

**Диха О.В.,  
Вичавка А.А.,  
Вельбой В.П.**

Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна  
E-mail: tribosenator@gmail.com

## МОДЕЛІ ЗНОШУВАННЯ НАПРЯМНИХ КОВЗАННЯ З МАСЛОУТРИМУВАЛЬНИМИ ПРОФІЛЯМИ ЗМІННОЇ ГЛИБИНИ

УДК 621.891

Проведений розрахунок площ контакту і контактних тисків для напрямних ковзання з мастильними канавками змінної глибини круглого і трикутного профілю з урахуванням кінетики зношування. Запропонований розв'язок прямих зносоконтактних задач для плоских напрямних ковзання з маслоутримувальними канавками змінної глибини. За базову модель зношування прийнята лінійна залежність від безрозмірних комплексів контактного тиску і швидкості ковзання. Отримані формули для розрахунку зносу напрямних ковзання в залежності від шляху тертя та наведені приклади розрахунку зносу напрямних.

**Ключові слова:** напрямна ковзання, маслоутримувальні канавки, контактний тиск, розрахунок зносу, круглий і трикутний профіль

### Вступ

Для підвищення довговічності деталей машин при терті і зношуванні на їх поверхню додатково наносять різні маслоутримувальні мікро- і макрорельєфи. Чим надійніше утримується мастильний матеріал між контактуючими деталями, тим менше вони зношуються. Профіль поверхні відіграє тут головну роль. Створені при обробці канавки на поверхні виконують функцію резервуарів для утримання і розподілу масла. За допомогою теоретичних досліджень, лабораторних і експлуатаційних випробувань визначається який тип, форма і глибина профілю є найприйнятнішими. В практиці широко використовують масляні канавки різної форми і напрямку на поверхнях напрямних верстатів. Поздовжні або поперечні канавки мають, як правило, однаковий перетин по глибині канавки на всій довжині. Особливістю таких канавок є незмінність несучої здатності по всій довжині і можливість витікання масла через бічні грані для напрямних з різних матеріалів [4].

Для плоских напрямних поверхонь нами [1] запропонований профіль маслоутримувальних канавок із змінною глибиною від максимальної в центрі несучої поверхні до нуля на границі поверхні тертя. Встановлено, що такий профіль має оптимальну маслосучу здатність і мінімальні витікання мастильного матеріалу. Метою даної роботи є розрахунок зносоконтактних параметрів та моделювання зносу напрямних ковзання з маслоутримувальними канавками змінної глибини круглого і трикутного профілю.

### Геометричні параметри напрямної ковзання з канавками змінної глибини круглого профілю

Ефективний маслоутримувальний макропрофіль на плоскій поверхні тертя отримують шляхом формування канавок змінних розмірів пластичною деформацією за допомогою індентора у вигляді сталевої кульки радіусом  $r$  (рис. 1) або конуса з кутом при вершині  $2\alpha$  (рис. 3), закріплених в пристрої обертального руху. Таким чином формують канавки замкнутого профілю глибина  $h$ , ширина  $a$  і довжина  $l$  яких визначаються кінематикою руху індентора та жорсткістю пристрою [2]. Канавки розташовані перпендикулярно напрямку руху спарених деталей на відстані  $S$  одна відносно іншої.

Ширина  $2a$  і довжина  $l$  канавки, формованої кульковим індентором, визначається за формулами [2, с.194-195]:

$$a = \sqrt{2rh_0}; \quad l = 2\sqrt{2Rh_0}.$$

З урахуванням зносу контактної поверхні  $u_w$  (рис.1,  $a$ ) геометричні параметри і площа  $A_k$  [1, с.197] канавки відповідно зменшується:

$$a_w = \sqrt{2r(h_0 - u_w)}; \quad l_w = 2\sqrt{2R(h_0 - u_w)}; \quad (1)$$

$$A_k(u_w) = 4R\sqrt{\frac{r}{R}} \left[ \sqrt{u_w(h_0 - u_w)} + h_0 \arcsin \sqrt{1 - \frac{u_w}{h_0}} \right]. \quad (2)$$

