

Козаченко О.В.

Каденко В.С.

Шкрегаль О.М.

Блезнюк О.В.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. П. Василенка,

м. Харків, Україна

E-mail: kozachenko1@rambler.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ЛЕЗА ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА ІЗ ПЕРІОДИЧНИМИ ДІЛЯНКАМИ ЛОКАЛЬНОГО ЗМІЦНЕННЯ

УДК 631.171

Наведено результати теоретичних досліджень формоутворення локально зміцненого леза лапи культиватора при взаємодії з ґрунтом, обґрунтовано раціональні параметри локального зміцнення, що забезпечують підвищення рівностійкості робочого органу при зношуванні.

Ключові слова: зношування, лапа культиватора, локальне зміцнення, форма леза, рівнозношуваність.

Постановка проблеми

Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин є однією з головних задач галузевого машинобудування. При цьому, слід зазначити, що технічний рівень машин, в тому числі й найбільш розповсюдженої групи для обробітку ґрунту – культиваторів для суцільного і міжрядного обробітку ґрунту, визначається ефективністю їх робочих органів.

На сьогодні перспективним напрямком підвищення ефективності робочих органів культиваторів слід вважати пошук раціональної форми, що зумовлює її збереження при експлуатації та методів зміцнення поверхонь тертя при взаємодії з абразивним ґрунтовим середовищем. З точки зору підвищення довговічності значний науковий і практичний інтерес представляють ґрунтообробні робочі органи з криволійним профілем леза та зубчасті робочі поверхні, які формують при виготовленні робочих органів або в процесі експлуатації. Перший підхід широко використовується провідними зарубіжними фірмами, що виробляють ґрунтообробні знаряддя. При цьому, у літературних джерелах відсутні дані методологічного підходу до формоутворення зубчастого профілю леза лап при зношуванні, характеристики параметрів зміцнення, властивостей матеріалу основного та зміцнюючого шарів робочих органів, що стримує створення нових робочих органів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомими дослідженнями [1,2,3,4,5] встановлена можливість управління характером зношування ґрунтообробних робочих органів з метою формування змінної геометрії робочої частини, яка забезпечує якість функціонування при заданих показниках довговічності. В [6] доведено, що зміцнення леза ґрунтообробного знаряддя дозволяє керувати його геометричною формою при зношуванні. За даними авторів точкове зміцнення забезпечує в процесі роботи формування зубчастого леза, що зумовлює його самозагострення та зменшення на 20% тягового опору. При цьому автори не наводять значення раціональних параметрів локального зміцнення, що забезпечують отримання зубчастої поверхні леза заданої форми для досягнення ефекту самозагострювання, показників якості виконання функції призначення та підвищення довговічності. В [7] теоретично обґрунтовано раціональний профіль леза лапи, що забезпечує зменшення швидкості зношування робочої поверхні та зменшення енергоємності робочого органу. Для підвищення рівнозношуваності поверхні леза лапи культиватора при взаємодії з ґрунтом авторами

подано рекомендації щодо застосування локального зміцнення леза.

Для більш поглибленого вивчення процесів зношування робочих органів ґрунтообробних машин та означення перспективних напрямків підвищення їх довговічності є доцільним проведення теоретичних досліджень визначення раціональних параметрів локального зміцнення лап культиваторів з криволінійною формою леза.

Мета роботи

Дослідити динаміку зношування лапи культиватора та обґрунтувати раціональні параметри локального зміцнення, що зумовлюють формоутворення робочої поверхні леза при взаємодії з ґрунтовим середовищем в напрямку підвищення довговічності та зменшення енергоємності.

Результати дослідження

Розглянемо задачу зношування локально зміцненого леза лапи культиватора під дією ґрунту. Лезо лапи культиватора діє на ґрунт із тиском $P_0 = \frac{1}{2} \zeta V^2$ і рухається з постійною швидкістю V вздовж осі Oy . Локально зміцнене лезо лапи культиватора має змінну твердість поверхні $H(x,y)$ по функції $F(x,y) = 0$. При цьому неоднорідна структура матеріалу є періодичною з періодом $T = L+D$ по функції $F(x,y) = 0$ (рис. 1).

