

Козаченко О.В.,
Шкрегаль О.М.,
Каденко В.С.,
Гончаров В.В.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. П. Василенка, м. Харків, Україна
E-mail: kozachenko1@rambler.ru

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЛОКАЛЬНОГО ЗМІЦНЕННЯ ЛЕЗА ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА

УДК 631.316.022.4

Наведено результати досліджень визначення раціональних параметрів локального зміцнення культиваторної лапи твердосплавним матеріалом, що забезпечує рівномірність та мінімізацію швидкості зношування по довжині леза

Ключові слова: лапа культиватора, локальне зміцнення, лезо, знос, швидкість зношування, зносостійкість

Вступ

Одною з важливих проблем сучасного машинобудування є розробка заходів підвищення зносостійкості та зменшення енергоємності робочих органів машин, що в процесі експлуатації взаємодіють з абразивним ґрунтовим середовищем. У процесі взаємодії з ґрунтом їх ріжучі кромки підлягають інтенсивному абразивному зношуванню, що зумовлює необхідність їх заміни або відновлення внаслідок підвищення тягового опору та витрат паливно-мастильних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На процес зношування суттєвий вплив мають геометричні параметри робочого органу, зокрема форма леза. Проведеними дослідженнями [1] запропоновано раціональну форму леза лапи культиватора для заданих фізико-механічних і реологічних властивостей ґрунту що є найбільш енергоощадною та має мінімальну швидкість зношування при взаємодії з абразивним ґрунтовим середовищем. Крім того, підвищення довговічності і якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту можливе за рахунок зміцнення робочої поверхні, що має на меті крім уповільнення процесу зношування – самозагострення ріжучої крайки. Так, дослідженнями [2] встановлено, що застосування локального зміцнення леза робочого органу культиватора зумовлює зміну інтенсивності зношування робочої поверхні за напрацюванням, при цьому, виконання локального зміцнення повинно бути з параметрами, що забезпечують отримання найменшого лінійного зносу. Виявлено, що теоретична функція геометричної форми поверхні лапи культиватора в результаті зношування має кусочно-періодичний характер із періодом розташування її неоднорідної структури $T = L + D$; найменше середнє квадратичне відхилення швидкості зношування спостерігається для варіанту: $L = 0,01$ м, $D = 0,01$ м.

Невирішена частина проблеми

Виходячи з аналізу виконаних теоретичних досліджень обґрунтування раціональної форми та локального зміцнення лапи культиватора з урахуванням властивостей ґрунтового середовища та режимів руху є доцільним проведення експериментальних досліджень визначення оптимальних параметрів локального зміцнення по довжині леза.

Мета роботи – визначити оптимальні параметри локального зміцнення, що зумовлюють мінімізацію швидкості зношування леза лапи культиватора.

Результати досліджень

Експериментальні дослідження проводилися на розробленому експериментальному стенді [3]. Дослідження процесу формоутворення поверхні локально зміщеного леза проводились за трьома факторами: діаметр зміщення D , крок зміщення L , кут розхилу γ . Діапазони і рівні факторів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Кодоване значення факторів і рівні їх варіювання

Позначення факторів	x_1	x_2	x_3
Найменування факторів	Діаметр зміщення D , мм	Крок зміщення L , мм	Кут розхилу γ , °
Нульовий рівень	7,5	15	45
Інтервал варіювання	2,5	5	25
Верхній рівень фактора	10	20	70
Нижній рівень фактора	5	10	20

Критеріями оцінки досліджень були абсолютний знос локально зміщених зразків Δi та швидкості зношування $\partial I_v / \partial t$.

Швидкість зношування $\partial I_v / \partial t$ визначалася за формулою:

$$\frac{\partial I_v}{\partial t} = \frac{S \cdot \Delta i}{V}, \quad (1)$$

де S – шлях тертя, м;

V – лінійна швидкість переміщення локально зміщених зразків, м/с.

