

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

КАДЕНКО ВОЛОДИМИР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 631.312

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ  
ОБҐРУНТУВАННЯМ ФОРМИ ТА ПАРАМЕТРІВ ЛОКАЛЬНОГО  
ЗМІЩЕННЯ ЛЕЗА**

Спеціальність 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Козаченко Олексій Васильович,**  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка,  
професор кафедри надійності, міцності та технічного  
сервісу машин імені В.Я. Аніловича.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Дворук Володимир Іванович,**  
Національний авіаційний університет,  
професор кафедри теоретичної та прикладної фізики;

кандидат технічних наук  
**Борак Костянтин Вікторович,**  
Житомирський агротехнічний коледж,  
завідувач відділення агроінженерії.

Захист відбудеться «07» квітня 2017 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К64.832.03 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.М. Власовець

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** 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.

Внаслідок відсутності універсальних рекомендацій щодо підвищення зносостійкості лап культиваторів, їх ресурс залежить від умов експлуатації, властивостей ґрунтового середовища, параметрів леза тощо. Не дивлячись на багаточисельність проведених досліджень в напрямку підвищення зносостійкості робочих органів культиваторів, форма та параметри локального зміцнення леза лап не отримали належного теоретичного і експериментального обґрунтування з точки зору зношування та енергетичних витрат на тертя при виконанні технологічного процесу.

Дослідження, направлені на підвищення зносостійкості та зменшення енергоємності культиваторних лап, керування процесами зношування та опором переміщення їх в ґрунтового середовищі, керування формою робочої поверхні в процесі експлуатації є безумовно актуальним і важливим для теорії і практики тертя та зношування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 08.09.2011 р. № 3715-VI та п.2 постанови Кабінету Міністрів України від 17.05.2012 р. № 397 «Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012-2016 рр., планом науково-дослідних робіт навчально-наукового інституту технічного сервісу ХНТУСГ ім. П. Василенка «Дослідження, наукове обґрунтування і впровадження конкурентоспроможних ресурсозберігаючих технологій, засобів реновації, нових матеріалів і технічних засобів для інноваційного розвитку агропромислового комплексу», ДР 0109U000362.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення зносостійкості та зменшення енергоємності лап культиваторів шляхом обґрунтування форми та раціональних параметрів локального зміцнення леза.

Відповідно до поставленої мети сформульовані наступні основні завдання наукового дослідження:

- проаналізувати конструкції, умови експлуатації і характер зношування лап культиваторів при взаємодії з абразивним ґрунтовим середовищем та визначити ефективні напрямки зменшення втрат на тертя та підвищення їх зносостійкості;

- обґрунтувати раціональну геометричну форму лапи культиватора з умов мінімальності швидкості зношування та втрати на тертя при взаємодії з абразивним ґрунтовим середовищем;

- теоретично дослідити зношування поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора і визначити періодичність розташування її неоднорідної структури;

- експериментально дослідити зміну величини зносу та втрати на тертя лап культиватора з локальним зміцненням леза в процесі взаємодії з ґрунтовим середовищем;

- провести експлуатаційні випробування розроблених культиваторних лап по визначенню впливу форми та параметрів локального зміцнення на величину та характер зносу при взаємодії з ґрунтом. Впровадити результати дослідження у виробництво та дати техніко-економічну оцінку застосування розроблених лап культиваторів.

**Об'єкт досліджень** – процеси тертя та зношування робочих органів ґрунтообробних машин при їх взаємодії з абразивним середовищем ґрунту.

**Предмет досліджень** – підвищення зносостійкості лап культиваторів обґрунтуванням форми та параметрів локального зміцнення леза.