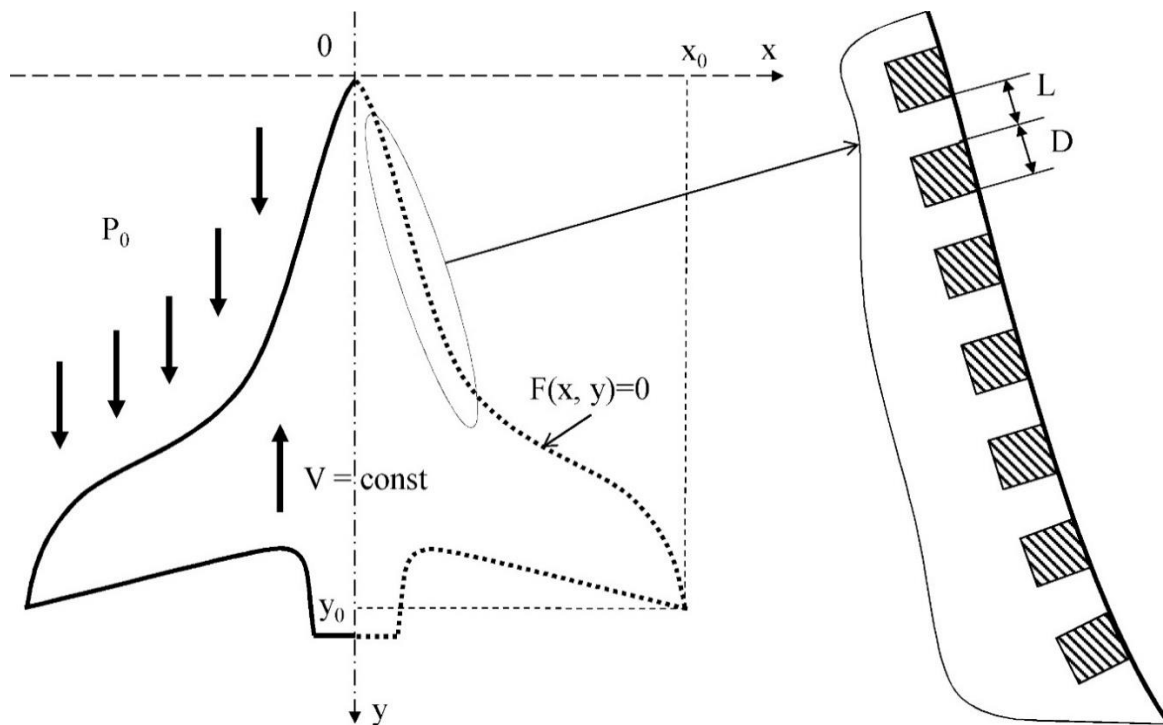


Рис. 1. Схема поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора

Для математичного опису періодичної функції твердості поверхні розглянемо систему координат, вісь Ox якої є дотичною до функції $F(x,y) = 0$ (рис. 2). Дана система координат є змінною у кожній точці функції $F(x,y) = 0$.

Згідно рисунку 2 кут повороту системи координат розраховуються, як похідна до функції $F(x,y) = 0$ в точці $(x_0; y_0)$:

$$\frac{dF(x, y(x))}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{dy}{dx}(x_0; y_0) = \operatorname{tg} \theta \quad (1)$$

де θ – кут повороту системи координат, $^\circ$.

Для отриманого рівняння раціональної форми леза лапи культиватора [8] кут повороту визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \theta(x_0; y_0) &= 90^\circ + \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \text{Arctg} \left[\frac{dy}{dx}(x_0; y_0) \right] = \\ &= 90^\circ + \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \text{Arctg} \left[\frac{0,99979 - 3,28983x_0 + 1,19443y_0}{-0,36089 + 35,0009x_0 + 12,70748y_0} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

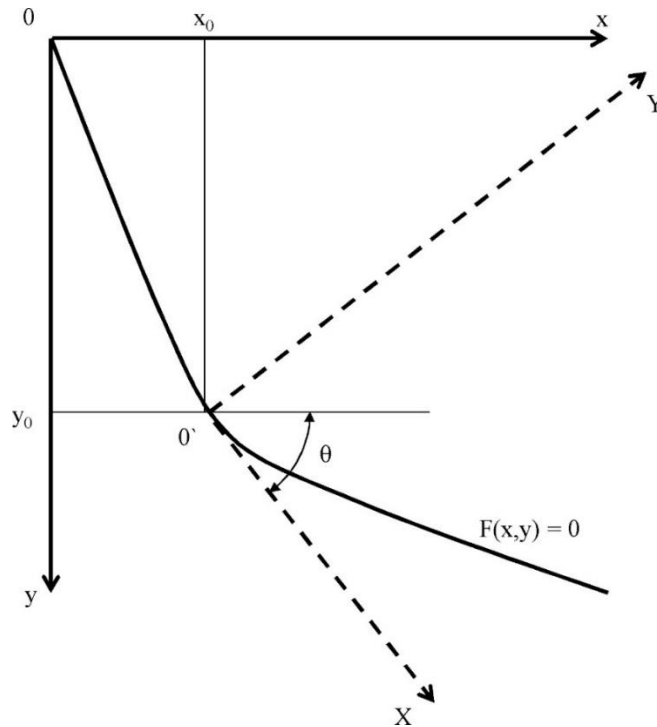


Рис. 2. Змінна система координат

Аналізуючи рисунок 2 запишемо перетворення для нової системи координат:

$$\begin{cases} X = x_0 + x \cdot \cos\theta(x_0; y_0) - y \cdot \sin\theta(x_0; y_0), \\ Y = y_0 + x \cdot \sin\theta(x_0; y_0) + y \cdot \cos\theta(x_0; y_0). \end{cases} \quad (3)$$

Враховуючи нову систему координат XOY періодичність зміни твердості поверхні леза лапи культиватора підпорядковується математичному закону:

$$H(X(x; y)) = H(X(x; y) + T) = H(X(x; y) + L + D) \quad (4)$$

Приймаємо, що твердість поверхні леза лапи культиватора H змінюється за законом (рис. 3):

$$H(X(x; y)) = \begin{cases} H_1, X \in [n(L+D); n(L+D)+L], n \in Z, \\ H_2, X \in [n(L+D)+L; (n+1)(L+D)], n \in Z. \end{cases} \quad (5)$$

де H_1, H_2 – твердість базового матеріалу поверхні леза лапи культиватора і локального зміцнення, відповідно.