Дослідження процесу формоутворення поверхні локально зміщеного леза проводились із застосуванням D -оптимального плану Бокса-Бенкіна другого порядку для 3 факторів. Матриця плану представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Матриця планування багатфакторного експерименту Бокса-Бенкіна

№	x_1	x_2	x_3
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	-1	-1	0
5	0	0	0
6	1	0	1
7	1	0	-1
8	-1	0	1
9	-1	0	-1
10	0	0	0
11	0	1	1
12	0	1	-1
13	0	-1	1
14	0	-1	-1
15	0	0	0

Експериментальні дослідження формоутворення поверхні локально зміщеного леза проводились із застосуванням методу математичного планування багатфакторного експерименту, який дозволяє визначити математичні моделі процесів у вигляді рівнянь регресії. Згідно поставлених задач було обрано D -оптимальний план Бокса-Бенкіна другого порядку для 3 факторів. Факторами експерименту були обрані діаметр зміщення

(x_1), крок зміцнення (x_2) і кут розхилу (x_1). Критеріями оптимізації є швидкості зношування (y).

Згідно результатів досліджень були отримані значення абсолютного зносу локально зміцнених зразків Δi для кожного з дослідів (таблиця 3). Враховуючи значення шляху тертя $S = 5000$ м і швидкість переміщення $V_p = 1,5$ м/с отримані результати швидкості зношування поверхні локально зміцненого леза $\partial I_v / \partial t$ для кожного з дослідів (таблиця 4).

Таблиця 3

Результати вимірювання абсолютного зносу локального зміцнених зразків Δi (мм) при: шлях тертя $S = 5000$ м; $V_p = 1,5$ м/с.

№	y			
	1	2	3	Сер.
1	0.060	0.050	0.080	0.0633
2	0.045	0.074	0.048	0.0556
3	0.061	0.091	0.087	0.0796
4	0.017	0.025	0.017	0.0196
5	0.010	0.070	0.010	0.0300
6	0.099	0.060	0.090	0.0830
7	0.032	0.049	0.051	0.0440
8	0.065	0.040	0.074	0.0596
9	0.011	0.041	0.025	0.0256
10	0.040	0.030	0.020	0.0300
11	0.070	0.050	0.070	0.0633
12	0.010	0.041	0.029	0.0266
13	0.054	0.064	0.056	0.0580
14	0.014	0.046	0.016	0.0253
15	0.005	0.010	0.010	0.0083

Таблиця 4

Результати вимірювання швидкості зношування $\partial I_v / \partial t, 10^{-7}$ м/с

№	y			
	1	2	3	Сер.
1	180	150	240	190
2	135	222	144	167
3	183	273	261	239
4	51	75	51	59
5	30	210	30	90
6	297	180	270	249
7	96	147	153	132
8	195	120	222	179
9	33	123	75	77
10	120	90	60	90
11	210	150	210	190
12	30	123	87	80
13	162	192	168	174
14	42	138	48	76
15	15	30	30	25

Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на швидкість зношування поверхні локально зміцненого леза має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I_v}{\partial t} = & (68,3333 + 23x_1 + 62,3333 x_1^2 + 27,875 x_2 - 39,25 x_1 x_2 + \\ & + 33,0833 x_2^2 + 53,375 x_3 + 3,75 x_1 x_3 + 3 x_2 x_3 + 28,5833 x_3^2) 10^{-7}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, значення критерію Кохрена $G = 0,3099 < G(0,05;2;15) = 0,3346$.

Дисперсія адекватності математичної моделі $S_{ад} = 57,27 \cdot 10^{-7}$; дисперсія похибки дослідів $S_y = 37,52 \cdot 10^{-7}$; значення критерію Фішера $F = 2,329 < F(0,05;7;30) = 2,33$; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності.

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента $t(0,05;30) = 2,04$ не значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95 % є коефіцієнти при таких членах рівняння: x_1x_3 , x_2x_3 .

