

**Диха О.В.,**  
**Гедзюк Т.В.**  
 Хмельницький національний університет,  
 м. Хмельницький, Україна  
 E-mail: tribosenator@gmail.com

**РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ  
 МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ  
 І МОДИФІКАЦІЇ МОТОРНОЇ ОЛИВИ НА  
 ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ**

УДК 621.891

Представлені результати розрахунково-експериментального моделювання впливу температури моторної оливи та введення присадкового матеріалу на зносостійкість сталевих зразків. Дослідження проводились для схеми трибологічних випробувань «конус-три кульки». Запропонована двофакторна модель інтенсивності зношування у вигляді безрозмірних комплексів контактного тиску і температури. Результати моделювання представлені на прикладі.

**Ключові слова:** модель зношування, температура моторної оливи, присадки, контактний тиск.

**Вступ та постановка завдання**

Для випробувань в трибології широко застосовується схема чотирикулькової піраміди [1]. За цією схемою три кульки встановлюють жорстко (без обертання) у нижньому корпусі, а четверту розміщують зверху на перші три, навантажують і обертають. При цьому випробується, як правило, мастильний матеріал. За критерій температурної стійкості випробовуваних при терті масел прийнята критична температура руйнування граничних змащувальних шарів. Ця температура визначається по різкому зростанню коефіцієнта тертя. Вказана схема має обмеження щодо випробувань конструкційних матеріалів, оскільки кульки приймаються стандартними з шарикопідшипникової сталі. Виготовлення кулькових зразків для випробувань матеріалів практично недоцільне і складно реалізуєме. В даній роботі для випробувань різних конструкційних матеріалів використовується схема випробувань «конус - три кульки» [2 - 3], яка дає можливість застосовувати в якості досліджуваних кінцеві зразки з різних матеріалів. При цьому в процесі випробувань змінюється контактний тиск внаслідок зміни площадки контакту, що дає можливість за результатами випробувань одного зразка мати результати для діапазону тиску. Метою роботи є розрахунково-експериментальні дослідження впливу факторів тиску і температури на процес зношування.

**Теорія випробувань за моделлю "тиск - температура"**

Для оцінки зношування досліджуваного кінцевого зразка за схемою конус-три кульки приймемо модель у вигляді залежності інтенсивності зношування від безрозмірних параметрів контактного тиску і температури у вигляді:

$$\frac{du_w}{dS} = fK_w \left( \frac{\sigma}{HB} \right)^m \left( \frac{T}{T^*} \right)^p, \quad (1)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя;

$\sigma$  – тиск у контакті, МПа;

$HB$  – твердість за Брінелем, МПа;

$u_w$  – лінійне зношування конусної поверхні, м;

$S$  – шлях тертя для конуса, м;

$K_w, m, p$  – параметри закономірності зношування;

$T, T^*$  – відповідно температура випробувань і базова температура, К.

Приймемо форму зношеної поверхні у вигляді колового жолоба з радіусом профілю  $\bar{a}$ . Припустимо що контактний тиск під жорсткою кулькою по зношеній поверхні жолоба конуса розподілений рівномірно. Тоді спараведливо співвідношення:

$$\sigma = \frac{Q_1}{\pi \bar{a}^2}, \quad (2)$$

де  $Q_1$  – сила, що діє по нормалі до кожної нижньої кульки;

$\bar{a}$  – радіус колової площадки контакту спряжених кульок і конуса.

Сила  $Q_1$  у відповідності до (2) виражається через загальну силу  $Q$ , що діє на верхню конус:

$$Q_1 = \frac{Q}{3 \cos \alpha}.$$

Зв'язок максимального зносу  $u_w$  і розміру площадки контакту  $\bar{a}$  центрі площадки визначається:

$$u_w(S) = \frac{a(S)^2}{2R^*}, \quad (3)$$

де  $R^* = \frac{Rr}{R+r}$  – приведений радіус в контакті конуса і кульки.

Експериментальна залежність радіусу колового жолобу зносу конуса від шляху тертя представляється у вигляді степеневі апроксимації:

$$\bar{a}(S) = cS^\beta, \quad (4)$$

де  $c, \beta$  – параметри апроксимації, які визначаються за наслідками випробувань.