Згідно рекомендацій співвідношення твердості базового матеріалу поверхні леза лапи культиватора до локального зміцнення повинно бути:

$$\frac{H_2}{H_1} = \eta \Rightarrow H_2 = \eta H_1 \quad (6)$$

Приймаючи реологічну модель матеріалу поверхні леза лапи культиватора у вигляді «тіла Максвелла-Томсона», запишемо визначаюче співвідношення у випадку плоскої деформації:

$$\begin{cases} \varepsilon_x + T_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} = \frac{1 - \nu_M^2}{E_M} \left(\sigma_x + T_\sigma \frac{\partial \sigma_x}{\partial t} \right) + \frac{\nu_M (1 + \nu_M)}{E_M} \left(\sigma_y + T_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} \right), \\ \varepsilon_y + T_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial t} = \frac{1 - \nu_M^2}{E_M} \left(\sigma_y + T_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} \right) + \frac{\nu_M (1 + \nu_M)}{E_M} \left(\sigma_x + T_\sigma \frac{\partial \sigma_x}{\partial t} \right), \\ \phi_{xy} + T_\varepsilon \frac{\partial \phi_{xy}}{\partial t} = \frac{1 + \nu_M}{E_M} \left(\tau_{xy} + T_\sigma \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial t} \right), \end{cases} \quad (7)$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – відносне подовження по осям Ox, Oy відповідно;

ϕ_{xy} – дотичне подовження;

$E_M = 2 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності (модуль Юнга) матеріалу лапи культиватора;

$\nu_M = 0,28$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу лапи культиватора;

T_ε, T_σ – час релаксації.

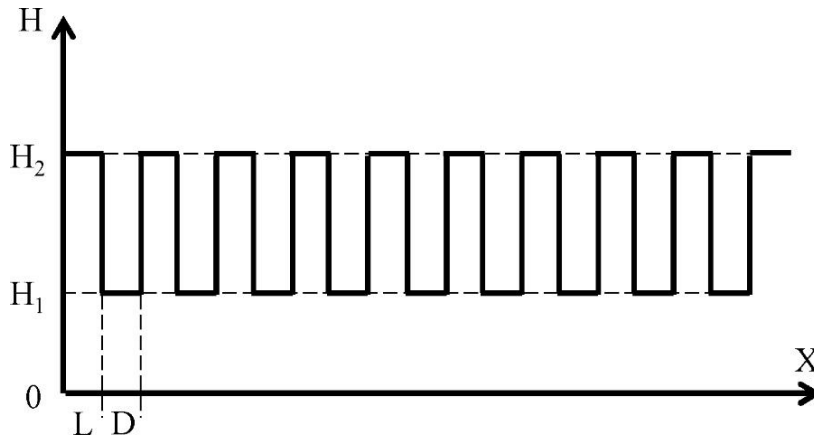


Рис. 3. Періодична функція твердості поверхні леза лапи культиватора

Співвідношення $\frac{T_\varepsilon}{T_\sigma} E$ представляє собою миттєвий модуль пружності, а вираз $\frac{1}{T_\varepsilon}$

– коефіцієнт швидкості післядії ($T_\varepsilon > T_\sigma$).

Перейдемо в систему координат (x', y') пов'язану з рухом лапи культиватора:

$$x = x' - Vt,$$

$$y = y'. \quad (8)$$

Компоненти тензорів деформацій ε і напруг σ в рухомій (x, y) і нерухомій (x', y') системах координат пов'язані між собою рівностями:

$$\begin{cases} \varepsilon_x + T_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} = \varepsilon'_x, & \varepsilon_y + T_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial t} = \varepsilon'_y - T_\varepsilon V \frac{\partial \varepsilon'_y}{\partial y}, \\ \sigma_x + T_\sigma \frac{\partial \sigma_x}{\partial t} = \sigma'_x, & \sigma_y + T_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} = \sigma'_y - T_\sigma V \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y}, \\ \phi_{xy} + T_\varepsilon \frac{\partial \phi_{xy}}{\partial t} = \phi'_{xy}, & \tau_{xy} + T_\sigma \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial t} = \tau'_{xy}. \end{cases} \quad (9)$$

Підставляючи (9) в (8) і опускаючи позначення «'» маємо:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1-\nu_M^2}{E_M} \sigma_x + \frac{\nu_M(1+\nu_M)}{E_M} \left(\sigma_y + T_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right), \\ \varepsilon_y - VT_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y} = \frac{1-\nu_M^2}{E_M} \left(\sigma_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right) + \frac{\nu_M(1+\nu_M)}{E_M} \sigma_x, \\ \phi_{xy} + T_\varepsilon \frac{\partial \phi_{xy}}{\partial t} = \frac{1+\nu_M}{E_M} \left(\tau_{xy} + T_\sigma \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial t} \right), \end{cases} \quad (10)$$

Перетворимо рівняння для напруг (9) до вигляду:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial t} = \frac{\sigma'_x - \sigma_x}{T_\sigma}, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} = \frac{\sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \sigma_y}{T_\sigma}. \end{cases} \quad (11)$$