На основі цього рівняння регресії (1) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I_v}{\partial t} = & (68,3333 + 23x_1 + 62,3333 x_1^2 + 27,875 x_2 - 39,25 x_1 x_2 + \\ & + 33,0833 x_2^2 + 53,375 x_3 + 28,5833 x_3^2) 10^{-7}. \end{aligned} \quad (3)$$

У розкодованому вигляді модель (3) має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I_v}{\partial t} = & (417,743 + 9,97333 D^2 - 93,3 D - 3,14 L D - 10,575 L + \\ & + 1,32333 L^2 - 1,981 \gamma + 0,0457333 \gamma^2) 10^{-7}. \end{aligned} \quad (4)$$

Аналізуючи рівняння (4), можна стверджувати, що на швидкість зношування поверхні локально зміцненого леза впливають всі вищезгадані фактори. При цьому зі збільшенням кута розхилу збільшується і швидкість зношування, а при варіюванні значеннями діаметра і кроку зміцнення, швидкість зношування має оптимум:

$$\frac{\partial I_v}{\partial t} (D = 6,5 \text{ мм}, L = 11,7 \text{ мм}, \gamma = 20^\circ) = 29,83 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}. \quad (5)$$

Отже, для знайдених оптимальних значень факторів графічна інтерпретація рівняння (2) представлена на рисунках 1-3.

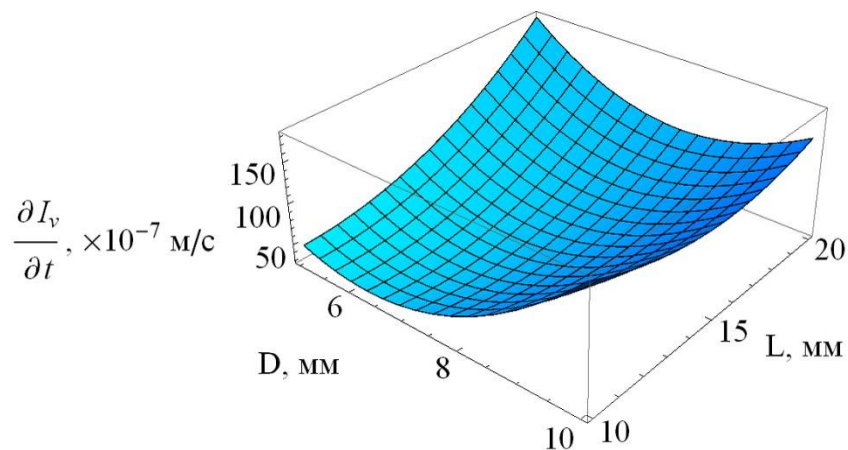


Рис. 1. Вплив діаметра D і кроку L зміцнення на швидкість зношування поверхні локально зміцненого леза (при $\gamma = 20^\circ$)

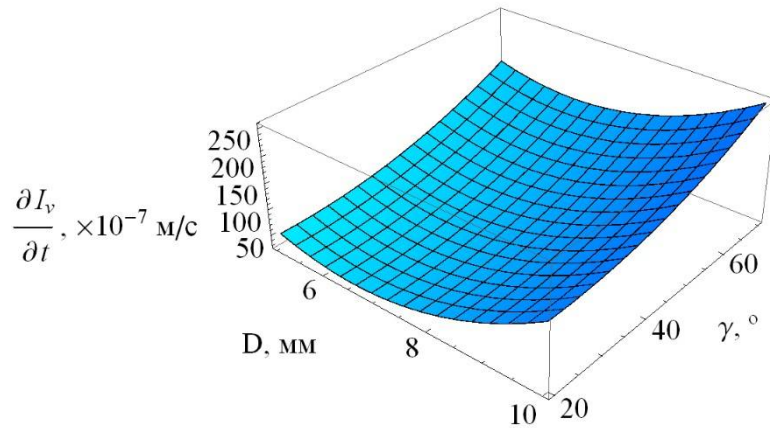


Рис. 2. Вплив діаметра зміцнення D і кута розхилу γ на швидкість зношування поверхні локально зміцненого леза (при $L = 11,7$ мм)

