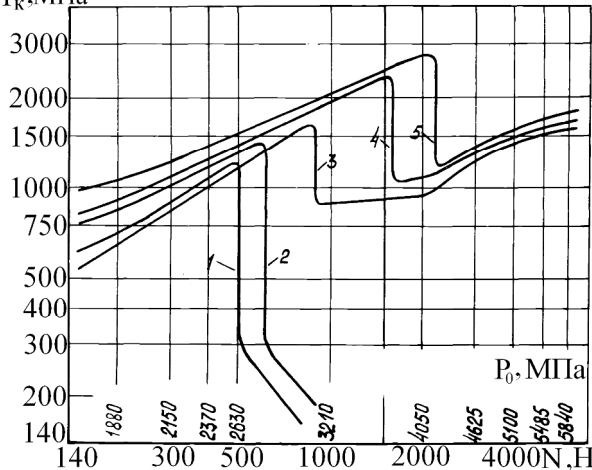


Рис. 5. Залежність кінцевого питомого навантаження (тиску) P_k від навантаження N та початкового питомого навантаження (тиску за Герцем) P_0 при випробуваннях кульок із сталі ШХ-15 на ЧКМТ ($\tau = 1$ хв.) для рідин. 1 – індустріальна олива ІС-20; 2 – авіаційна олива МС-20; 3 – одномодульне калієве рідке скло з в'язкістю 20 сСт (за температури 323 К); 4 – одномодульне калієве рідке скло з в'язкістю 60 сСт (за температури 323 К); 5 – одномодульне калієве рідке скло з в'язкістю 100 сСт (за температури 323 К) (ЧКМТ; $\tau = 1$ хв.; $\nu = 0,5723$ м/с).

На рис. 5 приведена залежність кінцевого тиску від осьового навантаження (початкового тиску в місці контакту) для індустріальної оливи ІС-20 (крива 1), авіаційної оливи МС-20 (крива 2) та одномодульного калієвого рідкого скла з в'язкістю за температури 323К: 20 сСт (крива 3), 60 сСт (крива 4) і 100 сСт (крива 5). Із рис. 5 видно, що мінеральні оливи витримують початковий тиск 2600-2700 МПа, рідке скло 3100 МПа, 3700 МПа і 4200 МПа (для силікатів з в'язкістю за температури 323 К – 20, 60 і 100 сСт відповідно). До критичних умов з підвищенням навантаження питомі тиски збільшуються за однакового закону і для мінеральних олив, і для рідкого скла.

За Лістовим [27] критерій придатності мастильних матеріалів при випробуваннях на ЧКМТ сформульований так: мастило повинне витримувати початковий статичний тиск $P_0 \geq 2000$ МПа, кінцевий тиск (після критичного навантаження) повинен усталитися в межах $P_k \geq 150$ МПа.

З підвищенням в'язкості несуча здатність рідкого скла підвищується і критичне навантаження зміщується в сторону високих тисків.

З підвищенням навантаження до певної величини, яка властива для кожного мастильного матеріалу, відбувається різке зменшення кінцевого тиску. При цьому величина перепаду тиску для мінеральних олив набагато більша (від $P_k = 1200-1400$ МПа до 300-320 МПа; далі до 150-190 МПа), ніж для рідкого скла (від $P_k = 1520-2900$ МПа до 900-1250 МПа; і далі підвищується до 1510-1840 МПа).

Характер зміни значення цього тиску для рідкого скла і мінеральних олив різний. Криві 3, 4, 5 (рис. 5) після критичного навантаження знаходяться у вузькому інтервалі. Це говорить про те, що при терті в присутності рідкого скла після критичних навантажень на поверхні металу утворюється плівка однакової природи.

2. Протизносні властивості.