**Методи дослідження:** теоретичні дослідження процесу взаємодії робочої поверхні лапи культиватора ґрунтообробного знаряддя з ґрунтом проводилися з використанням основних положень теорії тертя та зношування в гетерофазному середовищі, фізики твердого та деформованого тіла, фізики та реології ґрунтів. Динаміка зміни геометрії робочої поверхні лапи культиватора розглянута з точки зору фізики пластично-пружних деформацій твердого тіла. Зміну триботехнічних характеристик робочої поверхні лапи культиватора ґрунтообробного знаряддя розглянуто з позицій взаємодії елементів в трибосистемі «лапа культиватора – ґрунт». Експериментальні дослідження базувалися на теорії планування експерименту, математичної статистики. Лабораторні дослідження проводили на розробленому обладнанні з використанням виготовлених експериментальних зразків.

Обробка результатів експериментів виконувалася з застосуванням стандартних комп'ютерних програм, розроблених на базі математичної статистики.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Вперше отримані залежності абсолютної швидкості зношування лап культиваторів від комплексного впливу параметрів локального зміцнення леза, фізико-механічних і реологічних властивостей ґрунту та експлуатаційних параметрів. Доведено взаємозв'язок між властивостями базового матеріалу поверхні лапи і локального зміцнення, швидкісного режиму і величиною абсолютного зносу, що дозволило визначити геометричну форму леза лапи культиватора при зношуванні.

2. Отримало подальший розвиток математична модель закономірностей впливу властивостей ґрунтового середовища на формоутворення поверхні леза лап культиваторів, яка на відміну від відомих враховує вплив нормального напруження в ґрунті відповідно до форми поверхні розробленої лапи культиватора.

3. Для оцінки впливу розроблених лап культиваторів на величину зносу вперше виконано комплексне обґрунтування їх конструктивних параметрів. Встановлено, що більший вплив на швидкість зношування локально зміцненого леза мають параметри – діаметр та крок зміцнення, менший – кут розхилу лапи культиватора.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішена науково-технічна задача підвищення зносостійкості робочих органів культиваторів. Одержані результати досліджень передані в конструкторське бюро ТОВ «ЛКМЗ» м. Лозова Харківської

області для використання при проектуванні та виготовленні ґрунтообробних робочих органів. Розроблена конструкція установки для випробувань на тертя та зношування (патент України № 111280) для кількісної оцінки зносостійкості робочих органів культиваторів. Наукові положення, отримані в дисертаційному дослідженні, впроваджені у навчальний процес кафедри надійності, міцності та технічного сервісу машині імені В.Я. Аніловича ХНТУСГ імені Петра Василенка. Ефективність запропонованих технічних рішень підтверджено економічним ефектом, отриманим від впровадження робочих органів у ВАТ «Супіна Агро» Харківської області становить 12728 грн.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи здобувачем отримані самостійно. Постановка задач досліджень, розробка методології та підходів до їх вирішення здійснювались спільно з науковим керівником. У наукових працях, виконаних у співавторстві, особистий вклад здобувача такий: [2] – виконана експериментальна оцінка впливу форми лап культиваторів та означені напрямки підвищення їх зносостійкості; [3] – досліджено вплив параметрів локального зміцнення на зносостійкість робочих органів культиваторів; [4] – експериментально отримано значення величини зносу леза лап при взаємодії з ґрунтовим середовищем за напрацюванням; [5] – теоретично досліджено вплив властивостей ґрунту на форму леза, що забезпечує мінімальну швидкість зношування; [7] – виконана оцінка впливу форми та параметрів локального зміцнення леза на втрати на тертя культиваторних лап; [8] – виконано теоретичне обґрунтування впливу параметрів локального зміцнення на зношування леза лапи культиватора.

**Апробація результатів дисертації.** Отримані результати роботи представлялися і обговорювалися на: Міжнародній науковій сесії «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин» (Харків, ХНТУСГ, 2014 – 2016 рр.); XV-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Житомир, ЖНАУ, 2014 р.); XXI-й Міжнародній науково-практичній конференції «Технології XXI століття» (Суми, СНАУ, 2015 р.); X-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Кіровоград, КНТУ, 2015 р.); науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» присвяченій 116 річниці з дня народження академіка П.М.Василенка (Суми, СНАУ, 2016 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 8 наукових праць у фахових виданнях (2 одноосібних), 1 – у закордонному виданні, 3 публікації і тез конференцій, одержано 3 патенти України на корисну модель.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел, який включає 155 найменувань, і додатків. Робота викладена на 192 сторінках, з них 159 сторінки основного тексту, містить 70 рисунків і 18 таблиць.