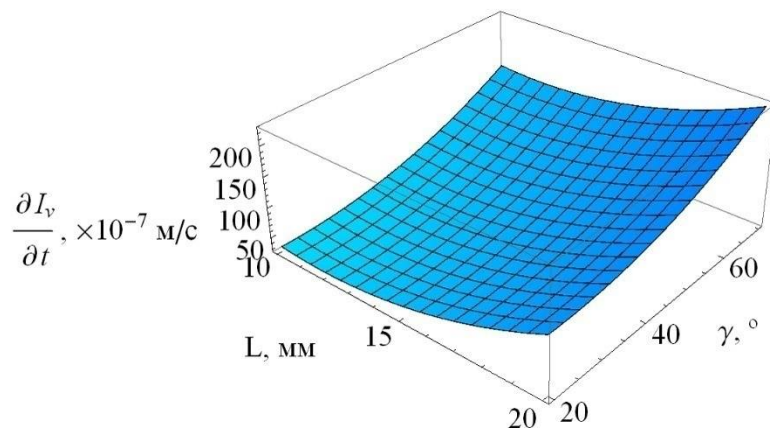


Рис. 3. Вплив кроку зміцнення L і кута розхилу γ на швидкість зношування поверхні локально зміцненого леза (при $D = 6,5$ мм)

Згідно теоретичних досліджень геометричної форми поверхні леза лапи культиватора встановлено, що кут розхилу змінюється по її довжині [1]. Відповідно, необхідно встановити залежність зміни швидкості зношування поверхні локально зміцненого леза від кута розхилу.

В зв'язку з тим, що в представленому рівнянні (5) немає взаємодії факторів D (x_1) із γ (x_3) і L (x_2) із γ (x_3) то значення діаметра $D = 6,5$ мм і кроку $L = 11,7$ мм зміцнення є оптимальними для будь-якого кута розхилу γ . Це підтверджується і даними таблиці 5.

Таблиця 5

Оптимальні значення діаметра D і кроку L мм зміцнення при різних кутах розхилу γ

$\gamma, ^\circ$	$D, \text{ мм}$	$L, \text{ мм}$	$\min(\partial I_v / \partial t), 10^{-7} \text{ м/с}$
25	6,5	11,7	30,34
30	6,5	11,7	33,01
35	6,5	11,7	37,97
40	6,5	11,7	45,22
45	6,5	11,7	54,75
50	6,5	11,7	66,57
55	6,5	11,7	80,67
60	6,5	11,7	97,06
65	6,5	11,7	115,74
70	6,5	11,7	136,71

Апроксимуючі дані таблиці 5 отримуємо залежність:

$$\partial I_v / \partial t = (51,2881 - 1,981 \gamma + 0,0457333 \gamma^2) 10^{-7}. \quad (6)$$

Для порівняння теоретичної (рис.4) і експериментальної (5) залежностей швидкості зношування від куту розхилу лапи культиватора побудовано відповідні графіки (рис. 4). Коефіцієнт кореляції між теоретичними і експериментальними даними становить 0,91, а критерій Фішера – $F = 2,39 < F_{\text{табл}}(0,05;5;30) = 2,53$.