2.1. За узагальненим показником зношування (УЗП), який визначається за результатами дослідження критичного навантаження за формулою [9, 26, 42]:

$$\text{УЗП} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \left(\frac{N_i d_{i3}}{d_{ir}} \right) + \sum_{v=1}^{n_2} \left(\frac{N_v d_{v3}}{n_2 d_{vr}} \right)}{n_1 + 1},$$

де $\left(\frac{N_i d_{i3}}{d_{ir}} \right)$ – добуток нормального навантаження на j -ступені та, відповідно, відношення діаметра плями зносу d_{i3} до діаметра плями пружної деформації за Герцем d_{ir} ;

$\left(\frac{N_v d_{v3}}{n_2 d_{vr}} \right)$ – середній арифметичний добуток нормального навантаження на v -ступені та, відповідно, діаметра плями зносу d_{v3} до діаметра плями пружної деформації за Герцем d_{vr} під час навантаження вище 3100 Н.

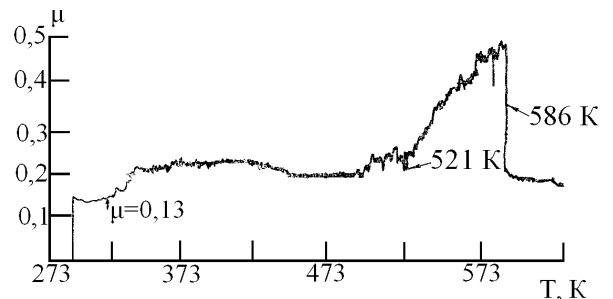


Рис. 6. Термотрибограма, яка отримана під час досліджень перфторполієфіру ПЕФ-240 (осьове навантаження 980 Н, число обертів верхньої кульки 100 об./хв., швидкість підвищення температури – 5-6 К/хв.)

2.2. За діаметром плями зношування під час довготривалого випробування від 0,5 до 36 год. при відносно малих навантаженнях (від $N=20$ до 500 Н) і, відповідно, невисоких температурах (293-393 К).

2.3. За абсолютним показником зношування:

$$\Delta d_i = d_{i3} - d_{i2} \text{ [мм]},$$

чи відносним показником зношування:

$$\delta d_i = \frac{d_{i3} - d_{ir}}{d_{ir}}.$$

3. Термотрибологічні властивості.

3.1. За термотрибограмою залежності $\mu = f(T)$ [13, 29-40] під час навантаження 20-2000 Н при

відносно низьких швидкостях ($n = 20-100$ об./хв.).

Таблиця 2

Результати визначення навантажувальної здатності рідких олій на ЧКМТ за трьома новітніми методами випробування

№ п/п	Рідина (мастило)	Метод 1			Метод 2			Метод 3		
		$\bar{N}_{21},$ Н	S, Н	$\gamma, \%$	$\bar{N}_{12},$ Н	S, Н	$\gamma, \%$	$\bar{N}_{23},$ Н	S, Н	$\gamma, \%$
1	Нафтенова олива Vitorex-334	1412	122,4	8,67	767	62,3	8,13	1843	166,2	9,02
2	Ріпакова олія	1338	102,4	7,66	711	90,5	12,73	1447	118,9	8,22
3	Ріпакова олія оксіетильована (6 моль оксіетилену на 1 моль олії) [Ріпокс-6]	1591	81,1	5,09	952	24,7	2,59	1673	96,8	5,79
4	Ріпакова олія оксіетильована (12 моль оксіетилену на 1 моль олії) [Ріпокс-12]	1762	72,9	4,14	978	37,5	3,84	1847	86,1	4,66
5	Ріпакова олія оксіетильована (20 моль оксіетилену на 1 моль олії) [Ріпокс-20]	1892	62,5	3,30	1042	106,1	10,19	1968	76,4	3,88
6	Ріпакова олія оксіетильована етилендіаміном [катіонний жир]	2479	135,8	5,49	799	122,9	15,39	2360	254	10,76
7	Ріпакова олія оксіетильована та гідрована [Жиринокс-С]	1912	102,0	5,34	1128	165,8	14,71	2002	353	17,65
8	Ріпакова олія сульфурیزована (3,5% сульфуру)	6140	369	6,0	1780	132,8	7,46	5510	630	11,43

У табл. 2: N_{ij} – середнє арифметичне і-піка, j-методики; S – середнє квадратичне відхилення [Н]; γ – коефіцієнт варіації [%]

