

^{1,2}Ю. Л. Іщук, д-р техн. наук, проф.,
¹О. О. Міщук, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.,
²О. О. Македонський, канд. техн. наук,
²О. В. Шапошник,
¹А. В. Богайчук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ АНТИФРИКЦІЙНИХ МАСТИЛ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МЕТОДАМИ ASTM

¹ Український науково-дослідний інститут
нафтопереробної промисловості «МАСМА», м. Київ
² ВАТ «АЗМОЛ», м. Бердянськ

В роботі систематизовано методи ASTM щодо визначення антифрикційних, протизношувальних та протизадиркових характеристик мастил та досліджено властивості низки мастил різного призначення з використанням стандартизованих пристроїв тертя.

Вступ. Строго кажучи, поняття змащувальної здатності найбільше стосується антифрикційних характеристик мастильного матеріалу, тобто його здатності зменшувати силу тертя. На сьогодні, однак, незважаючи на широке застосування терміна «антифрикційні мастила» [1; 2], в Україні не існує нормативної документації, що регламентувала б визначення їх антифрикційних властивостей. За кордоном подібні нормативи вже введено, хоча й відносно недавно [3; 4]. Натомість в країнах СНД для характеристики мастил традиційно використовують ГОСТ 9490 [5]. Стандарт умовно поєднує поняття змащувальних властивостей мастильних матеріалів з протизношувальними та протизадирковими властивостями пари тертя. Згідно з цим методом про змащувальну здатність мастильного матеріалу судять не за його конкретними характеристиками, а опосередковано – за величиною діаметра сліду зношування сталевих куль.

У світовій практиці подібний підхід ліг в основу багатьох інших стандартів із застосуванням різноманітних кінематичних схем тертя. Таким чином, виникли поняття протизношувальних [4; 6], протизадиркових [7–9] та загалом трибологічних [5] характери-

стик мастильного матеріалу. Кожен із стандартів діє змогу, по суті, створювати рейтинги мастильних матеріалів за визначеними характеристиками та виявляти найефективніші матеріали. Проте спільні риси та відмінності між рейтингами, складеними згідно з різними стандартами, особливо для таких складних продуктів нафтохімічного синтезу як антифрикційні мастила, до цього часу не досліджено. Як наслідок, часто виникають суперечності у визначенні сфери застосування мастил різними методами.

Отже, комплексне дослідження антифрикційних, протизношувальних та протизадиркових характеристик мастильного матеріалу для прогнозування його змащувальної ефективності та оптимальних сфер застосування стає вимогою часу. Ретельний аналіз світового досвіду створить підґрунтя для розроблення нової уніфікованої системи національних стандартів на методи випробовування мастильних матеріалів.

Мета роботи. Метою роботи було дослідження антифрикційних, протизношувальних та протизадиркових характеристик низки вискоефективних мастил різного цільового призначення, створення й аналіз рейтингів цих мастил за характеристиками, регламентованими пакетом нормативної документації, складеним із нормативів ASTM таким чином, аби максимально охопити сучасні вимоги безпосередньо до антифрикційних мастил.

Об'єкти та методи досліджень. В роботі досліджено модельні зразки низки мастил товарної марки «АЗМОЛ» (виробництва ВАТ «АЗМОЛ»). Їх перелік наведено у табл. 1.

До вказаного в меті роботи пакета нормативної документації на випробування мастил нами було залучено всі широкоживані нормативи ASTM, що стосуються використання трьох кінематичних схем тертя: чотирикулькової (точковий контакт), Тімкена (лінійний контакт), зворотно-поступального руху. Задля комплексної оцінки ефективності мастил в умовах граничного тертя металів трибологічні характеристики мастил систематизовано за їх типом: антифрикційні, протизношувальні, протизадиркові.

Чотирикулькова схема тертя. Для мастил використовують три стандарти, що охоплюють весь комплекс трибологічних характеристик [3; 6; 7].