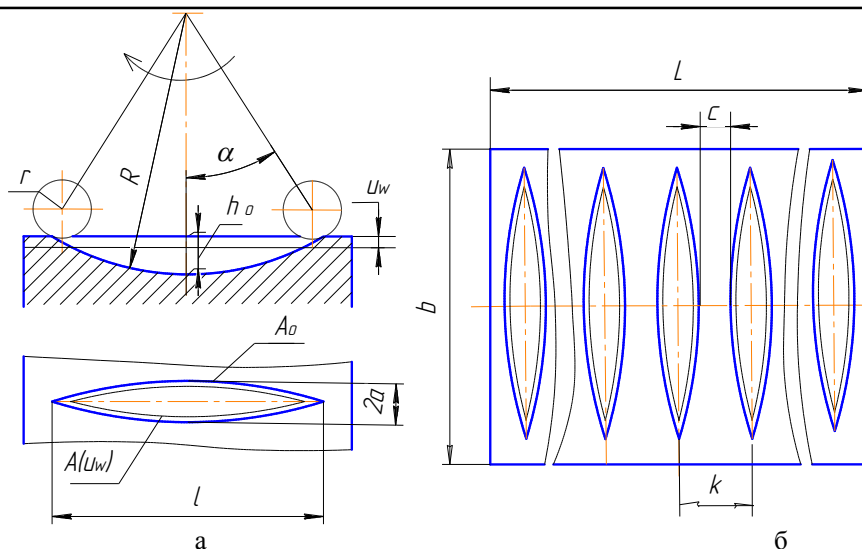


Рис.1 – Форма і граничні розміри канавок (а) та мікропрофіль поверхні (б), утвореної кульковим індентором

Якщо канавки рівновіддалені одна від іншої на відстані  $k$  (рис. 1, б), то кількість канавок маслоутримувального профілю  $n = L/k$ , де  $k = b + c$ ,  $c = 3 \dots 5$  мм. Кількість канавок округлюють до меншого цілого числа.

Реальна площа контакту  $A_r$  маслоутримувального макропрофілю в процесі зношування збільшується, а контактний тиск відповідно зменшується до номінального значення.

При зносі  $u_w$  проміжна площа контакту:

$$A_r = L \cdot b - n \cdot A(u_w) = L \cdot b - 4nR \sqrt{\frac{r}{R}} \left[ \sqrt{u_w(h_0 - u_w)} + h_0 \arcsin \sqrt{1 - \frac{u_w}{h_0}} \right], \quad (3)$$

а при  $u_w = h_0$  площа контакту збільшується до номінального значення  $A_n = L \cdot b$ .

За умови рівномірного розподілу тиску  $\sigma_p$  при дії сили  $Q$  в межах номінальної площі контакту діє найменший тиск:

$$\sigma_0 = \frac{Q}{A_0} = \frac{Q}{L \cdot b}.$$

З урахуванням реальної площі контакту маслоутримувального макропрофілю в процесі зносу контактний тиск збільшується:

$$\sigma_r = \frac{Q}{A_r} = \sigma_0 - \frac{Q}{n \cdot A(u_w)}. \quad (4)$$

Наведемо розрахунок геометричних параметрів маслоутримувального профілю на плоскій поверхні; розміри  $b = 50$  мм;  $L = 120$  мм, отриманого за таких умов: глибина канавки профілю  $h_0 = 0,5$  мм; довжина канавки профілю  $l = 40$  мм; крок формування канавок  $k = 6$  мм; радіус індентора  $r = 1,5$  мм; навантаження  $Q = 1000$  Н.

Визначимо необхідний радіус обертання індентора для формування канавки розмірами  $l = 40$  мм і  $h_0 = 0,5$  мм за умови  $l = 2\sqrt{2Rh_0}$ :

$$R = \frac{l^2}{8h_0} = \frac{1600}{8 \times 0,5} = 400 \text{ мм.}$$

За результатами розрахунків знаходимо початкові параметри профілю за відсутності зносу, коли  $u_w = 0$ :

- номінальна площа контакту  $A_0 = L \cdot b = 120 \times 50 = 6000$  мм<sup>2</sup>;

- ширина канавки  $2a = 2\sqrt{2rh_0} = 2\sqrt{2 \cdot 1,5 \cdot 0,5} = 2,45$  мм;

$$\begin{aligned}
 & \text{- площа канавки } A(u_w) = 4R\sqrt{\frac{r}{R}} \left[ \sqrt{u_w(h_0 - u_w)} + h_0 \arcsin \sqrt{1 - \frac{u_w}{h_0}} \right] = \\
 & = 4 \cdot 400 \sqrt{\frac{1,5}{400}} \left[ \sqrt{0(0,5 - 0)} + 0,5 \arcsin \sqrt{1 - \frac{0}{0,5}} \right] = 97,98 \cdot 0,785 = 76,9 \text{ мм}^2.
 \end{aligned}$$