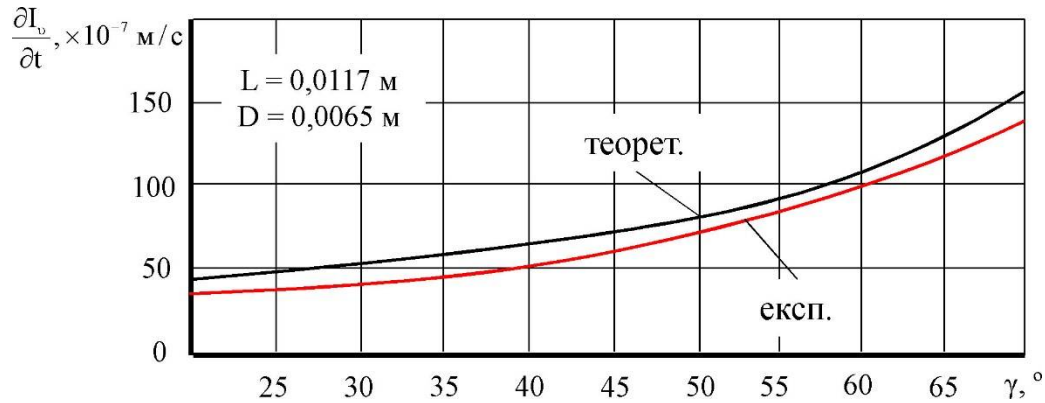


Рис. 4. Теоретична і експериментальна крива впливу кута розхилу γ на швидкість зношування поверхні локально зміцненого леза $\partial I_v / \partial t$ (при $D = 6,5$ мм, $L = 11,7$ мм)

Висновки

1. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що оптимальними параметрами локального зміцнення леза лапи культиватора є: діаметр $D = 6,5$ мм і крок $L = 11,7$ мм зміцнення.

2. Швидкість зношування $\partial I_v / \partial t$ поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора параболічно залежить від куту його розхилу γ , що підтверджує отримані теоретичні залежності (коефіцієнт кореляції – 0,91, критерій Фішера – $F = 2,39 < F_{\text{табл}}(0,05;5;30) = 2,53$).

Література

1. Козаченко О.В. Теоретичне обґрунтування раціональної геометричної форми лапи культиватора /О.В.Козаченко, В.С.Каденко, О.М.Шкрегаль// Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». Вип.10/1 (29), 2016. – С. 48-52.
2. Козаченко О.В. Дослідження процесу зношування леза лапи культиватора із періодичними ділянками локального зміцнення / О.В. Козаченко, В.С. Каденко, О.М. Шкрегаль, О.В. Блезнюк// Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: Науковий журнал ХНТУСГ, Вип.6. – Харків, 2016. – С.76-87.
3. Пат. 111280 Україна, МПК G01M 7/00 Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / Козаченко О.В., Каденко В.С., Шкрегаль О.М. та ін.]; заявник та власник Козаченко О.В. – № u201603654; заявл. 06.04.16.опубл 10.11.2016, Бюл № 21.

Summary

Kozachenko O.V., Shkrega O.M., Kadenko V.S., Goncharov V. V. Optimization of

the parameters of the local strengthening of the blade arms of the cultivator

The results of studies determining the rational parameters of local strengthen the cultivation legs carbide material that provides uniformity and minimization of wear rate along the length of the blade

Keywords: paw cultivator, local strengthening, blade wear, wear rate, wear resistance

References

1. Kozachenko O.V. Teoretichne obruntuvannya racionalnoj geometrichnoj formi lapi kultivatora /O.V. Kozachenko, V.S. Kadenko, O.M. Shkregal// Visnik Sumського національного аграрного університету. Seriya «Mekhanizaciya ta avtomatizaciya virobnichih procesiv. Vip.10/1 (29), 2016. – S. 48-52.
2. Kozachenko O.V. Doslidzhennya procesu znoshuvannya leza lapi kultivatora iz periodichnimi dilyankami lokalnogo zmichennya / O.V. Kozachenko, V.S. Kadenko, O.M.Shkregal, O.V. Bleznyuk// Tekhnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv: Naukovij zhurnal HNTUSG, Vip.6. – Harkiv, 2016. – S.76-87.
3. Pat. 111280 Ukraïna, MPK G01M 7/00 Laboratornij stend dlya viprobuvannya robochih organiv gruntoobrobnih mashin / Kozachenko O.V., Kadenko V.S., Shkregal O.M. ta in.]; zayavnik ta vlasnik Kozachenko O.V. – № u201603654; zayavl. 06.04.16.opubl 10.11.2016, Byul № 21.