### **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі розкрито важливість обраної проблеми досліджень, обґрунтовано актуальність теми дисертації, мету і завдання дослідження, сформульовано наукову новизну одержаних результатів, зазначено практичну цінність використання й

впровадження результатів дослідження, вказані дані про апробацію основних положень дисертації.

**У першому розділі** представлено аналіз результатів відомих досліджень в галузі створення та підвищення зносостійкості робочих органів культиваторів. Виявлено, що основні характеристики елементів трибосистеми «лапа культиватора-грунт» мають визначальний вплив на закономірності зношування поверхонь тертя при експлуатації.

Процесам взаємодії робочих органів з ґрунтом присвячені роботи В.П. Горячкіна, П.М. Василенка, П.М. Заїки, Г.М. Синсокова, А.М. Панченка, Я.С. Гукова, А.С. Кушнарєва, В.Ф. Пашенка, І.А. Шевченка, В.М. Сала та ін. Авторами розвинута теорія функціонування робочих органів ґрунтообробних машин в напрямку забезпечення якісних та енергетичних показників процесу. Обґрунтування форми ґрунтообробних робочих органів досліджувалося в роботах Л.Ф. Бабицького, В.І. Ветохіна, А.С. Кушнарєва, В.Ф. Пашенка, В.І. Корабельського, А.І. Любімова, О.В. Козаченка, О.С. Гаврильченка та інших вчених. Однак, розглядаючи раціональні підходи до процесу обробітку ґрунту, в роботах недостатньо уваги приділялося зміні геометричної форми робочих органів при їх зношуванні та методам підвищення їх зносостійкості. Значний вклад у вирішення цієї проблеми внесли М.М. Хрущов, М.М. Севернев, В.Н. Ткачев, В.М. Винокуров, В.І. Виноградов, М.М. Тененбаум, Д.М. Гаркунов, М.І. Черновол, В.І. Дворук, А.І. Бойко, В.В. Аулін, О.Д. Саїнсус, М.І. Волошко, К.В. Борак та інші вчені.

Проведений аналіз показав, що сучасні напрямки підвищення зносостійкості лап культиваторів направлені, в основному, на пошук нових матеріалів для їх виготовлення, використання методів термічної і хіміко-термічної обробки, застосування зміцнюючих покриттів, що сприяє уповільненню зношування поверхонь тертя. При цьому, такі підходи не усувають проблему нерівномірності зношування по окремих ділянках поверхонь ґрунтообробних робочих органів і втрати їх початкової геометрії, що в першу чергу стосується різальних елементів лап культиваторів. Встановлено, що уповільнення інтенсивності зношування робочих поверхонь може бути досягнуто обґрунтуванням раціональної форми леза лап культиваторів та параметрів його локального зміцнення.

З аналізу літературних джерел сформульована мета і завдання дослідження.

**Другий розділ** роботи присвячений розробці математичних моделей зношування поверхні леза лапи культиватора із періодичними ділянками локального зміцнення при взаємодії з ґрунтом.

Схема поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора представлена на рис. 1.

Припущення, які прийняті при розробці математичних моделей:

- ґрунт є суцільним, однорідним, однофазним, ізотропним середовищем;
- в якості теорії міцності ґрунтів використовується теорію Кулона-Мора;
- взаємодію лапи з ґрунтом розглядаємо, як плоску задачу теорії пружності в прямокутних координатах;
- взаємодія з ґрунтом розглядається з урахуванням швидкостей поширення напружень і деформацій у ґрунті;
- коефіцієнт зчеплення та кут внутрішнього тертя ґрунту залежать від його вологості і щільності:

$$\kappa = -2,25 \cdot 10^{-4} W_0^3 + 1,37 \cdot 10^{-2} W_0^2 - 1,99 \cdot 10^{-2} W_0; \quad (1)$$

$$\rho = -4,13 \cdot 10^{-4} W_0^2 + 1,66 \cdot 10^{-2} W_0 + 4,51 \cdot 10^{-1}; \quad (2)$$

$$\zeta = -2,9397 W_0^2 + 89,43 W_0 + 797, \quad (3)$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт зчеплення ґрунту, Па;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, рад;  
 $W_0$  – вологість ґрунту;  $\zeta$  – щільність ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