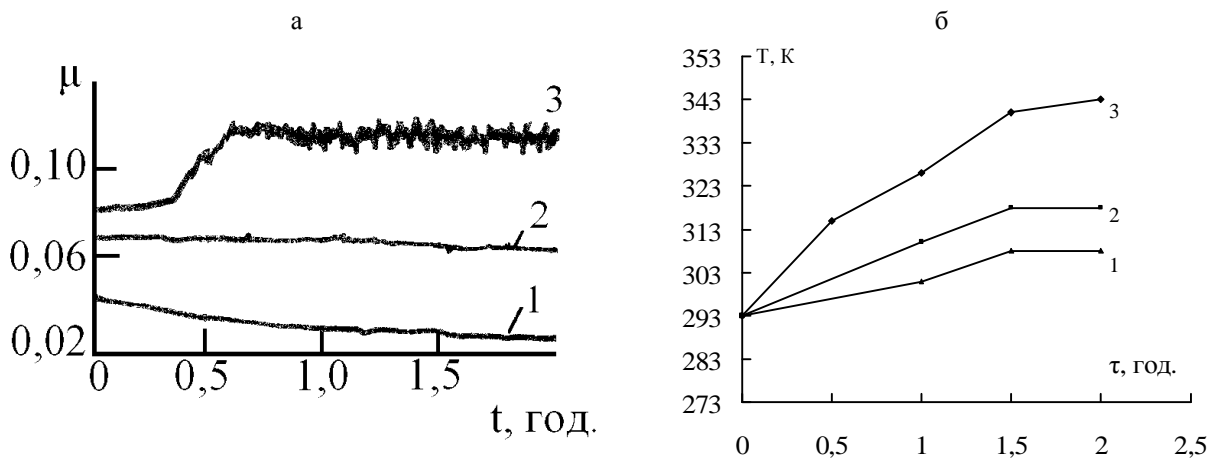


Рис. 7. Залежність коефіцієнта тертя (а) та температури (б) від часу випробувань: рідкого скла (1), ріцинової олії (2), мінеральної оливи МС-20 (3) при осьовому навантаженні 30 Н (вибрані мастильні рідини з в'язкістю одного порядку, але різним ступенем полярності).

Характерна термотрибограма перфторполієфіру ПЕФ-240 показані на рис. 6.

3.2. За залежностями $\mu = f(\tau, T)$. Характерні криві таких випробувань для рідкого скла (1),

ріцинової кислоти (2), авіаційної оливи МС-20(3) показані на рис. 7.

II. Експериментальна частина

Навантажувальну здатність мастил визначали на ЧКМТ (кульки зі сталі ШХ-15, діаметром 12,7 мм) за 3 новітніми методами випробування: за допомогою тензометричної системи та тензодавача на ленті потенціометра фіксували критичні навантаження N_{1j} та N_{2j} , де перша цифра індекса (1 або 2) – номер піку, а друга цифра індексу $j=1-3$ – номер методу. Перший пік відносили до процесу порушення мастильної здатності плівки на поверхні металу, а другий пік – до процесу заїдання (схоплення окремих ділянок мікронерівностей – локальні мікрозварювання), а саме:

1. При $N_0 = 200$ Н кульки припрацьовували 5 хв. Далі навантаження підвищували повільним додаванням кульок зі сталі ШХ-15 діаметром 12,7 мм (маса 1 кульки $8,33 \pm 0,02$ г) у стакан важеля протягом ($5 \pm 0,25$) хв. За другим піком фіксували критичне навантаження заїдання N_{21} [Н], зважуючи стакан з кульками після зупинки машини.

2. Починаючи з навантаження на 3 кульки $N_0 = 200$ Н швидким додаванням кульок у стакан важеля за (40 ± 5) с досягали першого піку критичного навантаження N_{12} (зупиняли машину і зважували стакан з кульками).