$$\text{- об'єм канавки (1, с.197) } V = \pi h_0^2 \sqrt{Rr} = 3,14 \cdot 0,5^2 \sqrt{400 \cdot 1,5} = 19,23 \text{ мм}^3$$

$$\text{- кількість канавок } n = L/k = 120/6 = 20;$$

- реальна площа контакту маслоутримувального профілю:

$$A_r = A_0 - n \cdot A_k = 6000 - 20 \cdot 76,9 = 4462 \text{ мм}^2 \quad (74,3 \%);$$

$$\text{контактний тиск } \sigma_r = \frac{Q}{A_r} = \frac{5000}{4462} = 1,12 \frac{H}{\text{мм}^2} = 1,12 \text{ МПа.}$$

При зносі  $u_w = 0,1$  мм внаслідок тертя маслоутримувального макропрофілю за тих же умов знаходимо:

$$2a = 2\sqrt{2r(h_0 - u_w)} = 2\sqrt{2 \cdot 1,5(0,5 - 0,1)} = 2,19 \text{ мм};$$

$$A(u_w) = 4 \cdot 400 \sqrt{\frac{1,5}{400}} \left[ \sqrt{0,1(0,5 - 0,1)} + 0,5 \arcsin \sqrt{1 - \frac{0,1}{0,5}} \right] = 3,48 \text{ мм}^2$$

$$A_r = A_0 - n \cdot A_k = 6000 - 20 \cdot 73,48 = 4530 \text{ мм}^2; \sigma_r = \frac{Q}{A_r} = \frac{5000}{4530} = 1,1 \frac{H}{\text{мм}^2} = 1,1 \text{ МПа.}$$

Результати розрахунків геометричних параметрів маслоутримувального макропрофілю і контактної площі за тих же умов залежно від величини зносу  $u_w$  зведені в таблицю 1 і показані на рис. 2.

Таблиця 1

### Геометричні параметри і контактний тиск макропрофілю, формованого кульковим індентором

Знос $u_w$ , мм	$2a$ , мм	$A_k$ , мм <sup>2</sup>	$A_r$ ,		Контактний тиск $\sigma_r$ , МПа
			мм <sup>2</sup>	%	
0	2,45	76,9	4462	74,3	1,12
0,1	2,19	73,5	4530	75,5	1,10
0,2	1,89	66,6	4668	77,8	1,07
0,3	1,55	56,8	4864	81,0	1,02
0,4	1,09	46,0	5080	84,7	0,98
0,5	0	0	6000	100	0,83

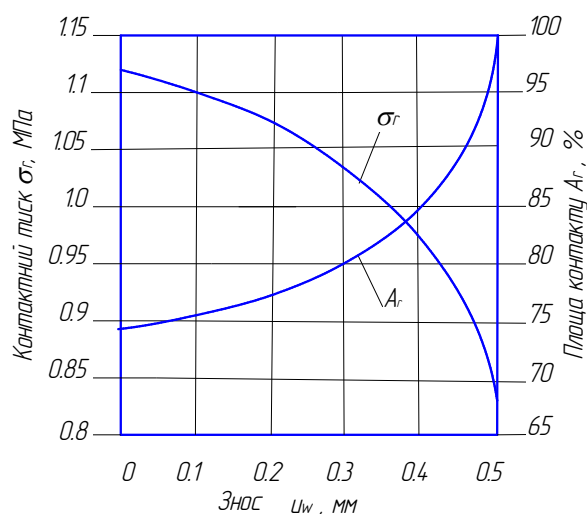


Рис. 2 – Залежність площі контакту і контактної площі від зносу маслоутримувального профілю, формованого кульковим індентором

### Розрахунок зношування напрямної ковзання з канавками змінної глибини круглого профілю

Прийmemo модель зношування напрямної ковзання у вигляді безрозмірних комплексів: контакт-ного тиску і швидкості ковзання [2].

$$I = \frac{du_w}{ds} = c_w \left( \frac{f\sigma}{HB} \right) \left( \frac{Vb}{v} \right), \quad (5)$$

де  $u_w$  – нормальний лінійний знос напрямної;

$S$  – шлях тертя;

$f$  – коефіцієнт тертя в парі повзун-напрямна;

$\sigma$  – нормальний контактний тиск;

$HB$  – твердість матеріалу напрямної;

$V$  – швидкість ковзання;

$b$  – номінальна ширина напрямної;

$v$  – кінематична в'язкість оливи;

$c_w$  – коефіцієнт зносостійкості.