– неоднорідна структура композитного матеріалу леза є періодичною;

– швидкість лінійного зношування леза пропорційно тиску ґрунту;

– реологічна модель матеріалу основи і ділянок локального зміцнення леза може бути описана у вигляді «тіла Максвелла-Томсона».

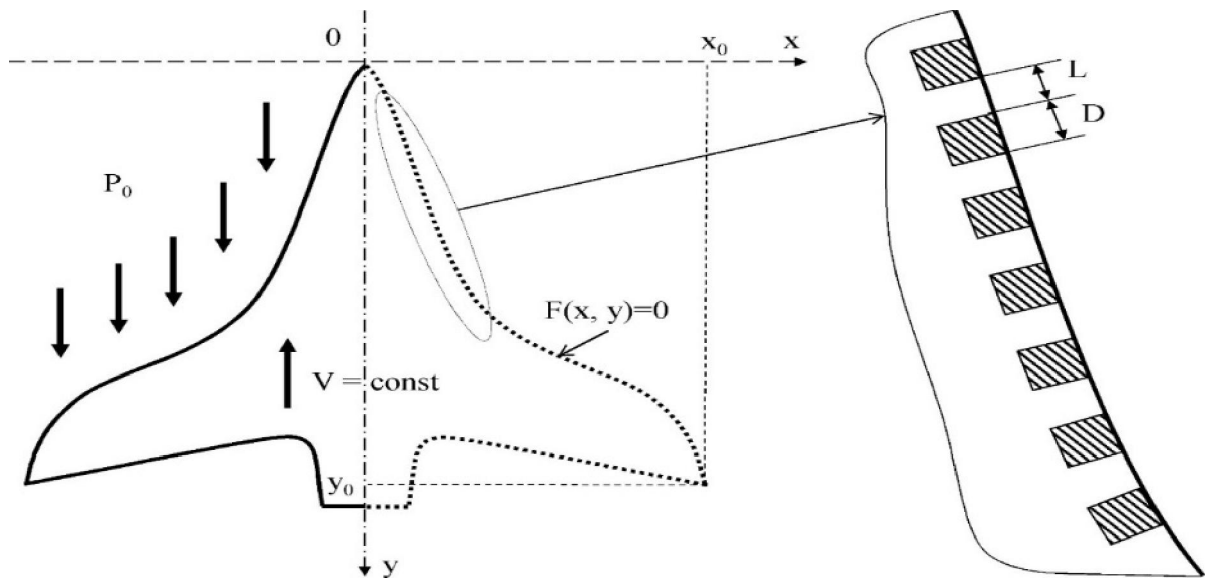


Рис. 1. Схема поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора

Швидкість лінійного зношування леза лапи  $\partial u / \partial t$  і  $\partial v / \partial t$  пов'язана з напругами  $\sigma$  співвідношенням:

$$\frac{\partial I_u}{\partial t} = c \frac{\sigma_x}{H}; \quad \frac{\partial I_v}{\partial t} = c \frac{\sigma_y}{H}; \quad (4)$$

де  $I_u, I_v$  – переміщення границі леза при зношуванні (абсолютний лінійний знос) вздовж осей  $Ox$  і  $Oy$ , відповідно, м;  $\sigma_x, \sigma_y$  – нормальне напруження вздовж осей  $Ox$  і  $Oy$ , відповідно, Па;  $c$  – параметр, що визначається експериментально, м/с;  $H$  – твердість матеріалу, Па.