Інтегруючи вираз (1), отримаємо інтегральну форму моделі зношування конуса:

$$u_w(S) = fK_w \int_0^S \left( \frac{\sigma(S)}{HB} \right)^m \left( \frac{T}{T^*} \right)^p dS. \quad (5)$$

Далі, підставляючи в ліву частину рівняння вираз для зносу через радіус площадки контакту, а в праву – вираз для контактної тиску, після перетворень отримаємо:

$$\frac{c^2 S^{2\beta}}{2R^*} = fK_w \left( \frac{Q_1}{c^2 \pi HB} \right)^m \left( \frac{T}{T^*} \right)^p \frac{S^{1-2\beta m}}{1-2\beta m}. \quad (6)$$

З умови виконуваності даного рівняння слідує:

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta}. \quad (7)$$

Для знаходження параметра  $p$  проводимо випробування при двох значеннях температури  $T_1$  і  $T_2$ . Тоді на основі (6) отримаємо систему з двох рівнянь. Розділивши перше рівняння на друге, після перетворень отримаємо:

$$p = (2m+2) \frac{\lg(c_1/c_2)}{\lg(T_1/T_2)}. \quad (8)$$

Для знаходження коефіцієнта  $K_w$  скористаємось одним з вище вказаних рівнянь:

$$K_w = \frac{\beta c_1^{2m+2}}{fR^*} \left( \frac{3\pi HB \cos \alpha}{Q} \right)^m \left( \frac{T^*}{T} \right)^p. \quad (9)$$

### Обладнання, технологія і методика випробувань

Випробування залежності зношування конічних зразків від температури моторної оливи проводили на експериментальній установці за відомою схемою тертя «конус – три кульки» [2 - 3]. Конічна поверхня зразка 1 притискалась до кульок 2 силою  $Q = 100$  Н і зразок обертався частотою  $n = 500$  об/хв. (рис. 1). Швидкість ковзання поверхонь тертя кульок і зразка становила 0,19 м/с. Тертя відбувалося у ванні моторної оливи 4. Нагрівання оливи до заданої температури здійснювали спеціально виготовленим нагрівачем 5 з вмонтованим термоелектричним елементом Т 220 – 0.6/13 ELECTRON, встановленим і теплоізолюванім асбестовою набивкою в закритому сталевому кожусі, який одівався на

корпус 6 вузла тертя. Температуру моторної оливи вимірювали датчиком з хромель-алюмелієвою термопарою 2.

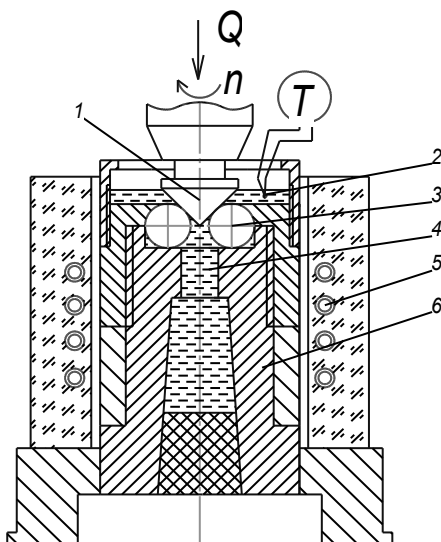


Рис. 1 – Пристрій нагрівання моторної оливи

Встановлення сталого температурного режиму тертя здійснювали розробленим блоком управління нагрівачем, який містить трансформатор типу ЛАТР 220 В 2 А (рис. 2), за допомогою до клем термоелектричного елемента (ТЕН) подавалася напруга 40, 50 і 60 В, що після прогрівання протягом 2-х годин забезпечувало сталу температуру моторної оливи 54, 73 і 96 °С.

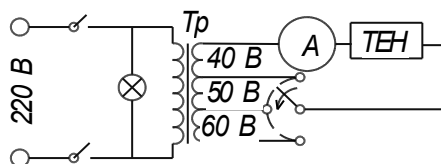


Рис. 2 – Електрична схема блоку управління нагрівачем

Випробували знос зразків зі сталі 45, загартованих до твердості 40HRC за умови тертя в моторній оливі Magnum 15W-40 без присадки (досліди А) і з присадкою до оливи (досліди Б), яка містила олеїнову кислоту, гліцерин, мідний пудру і мідний купорос відповідно 65, 13, 20 і 2 об. %. Досліди А і Б проводили за нормальної температури (24 °С) оливи і нагрітої до 54 °С і 96 °С. Тривалість безперервного тертя за кожним режимом складала 30 хв, після чого слід зношування поверхні зразка у формі сегментної канавки шириною  $2a$  (мм) вимірювали мікроскопом МБС – 10 з точністю 0,05 мм. Випробування кожного зразка проводилось протягом 3-х годин, що відповідало шляху тертя 2052 м.