**Перелік, ключові ознаки та сфера застосування мастил,
досліджених методами ASTM**

Марка мастила (нормативна документація на виготовлення)	Ключові ознаки	
	Дисперсна фаза	Додатки* та наповнювачі
<u>Мастила різноцільового призначення</u>		
АЗМОЛ Фіол-2 (ТУ У 23.2-00152365-174-2003)	12-гідрокси- стеарат літію	АО
АЗМОЛ Ліка-2 (ТУ У 23.2-00152365-105-2002)	Комплексне Лі- мило	АО+AW+EP
АЗМОЛ Ліка-П2 (ТУ У 23.2-00152365-105-2002)	Комплексне Лі- мило	Посилений па- кет (AW+EP)
<u>Індустріальні мастила</u>		
АЗМОЛ ЛС-1П (ТУ У 23.2-00152365-179-2003)	12-гідрокси- стеарат літію	AW+EP
ЛС-2П (Специфікація ВАТ “АЗМОЛ”)	12-гідрокси- стеарат літію	AW+EP
Уніол-2М/2 (ТУ 38.5901243-92)	Комплексне Са-мило ЖК	АО+EP
<u>Автомобільні мастила</u>		
АЗМОЛ Шрус-4 (ТУ У 23.2-00152365-182-2003)	12-гідрокси- стеарат літію	АО+AW+EP; MoS ₂ ; фтороп- ласт

* Додатки: АО – антиокиснювальна; AW – протизношувальна; EP – протизадиркова.

Антифрикційні характеристики. Визначали згідно з ASTM D 5183 [3] на чотирикульковому пристрої тертя Falex Four-Ball Wear Test Machine за таких параметрів:

- частота обертів – 600 хв⁻¹;
- навантаження – ступінчасте збільшення без зупинки обертів у діапазоні 98–392 Н (10–40 кГс) з кроком 98 Н (10 кГс) та витримуванням упродовж 10 хв. на кожному кроці до моменту ре-страції схоплення в контактній зоні тертя;
- температура випробування – 75 °С;

Антифрикційні характеристики: Coefficient of Friction f_{4Bs} – значення коефіцієнта тертя після 10 хв. припрацювання для кожного ступеня навантаження.

Особливість методу: пару тертя попередньо припрацьовують у октадекані до утворення сліду зношування діаметром $0,67 \pm 0,03$ мм (умови припрацювання – 75 °С; 392 Н; 600 хв⁻¹; 1 год.):

Протизношувальні характеристики. Досліджували згідно з ASTM D 2266 [6] на чотирикульковому пристрої тертя Falex Four-Ball Wear Test Machine за таких параметрів:

- частота обертів – 1200 хв⁻¹;
- навантаження – 392 Н (40 кГс);
- температура випробування – 75 °С;
- тривалість випробування – 1 год.

Протизношувальні характеристики: Scar Diameter D_{4B_s} в мм – усереднене значення діаметра сліду зношування сталевих куль.

У порівнянні з ГОСТ 9490 – умови випробувань жорсткіші.

Протизадирні характеристики. Досліджували згідно з ASTM D 2596 [7] на чотирикульковому пристрої тертя Falex Four-Ball (EP) Test Machine за таких параметрів:

- частота обертів – 1770 хв⁻¹;
- навантаження – ступінчасте збільшення згідно з ASTM.

Протизадиркові характеристики:

- Weld Point (Weld Load), *W.P.*, в Н – навантаження зварювання чотирикулькової пари тертя;
- Load Wear Index, *LWI*, в Н – умовне навантаження, що є аналогом індексу задирки в ГОСТ 9490, але розраховується інакше;
- Last non-Seizure Point, *L.n-S.P.*, в Н – необов’язковий для визначення критерій, який є повним аналогом критичного навантаження в ГОСТ 9490.

Порівняно з ГОСТ 9490 – умови випробувань жорсткіші.

Протизношувальні та протизадиркові характеристики мастил оцінено також згідно з ГОСТ 9490 [5] на пристрої тертя ЧШМ-К1.

Схема Тімкена (лінійний герцевський контакт пари тертя).

Протизадирні та, як додаткова можливість, протизношувальні властивості мастил за схемою Тімкена “блок–кільце” згідно з ASTM D 2509 [8] досліджували на модифікованому пристрої тертя Falex-1 (Faville LeValle Corp.) за таких параметрів:

- частота обертів – 800 хв⁻¹.
- навантаження – змінюється ступінчастим збільшенням навантажувальної маси з кроком 30 фунтів (до 300 фунтів) та 50 фун-

тів (у діапазоні мас від 300 фунтів та вище) до моменту реєстрації скорингу (див. особливості методу) або схоплення в контактній зоні тертя;

- тривалість випробування мастила на кожному ступені навантаження – 10 хв.