Згідно поставленої задачі, а саме мінімізація швидкості зношування поверхні лапи культиватора, і представлених залежностей (4) отримуємо твердження про мінімальність напруженості:

$$\frac{\partial I_u}{\partial t} \rightarrow \min \Rightarrow \sigma_x \rightarrow \min; \quad \frac{\partial I_v}{\partial t} \rightarrow \min \Rightarrow \sigma_y \rightarrow \min. \quad (5)$$

Рівняння рівноваги елементарного об'єму суцільного вагомому середовища ґрунту для розглянутого нами випадку плоскої задачі в прямокутній системі координат  $(x, y)$  і тотожність, що задовольняє дане рівняння мають вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \Omega, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \Omega x, \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \xi_0 \Omega x \\ \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}, \end{cases} \quad (6)$$

де  $\tau_{xy}$  – дотичне напруження опору ґрунту, Па;  $\Omega = \zeta \cdot g \cdot \text{tg} \rho$  – об'ємна сила інерції ґрунту відносно лапи,  $\text{Н/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, рад;  $\xi_0$  – коефіцієнт бокового тиску ґрунту.

З умови міцності Мора впливає те, що величина середньої головної напруги не впливає на міцність ґрунту. Умова може бути записано за допомогою діаграми Мора в такий спосіб:

$$\frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{\sigma_x + \sigma_y + 2\kappa \text{tg} \rho} = \sin \rho. \quad (7)$$

Граничними умовами для поставленої задачі є:

$$\begin{cases} \sigma_x(0,0) = 0, & \sigma_y(0,0) = P_0 = \frac{1}{2} \zeta V^2, \\ \sigma_x(x_0, y_0) = 0, & \sigma_y(x_0, y_0) = P_0 = \frac{1}{2} \zeta V^2, \\ \tau_{xy}(0,0) = 0, & \tau_{xy}(x_0, y_0) = 0, \\ \sigma_x(x, y) \rightarrow \min \Rightarrow \frac{\partial \sigma_x(x, y)}{\partial x} = 0, & \sigma_y(x, y) \rightarrow \min \Rightarrow \frac{\partial \sigma_y(x, y)}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Вирішуючи спільно рівняння (6)-(8) отримуємо:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \kappa \lambda_1^2 C e^{\frac{\Omega}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \kappa a_{02} + \Omega \left( \frac{b_1 a_{03} - b_2^2 a_{30} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0}{1 + b_1 b_2} + 1 \right) x + \Omega a_{03} y, \\ \sigma_y &= \kappa \lambda_2^2 C e^{\frac{\Omega}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \kappa a_{20} + \Omega (a_{30} + \xi_0) x + \\ &+ \Omega \left[ \frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right] y, \\ \tau_{xy} &= -\kappa \lambda_1 \lambda_2 C e^{\frac{\Omega}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} - \kappa b_1 a_{02} + \kappa b_2 a_{20} + \kappa \frac{\cos \rho}{\chi_1 \beta} - \\ &- \Omega \left[ \frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right] x + \\ &- \Omega \frac{b_1 a_{03} - b_2^2 a_{30} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0}{(1 + b_1 b_2)} y, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $b_1 = (\chi_1 \alpha - \sin \rho) / (2\chi_1 \beta)$ ;  $b_2 = (\chi_1 \alpha + \sin \rho) / (2\chi_1 \beta)$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$  – чисельні коефіцієнти апроксимації  $\alpha = 0,3978$ ,  $\beta = 0,9604$ ;



$\chi_1 = \text{sign}(\overline{\sigma_x} - \overline{\sigma_y})$  – кусочно-постійна функція;

$$a_{12} = (1 + b_1 b_2)^{-1} (b_1 a_{03} - b_2^2 a_{30} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0);$$

$$a_{21} = b_1 a_{12} - b_2 a_{30} + b_1 - b_2 \xi_0; \quad a_{11} = b_1 a_{02} - b_2 a_{20}.$$

Запишемо закон Гука для плоскої задачі теорії пружності в прямокутних координатах:

$$\varepsilon_x = (\sigma_x - \nu \sigma_y) / E, \quad \varepsilon_y = (\sigma_y - \nu \sigma_x) / E, \quad (10)$$

де  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  – відносне подовження по осях  $Ox$  і  $Oy$ , відповідно;  $E$  – модуль пружності ґрунту (модуль Юнга);  $\sigma_x, \sigma_y$  – коефіцієнт Пуассона для ґрунту.