Розділивши змінні отримуємо:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\sigma'_x - \sigma_x} = \frac{\partial t}{T_\sigma}, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \sigma_y} = \frac{\partial t}{T_\sigma}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \int \frac{d\sigma_x}{\sigma'_x - \sigma_x} = \int \frac{dt}{T_\sigma} \\ \int \frac{d\sigma_y}{\sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \sigma_y} = \int \frac{dt}{T_\sigma}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\ln|\sigma'_x - \sigma_x| = \frac{t}{T_\sigma} + \ln A, \\ -\ln\left|\sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \sigma_y\right| = \frac{t}{T_\sigma} + \ln B, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_x = \sigma'_x - Ae^{-\frac{t}{T_\sigma}}, \\ \sigma_y = \sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - Be^{-\frac{t}{T_\sigma}}, \end{cases} \quad (12)$$

де A, B – константи інтегрування, які знаходяться з умови

$$\begin{cases} \sigma_x|_{t=0} = 0, \\ \sigma_y|_{t=0} = P_0 = \frac{1}{2} \zeta V^2, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = \sigma'_x, \\ B = \sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \frac{1}{2} \zeta V^2. \end{cases} \quad (13)$$

Остаточно маємо:

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma'_x \left(1 - e^{-\frac{t}{T_\sigma}}\right), \\ \sigma_y = \sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \left(\sigma'_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \frac{1}{2} \zeta V^2\right) e^{-\frac{t}{T_\sigma}}, \end{cases} \quad (14)$$

Підставляючи в (14) тотожності лінійного зношування, що пов'язані з напругами [7] і опускаючи позначення «'» остаточно маємо:

$$\begin{cases} I_u = \frac{c}{H} \sigma_x \left(1 - e^{-\frac{t}{T_\sigma}}\right), \\ I_v = \frac{c}{H} \left(\sigma_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \left(\sigma_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} - \frac{1}{2} \zeta V^2\right) e^{-\frac{t}{T_\sigma}}\right). \end{cases} \quad (15)$$

Визначимо динаміку зношування леза лапи культиватора:

$$\begin{cases} I_{u0} = \frac{c}{H} \sigma_x(0,0) \left(1 - e^{-\frac{t}{T_\sigma}}\right), \\ I_{v0} = \frac{c}{H} \left(\sigma_y(0,0) - VT_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial y}(0,0) - \left(\sigma_y(0,0) - VT_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial y}(0,0) - \frac{1}{2} \zeta V^2\right) e^{-\frac{t}{T_\sigma}}\right), \end{cases} \quad (16)$$

Функції напружень:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \kappa \lambda_1^2 C e^{\frac{\zeta}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \kappa a_{02} + \Omega \left(\frac{b_1 a_{03} - b_2^2 a_{30} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0}{(1 + b_1 b_2)} + 1 \right) x + \\ &+ \Omega a_{03} y, \\ \sigma_y &= \kappa \lambda_2^2 C e^{\frac{\zeta}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \kappa a_{20} + \Omega (a_{30} + \xi_0) x + \\ &+ \Omega \left[\frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right] y, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= \Omega \lambda_1 \lambda_2^2 C e^{\frac{\zeta}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \\ &+ \Omega \left[\frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right], \\ \frac{\partial \sigma_x}{\partial y} &= \Omega \lambda_1^3 C e^{\frac{\zeta}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \Omega a_{03}, \\ \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} &= \frac{\Omega^2}{\kappa} \lambda_1^2 \lambda_2^2 C e^{\frac{\zeta}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} \end{aligned} \quad (17)$$

Підставляючи (17) в (16) знайдемо значення абсолютного зносу вздовж осей Ox і Oy :

$$\begin{cases} I_{u0} = 0, \\ I_{v0} = \frac{c}{H} \left(\frac{1}{2} \zeta V^2 + VT_{\sigma} \left(e^{-\frac{t}{T_{\sigma}}} - 1 \right) \right) \times \\ \times \left(\Omega \lambda_1 \lambda_2^2 C + \Omega \left[\frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right] \right) \end{cases} \quad (18)$$

При $t \rightarrow \infty$ значення абсолютного зносу має вид:

$$\begin{aligned} I_{v0}|_{t \rightarrow \infty} &= \frac{c}{H} \left(\frac{1}{2} \zeta V^2 - VT_{\sigma} \times \right. \\ &\times \left. \left(\Omega \lambda_1 \lambda_2^2 C + \Omega \left[\frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right] \right) \right) \end{aligned} \quad (19)$$

На рисунку 4 представлено залежність $I_{v0}(t)|_{H=H_1}$ і $I_{v0}(t)|_{H=H_2}$ (при прийнятих значень постійних і значення шляху тертя 5000 м: $T_{\sigma M} = T_{\varepsilon M} = 5000 \text{ м} / (1,5 \text{ м/с}) = 3333 \text{ с}$, $c = 2,8 \cdot 10^{-5}$, $H = 241000000 \text{ Па}$, $\eta = 1,5$), на якій видно різницю абсолютного зносу для базового матеріалу лапи культиватора і локального зміцнення:

$$\begin{aligned} I_{v0}(t)|_{H=H_1} &= 7,7455 \cdot 10^{-4} (2,41384 - 2,41384e^{-0,0003t}) \\ I_{v0}(t)|_{H=H_2} &= 1,16183 \cdot 10^{-3} (2,41384 - 2,41384e^{-0,0003t}). \end{aligned} \quad (20)$$