Результати випробувань наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Розміри сліду зношування  $2a$  (мм) кінцевих зразків зі сталі 45 при змащуванні моторною оливою Magnum 15W – 40 без присадки (досліди А) і з присадкою (досліди Б)**

$S, \text{ м}$	$T = 24 \text{ }^\circ\text{C}$		$T = 54 \text{ }^\circ\text{C}$	
	Досліди А	Досліди Б	Досліди А	Досліди Б
342	0,30	0,15	0,95	0,50
684	0,65	0,25	1,25	0,60
1026	0,90	0,35	1,40	0,70
1368	1,20	0,50	1,40	0,80
1710	1,30	0,55	1,40	0,80
2052	1,30	0,55	1,40	0,80

**Обробка результатів випробувань**

За отриманим експериментальними даними були побудовані графіки залежності розмірів площадки зношування від шляху тертя, показані на рис. 3.

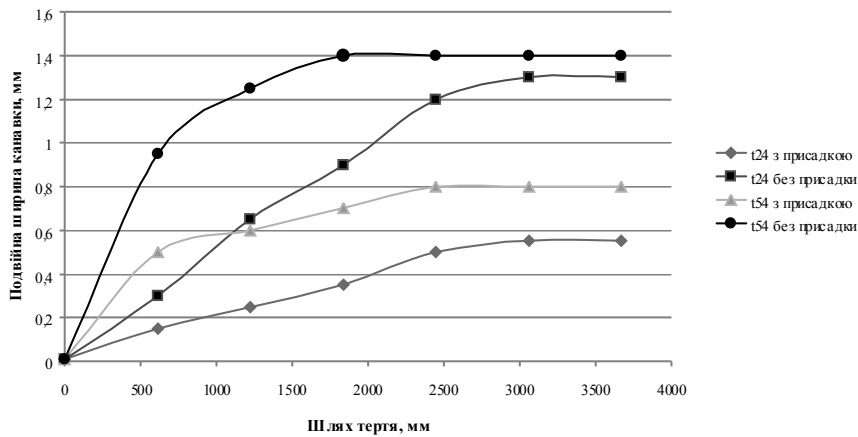


Рис. 3 – Результати Пристрій нагрівання моторної оливи

Далі за допомогою програми Ехсел були визначені параметри степеневі апроксимації (4), показані в таблиці 1.

Таблиця 1

**Параметри степеневі апроксимації (4)**

Параметри степеневі апроксимації (4)		$c$	$\beta$
Без присадки	24 °C	0,0514	0,374
	54 °C	0,064	0,398
З присадкою	24 °C	0,037	0,0303
	54 °C	0,0503	0,348

Залежності інтенсивності зношування від контактної тиску і температури оливи, побудовані за моделлю (1), представлені на рис. 4.