3. За методом 2 визначали критичне навантаження N_{13} . Для цього зупиняли ЧКМТ без розбору вузла тертя і зняття навантаження на важіль $N_0 = 200$ Н. Зважуючи стакан з кульками, тобто визначивши навантаження на вісь ЧКМТ, знову повертали вагу на машину і приводили її до руху. Швидким збільшенням навантаження, додаючи кульки у стакан важеля за ($2 \pm 0,15$) хв., визначали другий пік навантаження заїдання N_{23} : після зупинки машини зважували стакан з кульками.

Проводили 5 рівноточних дослідів та розраховували числові статистичні характеристики.

III. Результати та обговорення

Результати статистичної обробки визначення навантажувальної здатності нафтової оливи Vitogex-334, ріпакової олії та її хімічних модифікацій на ЧКМТ за 3-ма новітніми методами випробувань мастил зведені в табл. 2. Як видно з табл. 2, методи випробувань значно впливають на результати визначеної навантажувальної здатності мастил.

Як видно з табл. 2, немодифікована ріпакова олія певною мірою уступає за навантажувальною здатністю нафтовій оливі, але її оксіетилювання в межах 6-20 моль оксіетилену на 1 моль олії (ріпокс-6, ріпокс-12, ріпокс-20 (утворюється суміш естерів-гліцеридів, складних полігліколевих етерів)), оксіетилювання з гідруванням (жиринокс-С (утворюються насичені кислоти, гліцериди)) або її сульфурізація 1,5-20% S приводить до значного підвищення навантажувальної здатності ріпакової олії, при цьому із зростанням кількості моль

оксіетилену навантажувальна здатність зростає. Оксіетилювання з гідруванням приводить до певного зростання навантажувальної здатності ріпакової олії, а оксіетилювання етилендіаміном приводить до значного зростання критичних навантажень (утворення амідів жирних кислот), при цьому $\Delta \bar{N}_{21}$ зростає в 1,31-1,56 рази, $\Delta \bar{N}_{23}$ – у 1,20-1,41 раз порівняно з немодифікованою олією.

Сульфурізація ріпакової олії в межах 1,5-20% S приводить до зростання навантажувальної здатності, наприклад при вмісті сірки 3,5%: \bar{N}_{12} зростає з 711 Н до 1780 Н, \bar{N}_{21} – з 1338 Н до 6140 Н, \bar{N}_{23} – з 1447 Н до 5510 Н.

Висновки

1. Узагальнені методи та критерії оцінок змашувальної здатності мастильних матеріалів на чотирикульовій машині тертя.

2. Досліджено 3 варіанти новітніх методів випробувань на чотирикульовій машині тертя.

3. На прикладі нафтової оливи, ріпакової олії та її хімічних модифікацій показано, що за визначенням 1-го піку критичного навантаження коефіцієнт варіації результатів коливається в межах 2,59-15,39 % за 2-м методом випробувань; 2-го піка навантаження заїдання – 3,30-8,67 % за 1-м методом випробувань та 2-го піка навантаження заїдання – 3,88-17,65 % за 3-м методом випробувань.

4. Ступінь оксіетилювання ріпакової олії приводить до позитивного зміщення першого піка критичного навантаження, виявленого за 2-м методом випробувань, на 241 Н (6 моль оксіетилену на 1 моль олії), 267 Н (12 моль), 331 Н (20 моль); оксіетилювання з гідруванням – на 417 Н, а оксіетилювання етилендіаміном – лише на 88 Н.

5. Ступінь оксіетилювання ріпакової олії приводить до позитивного зміщення другого піка навантаження заїдання, виявленого за 1-м методом випробувань, на 253 Н (6 моль оксіетилену на 1 моль олії), 324 Н (12 моль), 554 Н (20 моль); оксіетилювання з гідруванням – на 574 Н, а оксіетилювання етилендіаміном – на 1141 Н.

6. Ступінь оксіетилювання ріпакової олії приводить до позитивного зміщення другого піка навантаження заїдання, виявленого за 3-м методом випробувань, на 226 Н (6 моль оксіетилену на 1 моль олії), 400 Н (12 моль), 521 Н (20 моль); оксіетилювання з гідруванням – на 555 Н, а оксіетилювання етилендіаміном – на 913 Н.