Виразимо площу канавки в залежності від максимальної напівширини канавки на поверхні. З (1) залежність зносу від напівширини канавки буде:

$$u_w = h_0 - \frac{a^2}{2r}. \quad (6)$$

Для розрахунку площі канавки скористаємось залежністю [2, с.196]:

$$A_k = 2\pi(h_0 - u_w)\sqrt{Rr}. \quad (7)$$

Після підстановки (6) в (7):

$$A_k = \pi a^2 \sqrt{R/r}. \quad (8)$$

Тоді контактний тиск на поверхні напрямної з канавками буде:

$$\sigma = \frac{Q}{Lb - \frac{L}{k} A_k} = \frac{Q}{L} \left( \frac{k}{bk - \pi a^2 \sqrt{R/r}} \right). \quad (9)$$

Величина зносу  $u_w$  та розміри канавки залежать від шляху тертя  $s$ , продиференціюємо залежність (6) по шляху тертя:

$$\frac{du_w}{ds} = -\frac{a}{r} \frac{da}{ds}. \quad (10)$$

Підставимо у модель зношування (5) вирази (9) та (10) та отримаємо:

$$\frac{Q}{L} \left( \frac{k}{bk - \pi a^2 \sqrt{R/r}} \right) \left( \frac{c_w f V b}{HB \cdot v} \right) = -\frac{a}{r} \frac{da}{ds}. \quad (11)$$

Перетворимо (11) до до вигляду:

$$\left( \frac{Q c_w k f V b r}{L H B v} \right) ds = a (\pi a^2 \sqrt{R/r} - bk) da. \quad (12)$$

Це звичайне диференціальне рівняння з розділюючимися змінними. Інтегруючи диференціальне рівняння (12) отримаємо:

$$\left( \frac{Q c_w k f V b r}{L H B v} \right) s = \frac{a^2}{2} \left( a^2 \frac{\pi}{2} \sqrt{R/r} - bk \right) + C. \quad (12)$$

Постійну інтегрування знайдемо з умови  $a(s=0) = a_0$  (початкова напівширина мастильної канавки).

В результаті отримаємо:

$$C = \frac{a_0^2}{2} \left( bk - a_0^2 \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R}{r}} \right). \quad (13)$$

З урахуванням  $a_0 = \sqrt{2rh_0}$  та  $a = \sqrt{2r(h_0 - u_w)}$  після підстановок у (12) та відповідних алгебраїчних перетворень і спрощень отримаємо вираз для розрахунку зносу напрямної з канавками змінної глибини та круглого перетину:

$$u_w = \left( \frac{Qc_w k f V b}{L H B v} \frac{1}{bk - \pi r h_0 \sqrt{\frac{R}{r}}} \right) s. \quad (14)$$

### Приклад розрахунку зносу напрямної ковзання

Розрахуємо знос напрямної ковзання за розробленою методикою за наступних вихідних даних. Вихідні дані:

1. Геометричні розміри напрямної:  $L = 500$  мм;  $b = 50$  мм;
2. Швидкість ковзання:  $V = 20$  мм/с;
3. Кінематична в'язкість оливи Індустріальне І-30:  $\nu = 40$  мм<sup>2</sup>/с;
4. Коефіцієнт тертя в парі повзун-напрямна:  $f = 0,1$ ;
5. Робоче навантаження  $Q = 500$  Н;
6. Максимальна глибин мастильної канавки  $h_0 = 0,5$  мм, радіус профілю канавки  $R = 400$  мм, крок канавок  $k = 10$  мм, радіус кулькового індентора  $r = 1,5$  мм.
7. Твердість матеріалу напрямної  $HV = 400$  МПа.

Параметр зносостійкості  $c_w$  в парі чавун-чавун можна прийняти за довідниковими даними

$$C_w = 2 \cdot 10^{-8}.$$

Результати чисельного розрахунку лінійного зносу напрямної ковзання наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

### Результати розрахунку зносу напрямної ковзання з круглим профілем канавок

Шлях тертя, $s$ , мм	$10^9$	$10^{10}$	$10^{11}$
Лінійний знос, $u_w$ , мкм	2,72	27,2	272

Графічна інтерпретація результатів розрахунку зношування напрямної представлена на рис. 3.