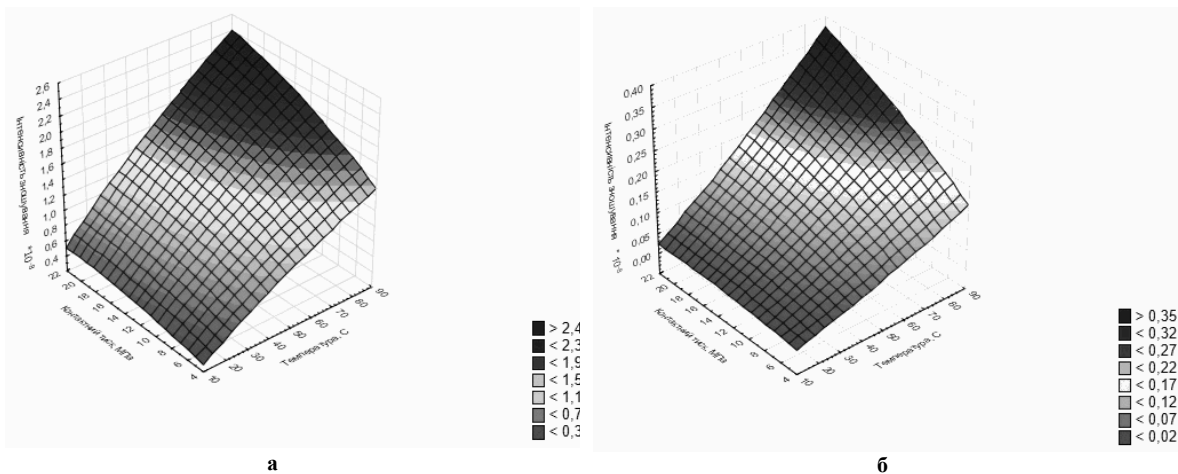


Рис. 4 – Залежності інтенсивності зношування від контактної тиску і температури оливи:  
а – без присадки;  
б – з присадкою

За залежностями (7 - 9) за допомогою програми MathCad розраховувались параметри зносостійкості  $m$ ,  $p$ ,  $K_w$  моделі зношування (1) при наступних вихідних даних: матеріал кінцевого зразка

Сталь 45, *HB45*; зовнішнє навантаження  $Q = 60$  Н; базова температура  $T^* = 20$  °С; кут конусу зразка  $110^0$ , коефіцієнт тертя  $f = 0,01$ . Для досліджуваної оливи (без додавання присадки і без неї) параметри зносостійкості моделі зношування наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Параметри зносостійкості моделі зношування (1)**

Параметри зносостійкості	$m$	$P$	$K_w$
Без присадки	0,2957	0,7255	0,01
З присадкою	0,5359	1,1632	0,0009552

Результати розрахунково-експериментальних досліджень вказують на збільшення інтенсивності зношування. Разом з цим введення присадки до моторної оливи значно зменшує інтенсивність зношування досліджуваних зразків.

### Висновки

1. Запропонована теорія методу випробувань на знос за схемою «конус-три кульки» для двофакторної безрозмірної моделі зношування «тиск-температура» з визначенням параметрів зносостійкості.
2. Розроблена конструкція пристрою для випробувань на знос конічних зразків в моторній оливі з підігрівом оливи в діапазоні температур 20 - 100 °С та електронний блок керування нагрівачем.
3. На базі запропонованої моделі зносостійкості встановлений вплив факторів навантаження та температури на інтенсивність зношування сталевих зразків.

### Література

1. ГОСТ 9490–75. Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических свойств на четырехшариковой машине. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
2. Dykha O.V. Rated and experimental modeling of tribological properties of constructional and lubricating materials / O.V.Dykha, T.V. Gedzuk // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2014. – № 1. – С. 84-87.
3. Диха О. В., Результати випробувань на знос конічних зразків зі сталі 45 в моторній оливі / О. В. Диха., В. П. Вельбой, Т. В. Гедзюк // Проблеми трибології. – 2014. - №2. – С. 111 - 115.

Поступила в редакцію 15.06.2015

**Dykha O.V., Gedzuk T.V. Calculation-experimental design of influence of temperature modifications of motor oil on wearproofness of steel standards.**

Presented results calculation-experimental design of influence of temperature of motor oil and introduction of additive on wearproofness of steel standards. Researches were conducted for the chart of tribo of logical tests of «konus-three marbles». The twofactor model of intensity of wear as dimensionless complexes of contact pressure and temperature is offered. Design results are presented on an example.

**Keywords:** model of wear, temperature of motor oil, additive, contact pressure.

**References**

1. GOST 9490–75. Materialy smazochnye zhidkie i plastichnye. Metod opredeleniya tribologi-cheskih svoystv na chetyrehsharikovoj mashine. M. Izd-vo standartov, 1980.
2. Dykha O.V., Gedzuk T.V. Rated and experimental modeling of tribological properties of constructional and lubri-cating materials, Problemi tribologii (Problems of Tribology). 2014. No 1. Pp. 84-87.
3. Dykha O.V., Vel'boj V.P., Gedzjuk T.V. Rezul'tati viprobuvan' na znos konichnih zrazkiv zi stali 45 v motornij oliv i, Problemi tribologii, 2014, No 2, pp. 111 – 115.