Протизношувальні характеристики: Z , в мм – ширина лінійної смуги зношування поверхні блоку пари «блок-кільце» на кожному ступені навантаження. Необов'язковий критерій, що характеризує протизношувальні властивості мастила для схеми з лінійним герцевським контактом.

Протизадиркові характеристики:

- $OK\ Value$, OK , у фунтах або кГ – максимальна маса навантажувальної гирі, за якої ще не відбувається скорингу пари тертя блок-кільце;

- $Load-Carrying\ Capacity$, $L.-C.C.$, у фунтах або кГ – необов'язковий критерій, що дорівнює максимальній масі навантажувальної гирі, за якої ще не відбувається інтенсивного схоплювання (задирки) пари тертя. Маса гирі завбільшки $L.-C.C.$ створює критичне навантаження, що є своєрідним аналогом критичного навантаження в ГОСТ 9490.

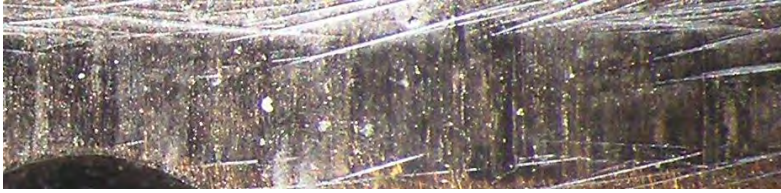
Особливості методу Тімкена:

- за протизадиркову характеристику вважається не реальне критичне навантаження на пару тертя, а маса гирі, яка створює це навантаження за допомогою важеля зі співвідношенням плечей 1:10;

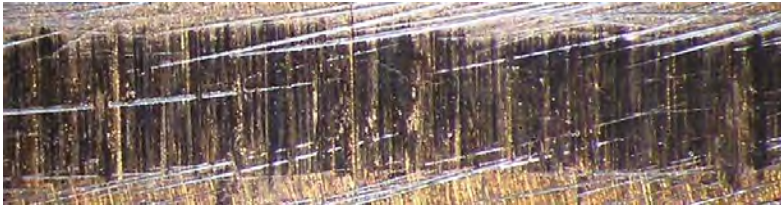
- у методі реалізується велика порівняно з іншими стандартами на випробування мастил лінійна швидкість ковзання – 2,1 м/с (діаметр кільця – 50 мм);

- вводиться нове поняття «скоринг поверхні тертя» – тонкі прорізи на поверхні тертя блоку, що виступають гострими кроями за середню межу його сліду зношування.

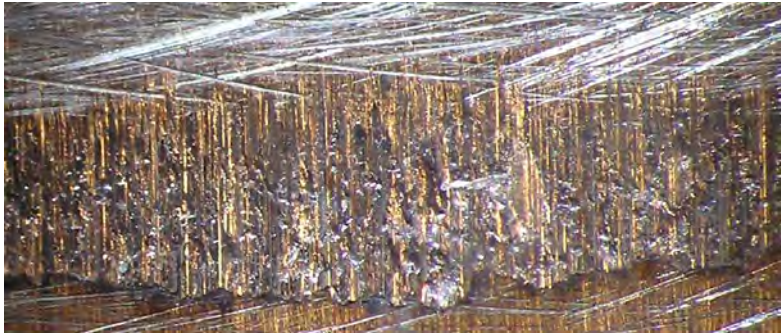
Величина OK є загалом меншою за величину $L.-C.C.$ На відміну від останньої величина OK зумовлена не схоплюванням пари тертя, а неоднорідним механохімічним зношуванням поверхонь тертя [10]. Відзначену особливість ілюструють результати наших досліджень, представлені на рис. 1.



a



б



в

Рис. 1. Смуги тертя на поверхні сталевих блоків: *a*) поверхня тертя за навантаження, що відповідає величині *OK*, риси скорингу можна вважати не характерними (не чіткими); *б*) поверхня тертя пошкоджена скорингом без слідів явного схоплення; навантаження менше за критичне; *в*) поверхня тертя зі слідами скорингу (у верхній частині) та схоплення (знизу) водночас; навантаження вище за критичне, але все ще менше за навантаження зварювання пари тертя

Схема зворотно-поступального руху.