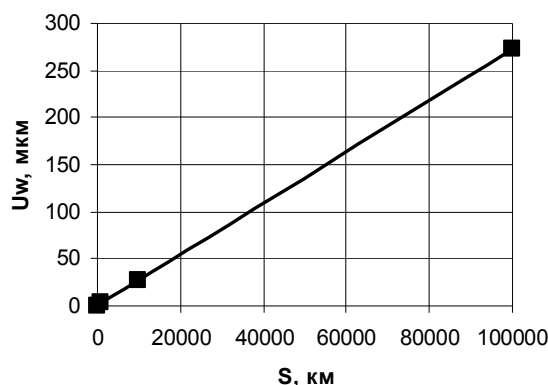


Рис. 3 – Залежність зносу напрямної ковзання від шляху тертя за формулою (14)

### Геометричні параметри напрямної ковзання з канавками змінної глибини трикутного профілю

При формуванні макропрофілю конусним індентором (рис.4) початкові параметри канавки визначаються за формулами [2, с.197 – 199]:

$$2a = 2h_0 \cdot \operatorname{tg}\alpha; \quad l = 2\sqrt{2Rh_0}; \quad V = \frac{32\sqrt{2}}{15} h_0^2 \cdot \operatorname{tg}\sqrt{Rh_0}.$$

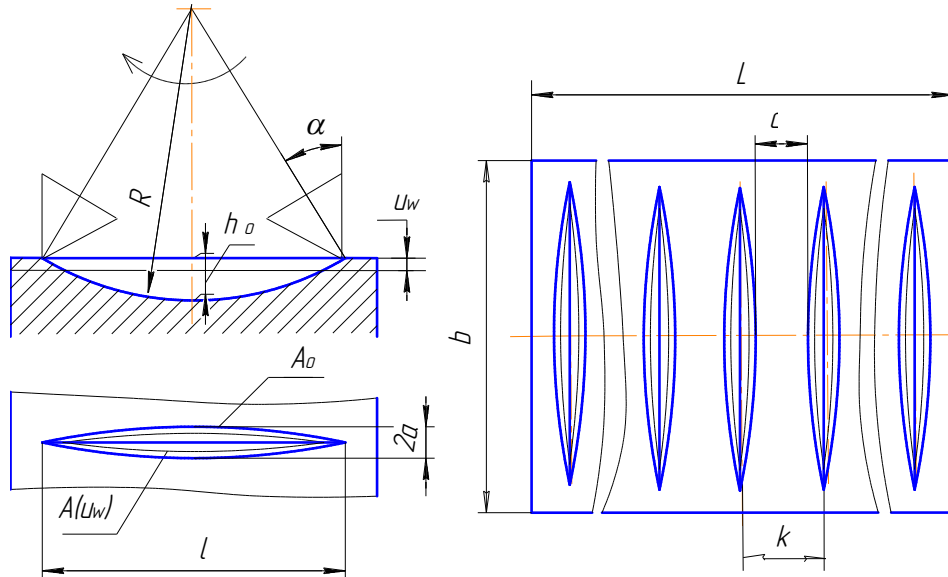


Рис. 4 – Форма і граничні розміри канавок (а) та мікропрофіль поверхні (б), утвореної конусним індентором

З урахуванням зносу контактної поверхні  $u_w$  (рис. 4) геометричні параметри і площа  $A_k$  [2, с.198] канавки відповідно зменшується:

$$2a = 2(h_0 - u_w) \cdot \operatorname{tg}\alpha; \quad l = 2\sqrt{2R(h_0 - u_w)}; \quad (15)$$

$$A(u_w) = 4\sqrt{2R} \cdot \operatorname{tg}\alpha \left[ h_0 \sqrt{h_0 - u_w} - \frac{1}{3}(h_0 - u_w) \sqrt{h_0 - u_w} \right]$$

При зносі  $u_w$  проміжна площа контакту збільшується:

$$A_r = L \cdot b - n \cdot A(u_w) = L \cdot b - 4n\sqrt{2R} \cdot \operatorname{tg}\alpha \left[ h_0 \sqrt{h_0 - u_w} - \frac{1}{3}(h_0 - u_w) \sqrt{h_0 - u_w} \right]. \quad \text{При } u_w = h_0$$

площа контакту дорівнює номінальному значенню  $A_0 = L \cdot B$ .

В процесі зносу контактний тиск відповідно зменшується:  $\sigma_r = \frac{Q}{A_r}$ .

Наведемо розрахунок параметрів профілю, формованого конусним індентором з кутом при вершині конуса  $\alpha = 60^\circ$  на плоскій поверхні за таких самих умов, які прийняті при формуванні профілю кульковим індентором.