Виходячи з умови рівномірних (ізотропних) деформацій вздовж осей  $Ox$  і  $Oy$  отримуємо рівняння:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y. \quad (11)$$

Підставляючи в (11) закон Гука (10) і вирази (9) отримано математичну модель раціональної форми леза лапи:

$$\begin{aligned} & \kappa \lambda_1^2 C e^{\frac{\Omega}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \kappa a_{02} + \Omega \left( \frac{b_1 a_{03} - b_2^2 a_{30} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0}{(1 + b_1 b_2)} + 1 \right) x + \Omega a_{03} y = \\ & = \kappa \lambda_2^2 C e^{\frac{\Omega}{\kappa}(\lambda_1 y + \lambda_2 x)} + \kappa a_{20} + \Omega (a_{30} + \xi_0) x + \\ & + \Omega \left[ \frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right] y. \end{aligned} \quad (12)$$

Підставляючи в (12) отримані константи, значення постійних ( $V = 1,5$  м/с,  $W_0 = 22$  %,  $\zeta = 1340$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho = 0,6274$  рад;  $\kappa = 2,10169$  Па;  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>,  $\alpha = 0,3978$ ,  $\beta = 0,9604$ ,  $\xi_0 = 0,3$  МПа,  $x_0 = 0,165$  м,  $y_0 = -0,23$  м,  $C = 3,14636 \cdot 10^7$ ,  $a_{02} = -1872,98$ ,  $a_{20} = 701,613$ ,  $a_{03} = 1744,68$ ,  $a_{30} = -292982$ ,  $\lambda_1 = -0,00771547$ ) і, вирішуючи його в програмному пакеті «Mathematica», отримано геометричну форму поверхні лапи культиватора у вигляді неявної функції (рис. 2):

$$0,0000620839 x + 0,36307 y - 0,0000447661 e^{-3,28983 x - 35,0009 y} = 0. \quad (13)$$

Кут розхилу лапи культиватора визначається з умови (рис. 3):

$$\gamma = 90 + 180 \cdot \text{arctg} \left( \frac{dy(x)}{dx} \Big|_{x=0} \right). \quad (14)$$

Згідно виразу (4) і розподілу нормального напруження  $\sigma_y$  згідно (9) в ґрунті швидкість зношування  $\partial I_v / \partial t$  залежить від кута розхилу лапи культиватора  $\gamma$  (рис. 4), при значеннях кута розхилу від 25° до 45° швидкість зношування  $\partial I_v / \partial t$  змінюється за лінійним законом.

З використанням програмного пакету «Mathematica» варіюючи вологістю ґрунту  $W$ , його щільністю  $\zeta$ , коефіцієнтом бокового тиску  $\xi_0$  і швидкістю переміщення лапи культиватора  $V$  отримані відповідні геометричні форми її поверхні. Із збільшенням швидкості руху в межах від 0,5 м/с до 2,5 м/с кут розхилу збільшується і, відповідно, складає  $\gamma_{V=0,5} = 17,2^\circ$ ;  $\gamma_{V=1,5} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{V=2,5} = 22,1^\circ$ . При цьому змінюється форма леза лапи, так при швидкостях  $V = 2,5$  м/с вона наближається до лінійного закону.