Антифрикційні та протизношувальні характеристики мастил за схемою «куля-площина» згідно з ASTM D 5707 [4] досліджували на пристрої тертя Optimol SRV за таких параметрів:

- матеріал пари – сталь, HRC 62;
- частота коливань кулі – 50 Гц;
- амплітуда коливань кулі – 1 мм;

- навантаження – 200 Н;
- температура випробування – 50 °С;
- тривалість випробування – 2 год.

Антифрикційні характеристики: f_{\min} / f_{\max} ; f_{15} ; f_{30} ; f_{90} – мінімальне та максимальне значення коефіцієнта тертя впродовж всього терміну випробувань, а також значення коефіцієнта тертя, що реєструють на 15, 30 та 90 хв. тертя відповідно.

Протизношувальна характеристика: Wear Scar Diameter, W_k , в мм – середнє значення діаметра сліду зношування кулі.

Протизадиркові характеристики мастил за схемою «куля-площина» згідно з ASTM D 5706 [9] досліджували також на пристрої тертя Optinol SRV за вищезазначених умов за винятком:

- навантаження – ступінчасте збільшення в діапазоні 100-1200 Н з кроком 100 Н та витримуванням 2 хв. на кожному кроці;
- стабілізації температури випробування.

Протизадиркова характеристика: Highest Non-Seizure Load, $H.NS.L.$, в Н – величина найвищого ступеня навантаження, за якого не реєструється схоплення в контактній зоні тертя.

Структура поверхонь тертя. Трибологічні характеристики мастил уточнювали за характером зміни властивостей поверхонь тертя з використанням Оже-спектрального мікроскопа JEOL JAMP-10S та металографічного мікроскопа Неофот-221.

Результати досліджень та їх обговорення. Результати дослідження антифрикційних характеристик мастил (табл. 2 і рис. 2) засвідчили їх суттєво різну змащувальну здатність. Підсумуємо це у вигляді рейтингу антифрикційної ефективності мастил:

$$\begin{aligned} \text{Ліка-П2} > \text{Уніол-2М/2} > \text{ЛС-2П} \approx \text{Ліка-2} > \\ \text{Фіол-2} > \text{ЛС-1П} > \text{Шрус-4}. \end{aligned} \quad (1)$$

Аналіз результатів дослідження протизношувальних характеристик мастил (табл. 3 і рис. 3) виявив існування різних рядів протизношувальної ефективності мастил для точкового та лінійного типу герцевського контакту пари тертя. Так, за даними табл. 3 зазначимо такий рейтинг протизношувальної ефективності:

$$\begin{aligned} \text{Шрус-4} \geq \text{Ліка-П2} \approx \text{Уніол-2М/2} > \text{Ліка-2} > \\ \text{ЛС-2П} \approx \text{ЛС-1П} > \text{Фіол-2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Антифрикційні характеристики мастил

Ч.ч.	Марка мастила	ASTM D 5183				ASTM D 5707			
		f_{4Bs}				f_{\min}/f_{\max}	f_{15}	f_{30}	f_{90}
		98 Н	196 Н	294 Н	392 Н				
1	АЗМОЛ ЛС-1П	0,054	0,054	0,048	0,042	—	—	—	—
2	ЛС-2П	0,035	0,040	0,041	0,044	—	—	—	—
3	АЗМОЛ Фіол-2	0,053	0,041	0,038	0,040	—	—	—	—
4	АЗМОЛ Шрус-4	0,055	0,058	0,056	0,054	0,143/ 0,199	—	—	—
5	АЗМОЛ Ліка-2	0,048	0,041	0,041	0,044	0,126/ 0,155	—	—	—
6	АЗМОЛ Ліка-П2	0,029	0,040	0,038	0,032	—	—	—	—
7	Уніол-2М/2	0,046	0,041	0,037	0,038	0,070/ 0,087	—	—	—