Необхідний радіус обертання конусного, як і кулькового індентора, для формування канавки розмірами  $l = 40$  мм і  $h_0 = 0,5$  мм

$$R = \frac{l^2}{8h_0} = \frac{1600}{8 \times 0,5} = 400 \text{ мм.}$$

За результатами розрахунків знаходимо початкові параметри профілю за відсутності зносу, коли  $u_w = 0$ :

ширина канавки:  $2a = 2(h_0 - u_w) \cdot \operatorname{tg}\alpha = 2(0,5 - 0) \operatorname{tg}60^\circ = 1,73$  мм;

площа канавки:

$$A(u_w) = 4\sqrt{2 \cdot 400} \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \left[ 0,5\sqrt{0,5-0} - \frac{1}{3}(0,5-0)\sqrt{0,5-0} \right] =$$

$$= 195,96(0,35 - 0,11) = 47 \text{ мм}^2$$

$$\text{об'єм канавки } V = \frac{32\sqrt{2}}{15} 0,5^2 \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \sqrt{400 \cdot 0,5} = 13,8 \text{ мм}^3;$$

реальна площа контакту маслоутримувального профілю

$$A_p = A_n - n \cdot A_k = 6000 - 20 \cdot 47 = 5060 \text{ мм}^2;$$

$$\text{контактний тиск } \sigma_r = \frac{Q}{A_r} = \frac{5000}{5060} = 0,99 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 0,99 \text{ МПа}$$

При зносі маслоутримувального макропрофілю  $u_w = 0,1$  мм внаслідок тертя за тих же умов знаходимо:  $2a = 2(0,5 - 0,1) \operatorname{tg} 60^\circ = 1,38 \text{ мм};$

$$A(u_w) = 4\sqrt{2 \cdot 400} \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \left[ 0,5\sqrt{0,5-0,1} - \frac{1}{3}(0,5-0,1)\sqrt{0,5-0,1} \right] = 45 \text{ мм}^2;$$

$$A_k = A_0 - n \cdot A_k = 6000 - 20 \cdot 45 = 5100 \text{ мм}^2; \sigma_r = \frac{Q}{A_r} = \frac{5000}{5100} = \frac{H}{\text{мм}^2} = 0,98 \text{ МПа}.$$

Результати розрахунків геометричних параметрів макропрофілю, формованого конусним індентором, і контактного тиску за тих же умов залежно від величини зносу  $u_w$  зведені в таблицю 3 і показані на рис. 5.

Таблиця 3

### Геометричні параметри і контактний тиск макропрофілю, формованого конусним індентором

Знос $u_w$ , мм	$2a$ , мм	$A_k$ , мм <sup>2</sup>	$A_r$ ,		Контактний тиск $\sigma_r$ , МПа
			мм <sup>2</sup>	%	
0	1,73	47	5060	84,3	0,99
0,1	1,38	45	5100	85,0	0,98
0,2	1,04	43	5140	85,6	0,97
0,3	0,69	37	5260	87,7	0,95
0,4	0,34	27	5452	90,9	0,91
0,5	0	0	6000	100	0,83

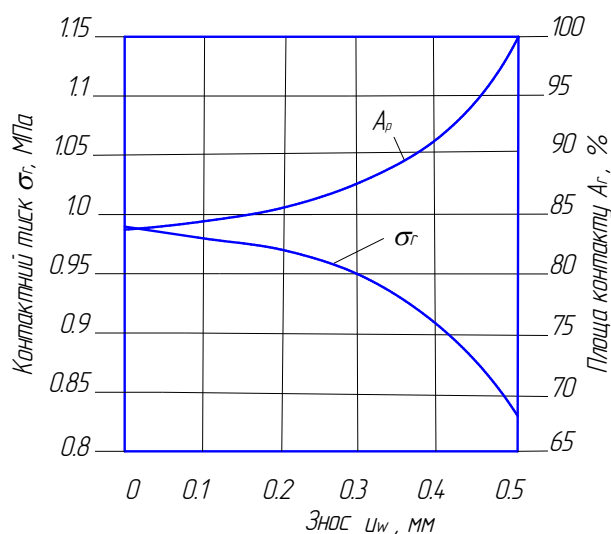


Рис. 5 – Залежність площі контакту і контактного тиску від зносу маслоутримувального профілю, формованого конусним індентором