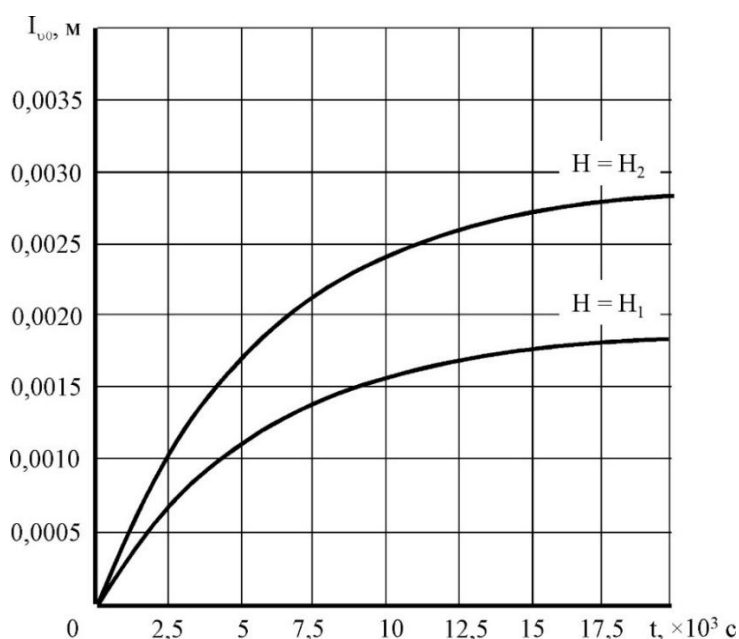


Рис. 4. Динаміка зміни абсолютного зносу для базового матеріалу поверхні леза лапи культиватора

$$I_{v0}(t)|_{H=H_1} \text{ і локального зміцнення } I_{v0}(t)|_{H=H_2}$$

Враховуючи отримані значення абсолютного зносу рівняння поверхні леза лапи культиватора представляється у вигляді

$$F(x, y - I_{v0}(t)) = 0, \quad (21)$$

або для значень постійних $L=D=10^{-2} \text{ м}$, $T_{\sigma M}=T_{\varepsilon M}=3333 \text{ с}$, $c=2,8 \cdot 10^{-5}$, $H=241000000 \text{ Па}$,

$\eta=1,5$:

$$X(x; y) = x + x \cdot \cos\theta(x; y) - y \cdot \sin\theta(x; y),$$

$$\theta(x; y) = 90^\circ + \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \text{Arctg} \left[\frac{0,99979 - 3,28983x + 1,19443y}{-0,36089 + 35,0009x + 12,70748y} \right], \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{При } X(x; y) \in [2n \cdot 10^{-3}; (2n+1) \cdot 10^{-3}] n \in Z \Rightarrow \\ \Rightarrow 0,00617137 + x + 0,36307y = \\ = 0,00610929 e^{-0,0003t} + 0,000024841 e^{-0,588952 e^{-0,0003t} - 3,28983x - 35,0009y}, \\ \text{При } X(x; y) \in [(2n+1) \cdot 10^{-3}; (2n+2) \cdot 10^{-3}] n \in Z \Rightarrow \\ \Rightarrow 0,00413494 + x + 0,36307y = \\ = 0,00407286 e^{-0,0003t} + 0,0000302295 e^{-0,392635 e^{-0,0003t} - 3,28983x - 35,0009y}. \end{aligned}$$

Графічна інтерпретація рівняння (22) представлено на рисунку 5 (а).