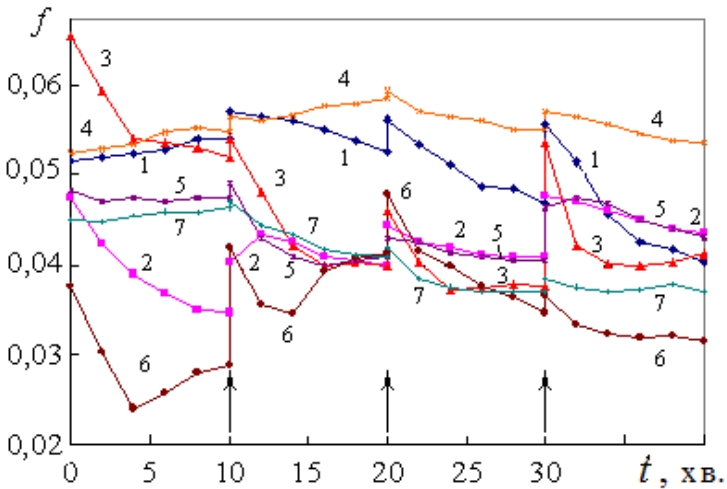


Рис. 2. Зміни коефіцієнта тертя (f) чотирикулькової пари тертя з часом випробування (t) для різних мастил: 1 – АЗМОЛ ЛС-1П; 2 – ЛС-2П; 3 – АЗМОЛ Фіол-2; 4 – АЗМОЛ Шрус-4; 5 – АЗМОЛ Ліка-2; 6 – АЗМОЛ Ліка-П2; 7 – Уніол-2М/2. Стрілками знизу вказано моменти підвищення навантаження згідно з ASTM D 5183

Таблиця 3

Протизношувальні характеристики мастил для кінематичних схем: чотирикулькової та зворотно-поступального руху

Ч.ч.	Марка мастила	ASTM D 2266	ГОСТ 9490		ASTM D 5707
		D_{4Bs} , мм	D_3 , мм		W_K , мм
			196 Н	392 Н	
1	АЗМОЛ ЛС-1П	0,54	0,55	0,64	–
2	ЛС-2П	0,54	0,50	0,67	–
3	АЗМОЛ Фіол-2	0,64	0,66	0,71	–
4	АЗМОЛ Шрус-4	0,48	0,35	0,40	0,42
5	АЗМОЛ Ліка-2	0,51	0,38	0,57	0,40
6	АЗМОЛ Ліка-П2	0,46	0,37	0,52	–
7	Уніол-2М/2	0,47	0,38	0,52	0,40

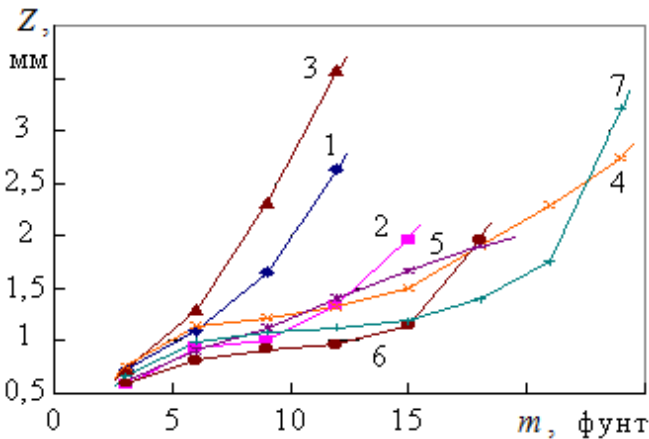


Рис. 3. Залежність ширини (Z) смуги зношування блоку в парі тертя “блок-кільце” від маси навантажувальної гирі (m) в методі Тімкена для мастил: 1 – АЗМОЛ ЛС-1П; 2 – ЛС-2П; 3 – АЗМОЛ Фіол-2; 4 – АЗМОЛ Шрус-4; 5 – АЗМОЛ Ліка-2; 6 – АЗМОЛ Ліка-П2; 7 – Уніол-2М/2

За величиною Z (рис. 3) рейтинг протизношувальної ефективності мастил змінюється:

$$\begin{aligned} \text{Ліка-П2} > \text{Уніол-2М/2} > \text{ЛС-2П} > \text{Ліка-2} > \\ & \text{Шрус-4} > \text{ЛС-1П} > \text{Фіол-2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Цікаво зазначити, що рейтинг (3) протизношувальної ефективності мастил для лінійного герцевського контакту є доволі подібним до рейтингу (1) їх антифрикційної ефективності, визначеної для умов точкового контакту (чотирикулькової схеми тертя).