7. Найбільший ефект хімічної модифікації ріпакової олії спостерігається під час сульфурізації 3,5% S: позитивне зміщення 1-го піка критичного навантаження виявлено за другим методом випробувань, на 1069 Н; 2-го піка навантаження заїдання виявлено за 1-м методом випробувань, на 4802 Н та 4063 Н виявлено за 3-м методом випробувань.

Кузишин О.В. – викладач кафедри неорганічної та фізичної хімії;
Сіренко Г.О. – доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри неорганічної та фізичної хімії.

- [1] М.Д. Безбородько, Г.В. Виноградов, Г.С. Кривошеин, Лян Голинь, Ю.Я. Подольский. Исследование противоизносных свойств смазочных материалов при трении качения // *Сб. «Трение и износ в машинах»*, Вып. 15. Изд-во АН СССР, Москва. (1961).
- [2] М.Д. Безбородько, Г.В. Виноградов, Ю.Я. Подольский, Л.И. Шабаров. Четырехшариковые машины трения и их модифицирование для изучения антифрикционных свойств и износостойкости пластмасс // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, сс. 81-88 (1962).
- [3] М.Д. Безбородько, Г.С. Кривошеин. Влияние некоторых присадок к маслам на питтингообразование // *Химия и технология топлив и масел*, № 11 (1959).
- [4] М.Д. Безбородько, Н.Т. Павловская, Г.В. Виноградов. Машина трения для испытания смазочной способности нефтепродуктов // *Заводская лаборатория*, (10), (1958).
- [5] М.Д. Безбородько, Л.И. Шабаров, Ю.Я. Подольский, Г.В. Виноградов. Прибор для исследования износостойкости и антифрикционных свойств пластмасс // *Заводская лаборатория*, (№1) (1961).
- [6] Брейтуэйт Е.Р. *Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия* / Пер. с англ. С.Д. Ключнева. Химия, Москва, 320 с (1967). (Раздел: Машины трения для исследования противоизносных и антифрикционных свойств смазочных материалов: с.35-58.)
- [7] В.В. Вайншток, Н.С. Смирнова, Р.А. Левенто, М.С. Гусарева и др. О противоизносных и противозадирных свойствах литиевых смазок // *Химия и технология топлив и масел*. № 3, С.36-39– (1975).
- [8] И.В. Васильев. Испытание материалов на изнашивание при трении в водных растворах электролитов // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 205-211 (1962).
- [9] И.Э. Виноградова, Е.А. Алексеева, С.С. Кулагина. Методы температурной оценки противозадирных свойств масел с химически активными присадками // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 164-175 (1962).
- [10] И.Э. Виноградова. Исследование процесса заедания трущихся поверхностей // *Труды ЦНИИТМАШ*. – Кн. 30. – Машгиз (Москва), (1949).
- [11] Г.В. Виноградов, В.А. Вишняков. Абразивный износ при трении качения // *Известия АН СССР, ОТН, механика и машиностроение*. № 3 (1960).
- [12] Г.В. Виноградов. Исследование по методу радиоактивных индикаторов механизма действия тиофосфорорганических присадок к маслам // *Химия и технология топлив и масел*. №6 (1956).
- [13] Г.В. Виноградов, Н.Т. Павловская, М.Д. Безбородько, А.А. Константинов, В.И. Драндин. Четырехшариковые машины трения для исследования противоизносных и антифрикционных свойств смазочных материалов при высоких температурах // *Сб. «Приборы для исследования физико-механических свойств и структуры металлов и материалов»*, 6 (30), ЦИТЭИН, Москва, (1960).
- [14] Г.В. Виноградов, Ю.Я. Подольский, М.Д. Безбородько. Использование машин с точечным контактом тел трения для оценки износа металлов, противоизносных и антифрикционных свойств смазочных материалов // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 152-163 (1962).
- [15] Г.В. Виноградов, Ю.Я. Подольский. Высокоскоростная машина для исследования смазок и пластмасс // *Сб. «Приборы для исследования физико-механических свойств и структуры металлов и материалов»*. ЦИТЭИН, Москва, Вып. 8 (30) (1960).
- [16] Г.В. Виноградов, Ю.Я. Подольский, Е.С. Шепелева. Исследование присадок к нефтяным маслам против заедания стали // *Известия ВУЗов: нефть и газ*. №4 (1961).
- [17] В.А. Вишняков, Г.В. Виноградов, В.П. Павлов. О влиянии смазочных материалов на износ подшипников качения // *Химия и технология топлив и масел*. 4 (1958).
- [18] ГОСТ 9490-60. Методика оценки противозадирных свойств масел на четырехшариковой машине.
- [19] ГОСТ 9450-75. Метод определения смазывающих свойств масел на четырехшариковой машине трения.
- [20] Р.В. Гриневиц, В.В. Цасюк, А.С. Смирнов. Специализированные машины трения // *Применение полимерных материалов*. Картя Молдовеняскэ, Кишинев, СС. 33-36 (1975).
- [21] П.П. Заскалько, В.И. Некрасов, А.С. Терехов. Взаимозависимость показателей противозадирных свойств масел при оценке на четырехшариковой машине трения и шестереночном стенде IAE // *Химия и технология топлив и масел*. 4, С. 40-44 (1978).
- [22] П.П. Заскалько, П.А. Парфенова, А.А. Марков, В.А. Леснинова, П.С. Белов. Амидотиофосфаты – эффективные противоизносные присадки к смазочным маслам // *Химия и технология топлив и масел*. (1), С. 45-52 (1976).
- [23] Ю.С. Заславский, Г.И. Шор, А.Н. Пасешниченко, Ф.Б. Лебедева. Радиоиндикаторные методы исследования противоизносных свойств смазочных масел // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 182-191 (1962).
- [24] И.В. Крагельский, Г.Е. Чупилко, А.В. Чичинадзе. *Процессы трения в тормозах авиаколес. Прибор фрикционных пар*. Изд-во АН СССР, Москва (1959).