### Розрахунок зношування напрямної ковзання з канавками змінної глибини трикутного профілю

Прийmemo модель зношування напрямної ковзання у вигляді безрозмірних комплексів: контакт-ного тиску і швидкості ковзання у вигляді (5). Виразимо площу канавки в залежності від максимальної напівширини канавки на поверхні. З (1) залежність зносу від напівширини канавки буде:

$$u_w = h_0 - a \cdot ctg\alpha. \quad (16)$$

Для розрахунку площі канавки скористаємось залежністю [2, с.198]:

$$A_k = \frac{8\sqrt{2}}{3} (h_0 - u_w) tg\alpha \sqrt{R(h_0 - u_w)}. \quad (17)$$

Після підстановки (16) в (17):

$$A_k = \frac{8\sqrt{2}}{3} a \sqrt{aRctg\alpha}. \quad (18)$$

Тоді контактний тиск на поверхні напрямної з канавками буде:

$$\sigma = \frac{Q}{Lb - \frac{L}{k} A_k} = \frac{Q}{L} \left( \frac{k}{bk - \frac{8\sqrt{2}}{3} a \sqrt{aRctg\alpha}} \right). \quad (19)$$

Величина зносу  $u_w$  та розміри канавки залежать від шляху тертя  $s$ , продиференціюємо залежність (16) по шляху тертя:

$$\frac{du_w}{ds} = -ctg\alpha \frac{da}{ds}. \quad (20)$$

Підставимо у модель зношування (5) вирази (19) та (20) та отримаємо:

$$\frac{Q}{L} \left( \frac{k}{bk - \frac{8\sqrt{2}}{3} a \sqrt{aRctg\alpha}} \right) \left( \frac{c_w f V b}{HB \cdot v} \right) = -ctg\alpha \frac{da}{ds}. \quad (21)$$

Перетворимо (21) до до вигляду:

$$\left( \frac{Q c_w k f V b t g \alpha}{L H B v} \right) ds = \left( \frac{8\sqrt{2}}{3} a^{\frac{3}{2}} \sqrt{Rctg\alpha} - bk \right) da. \quad (22)$$

Це звичайне диференціальне рівняння з розділюючимися змінними. Інтегруючи диференціальне рівняння (22) отримаємо:

$$\left( \frac{Q c_w k f V b t g \alpha}{L H B v} \right) s = \frac{16\sqrt{2}}{15} a^{\frac{5}{2}} \sqrt{Rctg\alpha} - abk + C. \quad (22)$$



Постійну інтегрування знайдемо з умови  $a(s=0) = a_0$  (початкова напівширина мастильної канавки).

В результаті отримаємо:

$$C = a_0 b k - \frac{16\sqrt{2}}{15} a_0^{\frac{5}{2}} \sqrt{R c t g \alpha}. \quad (23)$$

З урахуванням  $a_0 = h_0 t g \alpha$  та  $a = (h_0 - u_w) t g \alpha$  після підстановок у (22) та відповідних алгебраїчних перетворень і спрощень отримаємо вираз для розрахунку зносу напрямної з канавками змінної глибини та трикутного перетину:

$$u_w = \left( \frac{Q c_w k f V b \cdot t g \alpha}{L H B v} \frac{1}{b k - h_0^{\frac{3}{2}} \sqrt{2 R c t g \alpha}} \right) s. \quad (14)$$

Для прикладу розрахунку зносу напрямних з трикутним профілем прийемо вихідні дані такі як і для круглого профілю. При цьому кут профілю прийемо рівним  $\alpha = 30^\circ$ .

Результати розрахунків наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

#### Результати розрахунку зносу напрямної з трикутним профілем канавок

Шлях тертя, $s$ , мм	$10^9$	$10^{10}$	$10^{11}$
Лінійний знос, $u_w$ , мкм	1,49	14,9	149

Графічна інтерпретація результатів розрахунку зношування напрямної представлена на рис. 6.