Результати дослідження протизадиркових характеристик мастил проілюстровано в таблицях 4 і 5. За критичними навантаженнями для умов точкового контакту (характеристики $L_n-S.P.$ та P_k) спостерігаємо такий рейтинг протизадиркової ефективності мастил:

$$\begin{aligned} \text{Шрус-4} \geq \text{Ліка-П2} \approx \text{Ліка-2} \geq \text{ЛС-1П} > \\ & \text{Уніол-2М/2} \geq \text{ЛС-2П} > \text{Фіол-2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Рейтинги протизадиркової ефективності мастил для пари тертя з лінійним герцевським контактом (табл. 5) інші. За величиною OK :

$$\begin{aligned} \text{Уніол-2М/2} \approx \text{Ліка-П2} \approx \text{Ліка-2} > \text{ЛС-2П} \approx \\ & \text{Шрус-4} > \text{Фіол-2} \approx \text{ЛС-1П}. \end{aligned} \quad (5)$$

За величиною $L-C.C.$ рейтинг протизадиркової ефективності мастил, за винятком мастила Шрус-4, подібний до рейтингу (5):

$$\begin{aligned} \text{Уніол-2М/2} > \text{Ліка-П2} \approx \text{Шрус-4} > \text{Ліка-2} > \\ & \text{ЛС-2П} > \text{Фіол-2} \approx \text{ЛС-1П}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для навантажень зварювання чотирикулькової пари тертя (характеристики $W.P.$ та P_3):

$$\begin{aligned} \text{Шрус-4} > \text{ЛС-2П} \geq \text{Ліка-П2} > \text{Ліка-2} \approx \text{ЛС-1П} \approx \\ & \text{Уніол-2М/2} > \text{Фіол-2}. \end{aligned} \quad (7)$$

В цілому рейтинги протизадиркової ефективності мастил для пар з точковим герцевським контактом за різними характеристиками збігаються (див. (4) та (7)). Винятком, однак, є мастило ЛС-2П, що має відносно низькі критичні навантаження.

Таблиця 4

Протизадиркові характеристики мастил для кінематичних схем: чотирикулькової та зворотно-поступального руху

Ч. ч.	Марка мастила	ASTM D 2596-97			ГОСТ 9490-75			ASTM D 5706
		<i>LWI</i> , Н	<i>L.n-S.P.</i> , Н	<i>W.P.</i> , Н	<i>I₃</i> , Н	<i>P_K</i> , Н	<i>P₃</i> , Н	<i>H.NS.L.</i> , Н
1	АЗМОЛ ЛС-1П	464	980	2450	473	1040	2760	–
2	ЛС-2П	503	784	3090	527	872	3680	–
3	АЗМОЛ Фіол-2	251	490	1230	261	588	1380	–
4	АЗМОЛ Шрус-4	>1210	980	>7840	924	1230	9800	500
5	АЗМОЛ Ліка-2	453	980	2450	484	1100	2760	400
6	АЗМОЛ Ліка-П2	478	980	3090	490	1100	3280	–
7	Уніол-2М/2	497	784	2450	449	980	2610	600

Таблиця 5

Протизадиркові характеристики мастил, визначені за методом Тімкена (ASTM D 2509)

Ч.ч.	Мастило	OK		L.-C.C.	
		фунт	кГ	фунт	кГ
1	АЗМОЛ ЛС-1П	3	1,37	6	2,74
2	ЛС-2П	6	2,74	9	4,11
3	АЗМОЛ Фіол-2	3	1,37	6	2,74
4	АЗМОЛ Шрус-4	6	2,74	15	6,86
5	АЗМОЛ Ліка-2	9	4,11	12	5,48
6	АЗМОЛ Ліка-П2	9	4,11	15	6,86
7	Уніол-2М/2	9	4,11	18	8,23

Порівняння рейтингів (4) та (7) протизадиркової ефективності мастил з рейтингом (2) протизношувальної ефективності виявляє ще один виняток – мастило Уніол-2М/2, яке має найкращі протизношувальні характеристики та водночас відносно слабкі протизадиркові. Аналіз рейтингів (2) та (1) протизношувальної та антифрикційної ефективності мастил свідчить, якщо відкинути як виня-

ток мастило Шрус-4, про їх подібність. Рейтинг (1) антифрикційної ефективності мастил виявляє доволі слабкі антифрикційні властивості мастила Шрус-4. Це за тих обставин, що мастило має найкращі протизадиркові і гарні протизношувальні властивості.