- [25] Г.С. Кривошеин. Об оценке влияния смазки на усталостное выкрышивание стали // *Заводская лаборатория*. 3 (1960).
- [26] Р.В. Кугель. Испытание материалов на абразивное изнашивание в вибрационной установке // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 32-56 (1962).
- [27] Листов В.А. Выступление // *Сб. «Труды II Всесоюзной конференции по трению и износу в машинах»*. Т. V. Машиностроение, Москва (1952).
- [28] Р.М. Матвеевский. Исследование трения пластмасс по стали без смазки и в присутствии смазки // *Вестник машиностроения*, (6), (1960).
- [29] Р.М. Матвеевский, О.В. Лазовская. К методике определения критической температуры слоя смазки при трении стали по пластичным материалам на машине КТ-2 // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 176-181 (1962).
- [30] Р.М. Матвеевский. *Температурный метод оценки предельной смазочной способности машинных масел*. Изд-во АН СССР, Москва (1956).
- [31] Р.М. Матвеевский. Четырехшариковая машина КТ-2 для определения критических температур пленки масла на металле // *Сб. «Передовой научно-технический и производственный опыт»*, Изд-во ВИНТИ, Москва. (32), (1957).
- [32] Метод ASTM D 2266-64Т.
- [33] П.А. Михайлов, Ю.В. Дупленко, П.Н. Малышев. Об антифрикционных свойствах капрона // *Пластические массы*. 4 (1960).
- [34] Дж.И. Монтальбано. Пластмассовые шариковые и роликовые подшипники // *Машиностроение за рубежом*. 5 (1959).
- [35] О.Е. Морозов. Противоизносные действия сероорганических соединений как присадок к смазочным маслам // *Труды III Всесоюз. конф. по трению и износу в машинах*. Т. 3. Изд-во АН СССР, Москва (1960).
- [36] Нисневич А.И., Величкин И.Н. Радиоактивный метод оценки износа при стендовых и эксплуатационных испытаниях тракторных двигателей // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 192-196 (1962).
- [37] В.Ф. Пичугин, Е.В. Ковалева. Методика оценки смазочной способности среды на четырехшариковой машине трения // *Заводская лаборатория*. 10, с. 1222-1224 (1978).
- [38] Г.А. Прейс, П.Ф. Павлик. Исследование износостойкости капрона // *Вестник машиностроения*. 2 (1960).
- [39] Ю.А. Розенберг, Ю.В. Джапани. Оценка влияния масел на истирание смазываемых поверхностей путем испытаний на четырехшариковой машине // *Химия и технология топлив и масел*. 4, С. 47-50 (1947).
- [40] В.И. Синченко, Л.Н. Круковский, В.П. Темненко, В.А. Остапенко. Оценка смазывающих свойств СОЖ по температурному критерию // *Химия и технология топлив и масел*. 8, С. 45-46 (1977).
- [41] Сиренко Г.А., Смирнов А.С. Критерии оценки смазочной способности масел на четырехшариковой машине трения // *Сб. «Вопросы теории трения, износа и смазки»*. Т. 215. РИО Новочерк. политех. ин-та, Новочеркасск, С. 38-42 (1969).