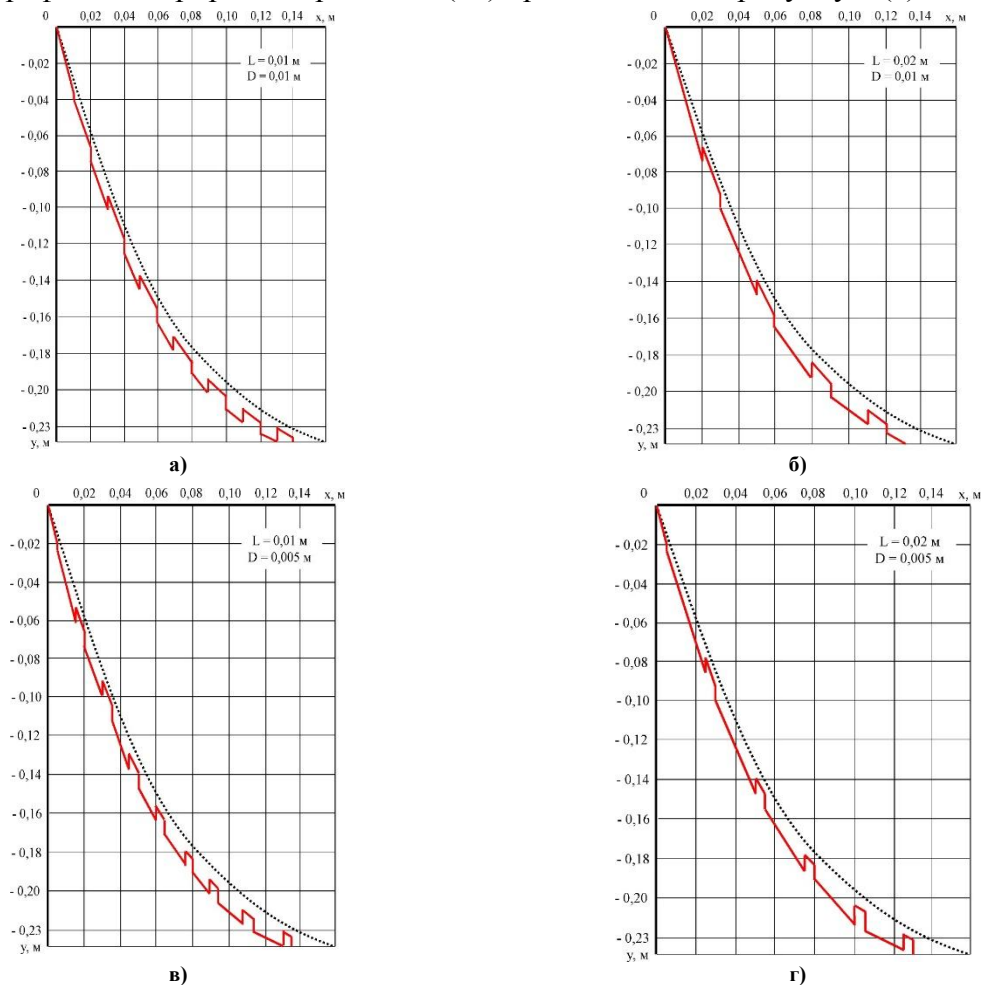


Рис. 5. Геометрична форма поверхні лапи культиватора локально зміщеного в результаті зношування при: $L = 0,01$ м, $D = 0,01$ м (а); $L = 0,02$ м, $D = 0,01$ м (б); $L = 0,01$ м, $D = 0,005$ м (в); $L = 0,02$ м, $D = 0,005$ м (г);

З використанням програмного пакету Mathematica варіюючи значеннями параметрів локального зміщення леза лапи культиватора L в межах від 0,01 м до 0,02 м і D в межах від 0,005 м до 0,01 м отримуємо відповідні геометричні форми його поверхні після зношення, які представлені на рисунку 5 (а) – (г).

З використанням програмного пакету Mathematica варіюючи швидкістю переміщення лапи культиватора V встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення

лапи культиватора з 0,5 м/с до 2,5 м/с спостерігається збільшення абсолютного зносу I_{v0} від 0,0015 м до 0,0021 м.

Аналізуючи рисунок 5 відмітимо, що теоретична функція геометричної форми поверхні лапи культиватора має кусочно-періодичний характер. Періодичність якої співпадає із періодом розташування її неоднорідної структури $T = L + D$. Однак гіпотетично в реальних умовах характер представленої форми буде більш плавним. Дане твердження необхідно перевірити експериментально.

Для визначення найбільш раціональної структури локального зміцнення побудуємо залежності швидкості зношування $\partial I_v / \partial t$ від куту розхилу лапи культиватора γ для кожного з варіантів (рис. 2.15): L = 0,01 м, D = 0,01 м (а); L = 0,02 м, D = 0,01 м (б); L = 0,01 м, D = 0,005 м (в); L = 0,02 м, D = 0,005 м (г).

Згідно поставленої умови рівнозношуваності ($\partial I_v / \partial t = \text{const}$) середнє квадратичне відхилення швидкості зношування, яке визначається за формулою [14] :

$$\Sigma \left(\frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = \sqrt{\int_0^{x_0} \frac{\partial I_v}{\partial t}(x) \left(x - \int_0^{x_0} x \frac{\partial I_v}{\partial t}(x) dx \right) dx} \quad (23)$$

повинно бути найменшим.