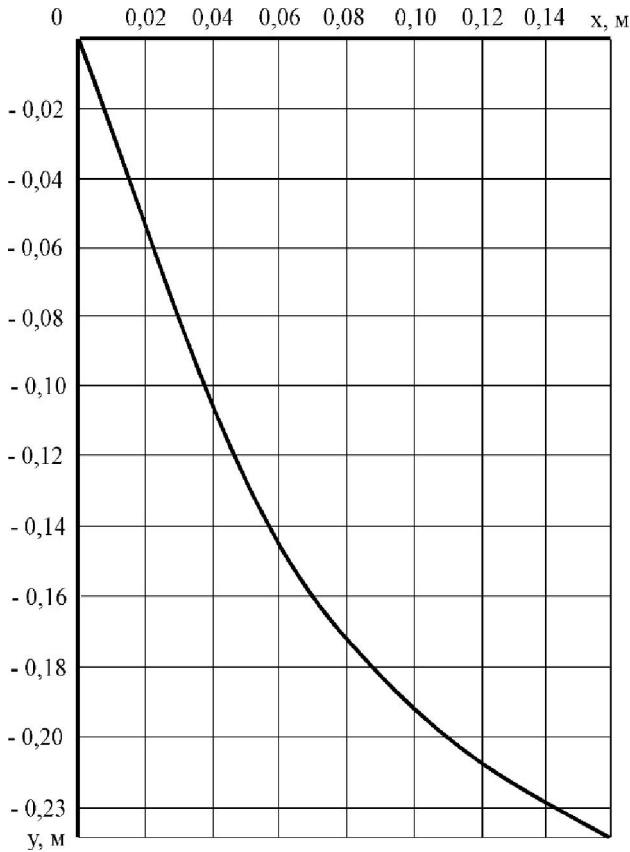


Рис. 2. Геометрична форма поверхні лапи культиватора

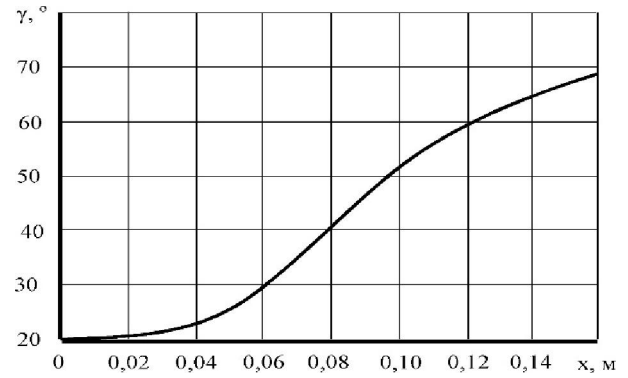


Рис. 3. Зміна кута розхилу по довжині леза лапи культиватора

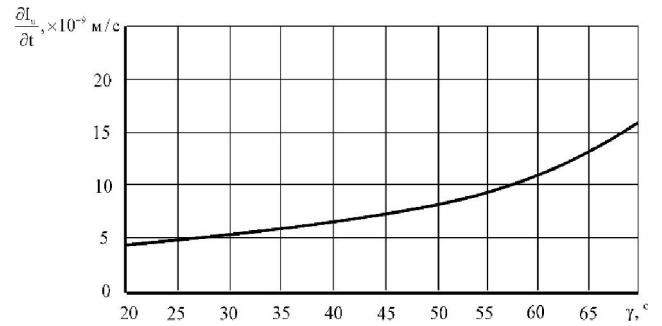


Рис. 4. Залежність швидкості зношування  $\partial I_v / \partial t$  від кута розхилу лапи культиватора  $\gamma$

Зміна значень вологості ґрунту в межах від 18 % до 24 % зумовлює зміну кута розхилу лапи культиватора і складає:  $\gamma_{W=18\%} = 15,4^\circ$ ;  $\gamma_{W=22\%} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{W=24\%} = 22,6^\circ$ . При вологості ґрунту  $W=24\%$  спостерігається найбільший кут загострення  $\gamma = 22^\circ$ , це пов'язано з тим що вологість параболічно впливає на коефіцієнт зчеплення  $\kappa$ , кут внутрішнього тертя  $\rho$  і щільність  $\zeta$  ґрунту. Із збільшенням коефіцієнта бокового тиску ґрунту  $\xi_0$  в межах від 0,1 МПа до 0,5 МПа кут розхилу лапи культиватора збільшується:  $\gamma_{\xi=0,1} = 18,8^\circ$ ;  $\gamma_{\xi=0,3} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{\xi=0,5} = 20,4^\circ$ .