- [42] Г.В. Сыров, М.И. Смертенко, П.Е. Недбайлюк. Исследование связи обобщенного показателя износа (ОПИ) с характером кривых износ-нагрузка // *Химия и технология топлив и масел*. 11, С. 34-36 (1974).
- [43] А.Н. Тынный. *О влиянии сульфидирования на износостойкость стали и чугуна*. Изд-во АН УССР, Львів (1958).
- [44] М.М. Хрущов, Р.М. Матвеевский. Новый вид испытаний смазочных масел // *Вестник машиностроения*. 1 (1954).
- [45] М.М. Хрущов. *Новые приборы для изучения износа материалов и деталей машин*. Изд-во АН СССР, Москва (1957).
- [46] И.Г. Цуркан, Г.В. Виноградов. Новая четырехшариковая машина для оценки противоизносных свойств смазочных масел // *Заводская лаборатория*, (9), (1959).
- [47] А.Х. Элиава. Методы и установки для изучения изнашивания деталей машин с использованием радиоактивных индикаторов // *Сб. «Методы испытания на изнашивание»*. Изд-во АН СССР, Москва, С. 197-204 (1962).
- [48] F.T. Barwell, D. Scott. Effect lubricant on pitting failure of ball bearings: Experimental results for various fluids // *Engineering*. – 1956. – Vol. 182, № 4713.
- [49] Hughes J.R. The Shell four-ball. F.P. Lubricant tesyer. Methods of use and precision in the determination of the E.P. properties of lubricants // *Conference on lubrication and wear, Inst. Mech. Eng., London*, (1957).
- [50] Г.О. Сиренко, О.В. Кузишин, М.М. Добровольська. Антифрикційні властивості мастильних плівок, утворених із водних розчинів під час тертя та зношування сталі в точковому контакті // *Фізика і змія твердого тіла*. 11 (2), С. 469-483 (2010).

O.V. Kuzyshyn, H.O. Sirenko

New Procedure of the Investigation of Chemically Modified Rape Oil in Lubrication of Solid States on the Four-Ball Friction Machine

*Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University,
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine
Tel. (0342) 77.64.15; (096) 813.93.53, e-mail: orijant@gmail.com*

Methods and criterions of estimation of lubricating capacity of lubricants on the four-ball friction machine have been generalized. The three variants of newest methods of investigation on the four-ball friction machine have been studied. Using the newest methods, were found 2 peaks which relate to critical loading of different character – destruction of physical adsorptive layer (first peak) and chemical adsorptive layer (second peak). It has been determined that positive displacement of peaks depends on the modulus of oxyethylation of rape oil. The maximum effect occur under the sulfurization when using 3,5% S. The displacement of first peak in comparison with unmodified rape oil proceeds on 1069 N and of second – 4063-4802 N.

Key words: rape oil, friction, wear, sulfurization, oxyethylation, four-ball friction machine.