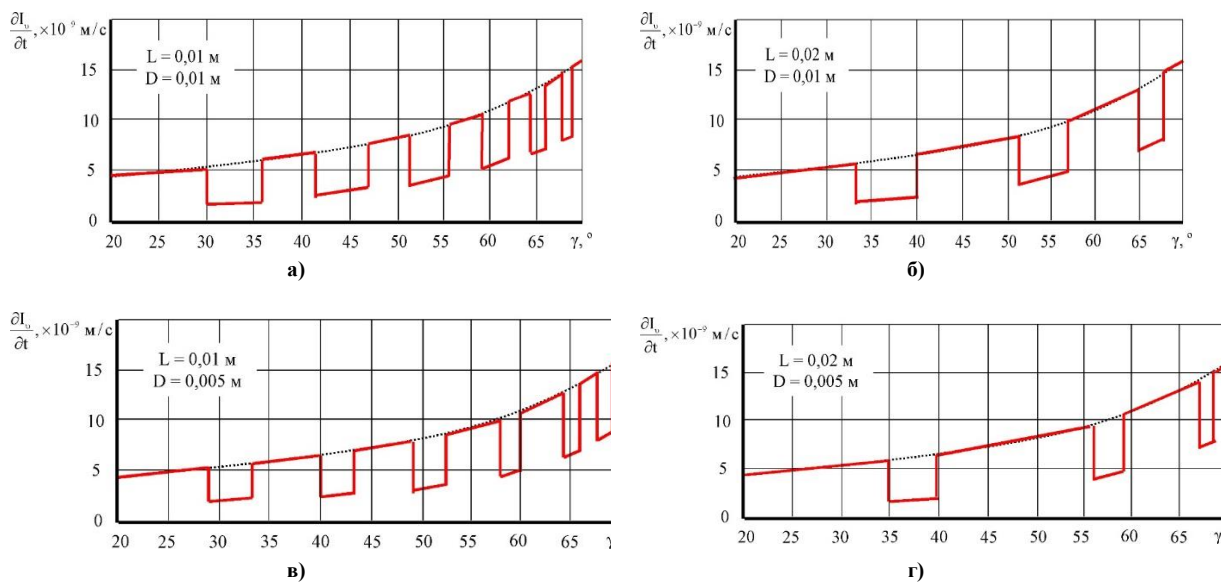


Рис. 6. Залежність швидкості зношування $\partial I_v / \partial t$ від куту розхилу лапи культиватора γ при: L = 0,01 м, D = 0,01 м (а); L = 0,02 м, D = 0,01 м (б); L = 0,01 м, D = 0,005 м (в); L = 0,02 м, D = 0,005 м (г);

Для кожного з варіантів, які приведені на рисунку 6 середнє квадратичне відхилення швидкості зношування складає:

- а) L = 0,01 м, D = 0,01 м; $\Sigma_a \left(\frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = 3,2 \cdot 10^{-9}$ м/с;
- б) L = 0,02 м, D = 0,01 м; $\Sigma_b \left(\frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = 4,9 \cdot 10^{-9}$ м/с;
- в) L = 0,01 м, D = 0,005 м; $\Sigma_v \left(\frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = 5,1 \cdot 10^{-9}$ м/с;
- г) L = 0,02 м, D = 0,005 м; $\Sigma_g \left(\frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = 4,3 \cdot 10^{-9}$ м/с.

Аналізуючи отримані дані встановлено, що найменше середнє квадратичне відхилення швидкості зношування спостерігається для варіанту (а) і складає

$\Sigma_a \left(\frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = 3,2 \cdot 10^{-9}$ м/с. Тому раціональними параметрами локального зміцнення леза лапи культиватора є такі:

$$L = 0,01 \text{ м, } D = 0,01 \text{ м.}$$

Висновки

1. В ході теоретичних досліджень формоутворення поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора встановлено динаміку її зношування. Виявлено, що теоретична функція геометричної форми поверхні лапи культиватора в результаті зношування має кусочно-періодичний характер із періодом розташування її неоднорідної структури $T = L+D$.

2. Варіюючи швидкістю переміщення лапи культиватора V встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення лапи культиватора з 0,5 м/с до 2,5 м/с спостерігається збільшення абсолютного зносу I_{v0} від 0,0015 м до 0,0021 м.

3. Для визначення найбільш раціональної структури локального зміцнення досліджена залежність швидкості зношування $\partial I_v / \partial t$ від кута розхилу лапи культиватора γ при певних значеннях параметрів локального зміцнення L в межах від 0,01 м до 0,02 м і D в межах від 0,005 м до 0,01 м. Аналізуючи отримані дані встановлено, що найменше середнє квадратичне відхилення швидкості зношування спостерігається для варіанту $L = 0,01$ м, $D = 0,01$ м і складає $\Sigma_a \left(\frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = 3,2 \cdot 10^{-9}$ м/с.

Література.

1. Аулін В.В. Керування характером та інтенсивністю зношування різальних частин робочих органів ґрунтообробних машин/ В.В.Аулін, Бобрицький В.М, Ауліна Т.М. та ін. // Вісник Харківського держ. техн. університету с.г. Вип.23. – Харків. – 2004. – С. 270-273.
2. Кобець А.С. Исследование износа культиваторных лап, оснащенных элементами локального упрочнения рабочей поверхности / А.С. Кобець, Б.А. Волик, А.Н. Пугач // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59.– Т.1 – С. 195-201.
3. Василенко М. Перспективи застосування локального зміцнення при виготовленні і відновленні робочих органів / М.Василенко //Техніка АПК – К.: 2008. - №1. – С.29-31.
4. Пугач А.М. Обґрунтування параметрів культиваторних лап, оснащених елементами локального зміцнення: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Пугач А.М.– Вінниця, 2010. – 20 с.
5. Гаврильченко О.С. Обґрунтування параметрів та розробка конструкції культиваторних лап з криволінійним лезом: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Гаврильченко Олександр Степанович. – Глеваха, 2005. – 20 с.
6. Бойко А.И. Упрочнение лезвий как метод управления их геометрической формой при изнашивании / А.И. Бойко, А.В. Балабуха // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства – Харків: ХДТУСГ, 2000. – Вип. 4. – С. 49-56.
7. 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.
8. Борак К.В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових знарядь методом електроерозійної обробки: автореф. дис.канд.техн.наук: спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / К.В.Борак. – Житомир. – 2012. – 19 с.
 9. Козаченко О.В. Дослідження по зміцненню леза дискових копачів корнезбиральної машини КС-6Б / О.В. Козаченко, О.В. Блезнюк // З. наук. Пр. Віницького держ. аграр. ун-ту. – 2005. – Вип. 21. – С. 185 – 189.
 10. Коган Б.И. Напряженное состояние неоднородного слоя, покоящегося на упругом полупространстве / Б.И.Коган, В.Д.Зинченко. Изв.ВУЗов. Строительство и архитектура. 1969. №3.
 11. Кондауров В.И. Основы термомеханики конденсированной среды/ В.И.Кондауров, В.Е.Фортов. - М.: Изд-во МФТИ, 2002, 336с.
 12. G. Mavko, T. Mukerji, J. Dvorkin. The Rock Physics Handbook. Cambridge University Press 2003 (paperback). ISBN 0-521-54344-4.
 13. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г.Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478.
 14. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятности. – 8-е изд. доп. и испр. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 448 с. – ISBN 5-354-01091-8