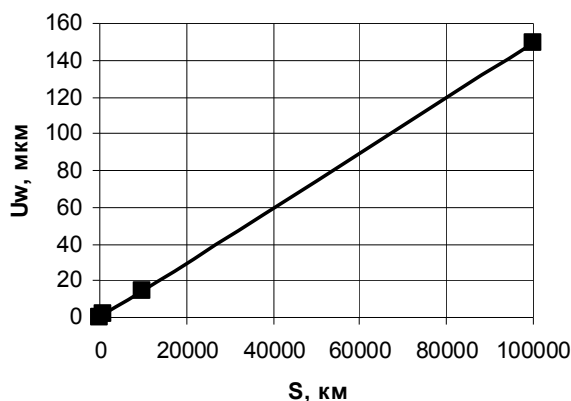


Рис. 6 – Залежність зносу напрямної ковзання з трикутним профілем канавок від шляху тертя

#### Висновки

1. Аналіз розрахованих за даних умов геометричних параметрів і контактного тиску маслоутримувального профілю, формованого кульковим і конусним інденторами, показує, об'єм мастила, утримуваного канавками кулькового індентора, у порівнянні з конусним індентором, майже на 40% і початковий контактний тиск на 13% більший. Ширина канавки, формованої конусним індентором, на 30% менша. Тому в межах даної довжини профілю кількість можливих канавок, формованих конусним індентором, за умови однакової відстані між канавками збільшується понад 3 рази.

2. Аналіз результатів розрахунку також показує, що при зносі маслоутримувального профілю до повного стирання канавок, формованих кульковим індентором, реальна площа контакту збільшується на 34%, а контактний тиск зменшується на 26%. При зносі профілю з канавками, формованими конусним індентором, реальна площа контакту збільшується на 18,6%, а контактний тиск зменшується на 16,2%.

---

Інтенсивність зменшення реальної площі, формованої кожним індентором, і збільшення контактного тиску, суттєво зростає при зносі понад 60% повного стирання макропрофілю.

3. Розрахунок зносу напрямних ковзання за запропонованими методиками показав, що знос прямої з круглим профілем маслоутримувальних канавок більший порівняно з напрямними, модифікованими маслоутримувальними канавками з трикутним профілем.

### Література

1. Диха О.В. Геометричні параметри і режим тертя в напрямних елементах з маслоутримувальними канавками змінної глибини / О.В. Диха // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 39 - Кіровоград: КНТУ, 2009 – С. 378-382.

2. Кузьменко А. Г., Дыха О. В. Контакт, трени и износ смазанных поверхностей: Монография / А. Г. Кузьменко, О. В. Дыха. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 344 с.

3. Диха О.В. Розрахункова оцінка зношування прямої ковзання з маслоутримувальними канавками трикутного профілю / О.В. Диха, А.А. Вичавка // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2016. – № 3. – С. 92-97

4. Дудчак В.П., Остапенко Р.М., Дудчак Т.В. Методика дослідження адгезійної міцності і зносостійкості полімерних композиційних покриттів // Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології» (Problems of Tribology) Хмельницький національний університет-2012 № 3.С.36-42

Поступила в редакцію 17.01.2017

**Dykha O.V., Vychavka A.A., Velboi V.P. Wear models of sliding guides with lubrication profiles of variable depth**

The calculation of the areas of contact and contact pressure for sliding guides with grease grooves of variable depth are round and triangular profiles with consideration of the kinetics of wear is implemented. The proposed direct solution of contact problems with wear to the flat slide guides with lubrication grooves of variable depth. For the base model of the wear adopted linear dependence on the dimensionless complexes of the contact pressure and sliding speed. The formulas for calculating the wear of the guides of the slide in the path dependence of friction and examples of the calculation of the wear of the guides is received.

**Keywords:** guide rail sliding, lubricating groove, the contact pressure, calculation of wear, round or triangular profile

**References**

1. Dykha O.V. Geometrichni parametri i rezhim tertja v naprjamnih elementah z masloutrimu-val'nimi kanavkami zminnoi glibini / O.V. Dykha // Konstruivannja, virobnictvo ta ekspluatacija sil'skogospodars'kih mashin, vip. 39 - Kirovograd: KNTU, 2009 – P. 378-382.
2. Kuz'menko A. G., Dykha O. V. Kontakt, treni i iznos smazannyh poverhnostej: Monografija, Hmel'nickij : HNU, 2007. – 344 p.
3. Dykha O.V. Rozrahunkova ocinka znoshuvannja naprjamnoi kovzannja z masloutrimuval'nimi kanavkami trikutnogo profilju / O.V. Dykha, A.A. Vychavka // Problemi tribologii (Problems of Tribology). – 2016. – № 3. – P. 92-97
4. Dudchak V.P., Ostapenko R.M., Dudchak T.V. Metodika doslidzhennja adgezijnoi micnosti i znosostijkosti polimernih kompozicijnih pokrittiv // Mizhnarodnij naukovij zhurnal «Problemi tribologii» (Problems of Tribology) Hmel'nic'kij nacional'nij universitet-2012 № 3.P.36-42