Висновки:

В роботі систематизовано методи ASTM, що стосуються визначення змащувальної здатності антифрикційних мастил. Згідно з цими стандартами досліджено широке коло трибологічних характеристик низки мастил різного призначення. Дослідження проведено з використанням пристроїв тертя іноземного виробництва для різних кінематичних схем та навантажувально-швидкісних умов.

Побудовано рейтинги змащувальної ефективності мастил за результатами досліджень різних типів трибологічних характеристик: антифрикційних, протизношувальних, протизадиркових. Виявлено наявність різних рейтингів змащувальної ефективності досліджених мастил для зазначених типів характеристик. Аналіз позицій мастил у рейтингах надає нову інформацію щодо їх експлуатаційних властивостей.

Найстабільнішими за їх позицією в рейтингах виявляють себе мастила різноцільового призначення: серед найкращих за різними трибологічними характеристиками – мастила Ліка-2 та Ліка-П2, серед найгірших – мастило Фіол-2.

Рейтинги індустриальних мастил ЛС-1П, ЛС-2П, Уніол-2М/2 різним чином суттєво змінюються залежно від типу досліджуваних трибологічних характеристик та кінематичної схеми тертя (точковий або лінійний контакт). Наприклад, протизадирні властивості мастила Уніол-2М/2 значно кращі для умов лінійного контакту пари тертя (метод Тімкена), ніж для точкового (чотирикулькова схема тощо).

Автомобільне мастило Шрус-4 займає провідні позиції практично за всіма дослідженими в роботі трибологічними показниками (протизадирковими та протизношувальними для різних кінематичних схем), окрім антифрикційних. На противагу мастилу Уніол-2М/2 мастило Шрус-4 проявляє себе значно краще в умовах точкового контакту порівняно з лінійним.

Досліджені в роботі трибологічні характеристики сприяють, часом несподіваним чином, прогнозуванню ефективності мастил.

Наприклад, простежується добра кореляція між протизношувальною характеристикою мастил для пари тертя з лінійним контактом та їх антифрикційними властивостями, визначеними для точкового контакту чотирикулькової схеми. Ця кореляція краща ніж кореляція між протизношувальними характеристиками мастил для кінематичних схем з лінійним і точковим контактами.

Список літератури

1. *Синицын В.В.* Подбор и применение пластичных смазок. – Москва: Химия, 1974. – 416 с.
2. *Ицук Ю. Л.* Состав, структура и свойства пластичных смазок. – К.: Наук. думка, 1996. – 516 с.
3. *ASTM D 5183-95 (Reapproved 1999).* Standard test method for determination of the coefficient of friction of lubricants using the Four-Ball Wear test machine.
4. *ASTM D 5707-98.* Standard test method for measuring friction and wear properties of lubricating grease using a high-frequency, liner-oscillation (SRV) test machine.
5. *ГОСТ 9490-75.* Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине.
6. *ASTM D 2266-01.* Standard test method for wear preventive characteristics of lubricating grease (Four-Ball method).
7. *ASTM D 2596-97 (Reapproved 2002).* Standard test method for measurement of Extreme-Pressure properties of lubrication grease (Four-Ball method).
8. *ASTM D 2509-93 (Reapproved 1998).* Standard test method for measurement of load-carrying capacity of lubricating grease (Timken Method).
9. *ASTM D 5706-97.* Standard test method for determining Extreme Pressure properties of lubricating greases using a high-frequency, liner-oscillation (SRV) test machine.
10. *Мицук О.А., Кожмяченко В.Н., Годун Б.А.* Исследование механизмов окисления и науглероживания стальных поверхностей при скоринге //Трение и износ. – 1994. – Т. 15, № 1. – С. 49–56.

Стаття надійшла до редакції 05.04.09.