Summary

Kozachenko O.V., Kadenko V.S., Shkrega O.M., Bleznyuk O.V. A study of the process of wear of the blade arms of the cultivator with periodic zones of local strengthening

The results of theoretical researches of forming of locally reinforced blade arms of the cultivator in the interaction with the soil, justified rational parameters of local hardening, which provides increase of resistance of the working body when worn.

Keywords: wear, the paw of a cultivator, a local strengthening, the shape of the blade, the same amortization.

References

1. Aulin V.V. Keruvannya charakterom ta intensivnistyu znoshuvannya rizal'nih chastin robochih organiv gruntoobrobnih mashin/ V.V.Aulin, Bobric'kij V.M, Aulina T.M. ta in. // Visnik Harkivs'kogo derzh. tekhn. universitetu s.g. Vip.23. – Harkiv. – 2004. – S. 270-273.
2. Kobec A.S. Issledovanie iznosa kul'tivatornyh lap, osnashchennyh ehlementami lokal'nogo uprochneniya rabochej poverhnosti / A.S. Kobec, B.A. Volik, A.N. Pugach // Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. – Harkiv, 2007. – Vip. 59.– T.1 – S. 195-201.
3. Vasilenko M. Perspektivi zastosuvannya lokal'nogo zmichennya pri vigotovlenni i vidnovlenni robochih organiv / M.Vasilenko //Tekhnika APK – K.: 2008. - №1. – S.29-31.
4. Pugach A.M. Obruntuvannya parametriv kul'tivatornih lap, osnashchenih elementami lokal'nogo zmichennya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.05.11 / Pugach A.M.– Vinnicya, 2010. – 20 s.
5. Gavril'chenko O.S. Obgruntuvannya parametriv ta rozrobka konstrukcii kul'tivatornih lap z krivoliniijnim lezom: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.05.11 / Gavril'chenko Oleksandr

- Stepanovich. – Glevaha, 2005. – 20 s.
6. Bojko A.I. Uprochnenie lezviy kak metod upravleniya ih geometricheskoj formoj pri iznashivanii / A.I. Bojko, A.V. Balabuha // Visnik Harkivs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva – Harkiv: HDTUSG, 2000. – Vip. 4. – S. 49-56.
 7. Kozachenko O.V. Teoretichne obgruntuvannya racional'noï geometrichnoï formi lapi kul'tivatora /O.V.Kozachenko, V.S.Kadenko, O.M.Shkregal// Visnik Sums'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. Seriya «Mekhanizaciya ta avtomatizaciya virobnychih procesiv. Vip.10/1 (29), 2016. – S.48-52.
 8. Borak K.V. Pidvishchennya znosostijkosti robochih organiv diskovih znaryad' metodom elektroerozijnõi obrobki: avtoref. dis.kand.tekhn.nauk: spec. 05.02.04 «Tertya ta znoshuvannya v mashinah» / K.V.Borak. – ZHitomir. – 2012. – 19 s.
 9. 9. Kozachenko O.V. Doslidzhennya po zmichnennyu leza diskovih kopachiv kornezbiral'noï mashini KS-6B / O.V. Kozachenko, O.V. Bleznyuk // Z. nauk. Pr. Vinic'kogo derzh. agrar. un-tu. – 2005. – Vip. 21. – S. 185 – 189.
 10. Kogan B.I. Napryazhennoe sostoyanie neodnorodnogo sloya, pokoyashchegosya na uprugom poluprostranstve / B.I.Kogan, V.D.Zinchenko. Izv.VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1969. №3.
 11. Kondaurov V.I. Osnovy termomekhaniki kondensirovannoj sredy/ V.I.Kondaurov, V.E.Fortov. - M.: Izd-vo MFTI, 2002, 336s.
 12. G. Mavko, T. Mukerji, J. Dvorkin. The Rock Physics Handbook. Cambridge University Press 2003 (paperback). ISBN 0-521-54344-4.
 13. Goryacheva I.G. Mekhanika frikcionnogo vzaimodejstviya / I.G.Goryacheva. – M.: Nauka, 2001. – 478.
 14. Gnedenko B. V. Kurs teorii veroyatnosti. – 8-e izd. dop. i ispr. – M.: Editorial URSS, 2005. – 448 s. – ISBN 5-354-01091-8