Варіюючи значеннями щільності ґрунту  $\zeta$  в діапазоні від  $1100 \text{ кг/м}^3$  до  $1500 \text{ кг/м}^3$  встановлено, що із збільшенням щільності ґрунту кут розхилу лапи культиватора зменшується:  $\gamma_{\zeta=1260} = 21,0^\circ$ ;  $\gamma_{\zeta=1340} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{\zeta=1420} = 18,7^\circ$ .

Вирішувалася задача зношування локально зміцненого леза при взаємодії з ґрунтом. Лезо лапи 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 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  $F(x,y) = 0$ .

Приймаємо, що твердість поверхні леза лапи  $H$  змінюється за законом:

$$H(X(x; y)) = \begin{cases} H_1, X \in [n(L + D); n(L + D) + L], n \in Z, \\ H_2, X \in [n(L + D) + L; (n + 1)(L + D)], n \in Z. \end{cases} \quad (15)$$

де  $X = x_0 + x \cdot \cos \theta(x_0; y_0) - y \cdot \sin \theta(x_0; y_0)$ ;  $\theta(x_0; y_0) = 90^\circ + \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \left[ \frac{dy}{dx}(x_0; y_0) \right]$ ;

$H_1, H_2$  – твердість базового матеріалу лапи культиватора і локального зміцнення, відповідно, ( $H_2 = \eta H_1$ ).

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

$$\begin{cases} \varepsilon_x + T_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} = \frac{1 - \nu_M^2}{E_M} \left( \sigma_x + T_\sigma \frac{\partial \sigma_x}{\partial t} \right) + \frac{\nu_M (1 + \nu_M)}{E_M} \left( \sigma_y + T_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} \right), \\ \varepsilon_y + T_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial t} = \frac{1 - \nu_M^2}{E_M} \left( \sigma_y + T_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} \right) + \frac{\nu_M (1 + \nu_M)}{E_M} \left( \sigma_x + T_\sigma \frac{\partial \sigma_x}{\partial t} \right), \\ \phi_{xy} + T_\varepsilon \frac{\partial \phi_{xy}}{\partial t} = \frac{1 + \nu_M}{E_M} \left( \tau_{xy} + T_\sigma \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial t} \right), \end{cases} \quad (16)$$

де  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  – відносне подовження по осям  $Ox, Oy$ , відповідно;  $\phi_{xy}$  – дотичне подовження;  $E_M$  – модуль пружності (модуль Юнга) матеріалу лапи;  $\nu_M$  – коефіцієнт Пуассона матеріалу лапи;  $T_\varepsilon, T_\sigma$  – час релаксації.

Рішенням рівняння (16) і (4) є:

$$\begin{cases} I_u = \frac{c}{H} \sigma_x \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_\sigma}} \right), \\ I_v = \frac{c}{H} \left( \sigma_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} - \left( \sigma_y - VT_\sigma \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} - \frac{1}{2} \zeta V^2 \right) e^{-\frac{t}{T_\sigma}} \right). \end{cases} \quad (17)$$

Підставляючи в (17) вирази (9) і приймаючи  $t \rightarrow \infty$  значення абсолютного зносу має вид:

$$\begin{aligned} I_{v0}|_{t \rightarrow \infty} &= \frac{c}{H} \left( \frac{1}{2} \zeta V^2 - VT_\sigma \times \right. \\ &\times \left. \left( \Omega \lambda_1 \lambda_2^2 C + \Omega \left[ \frac{b_1 (b_1 a_{03} + b_1 b_2 - b_2^2 \xi_0) - a_{30} (1 + 2b_1 b_2) b_2}{1 + 2b_1 b_2} + b_1 - b_2 \xi_0 \right] \right) \right). \end{aligned} \quad (18)$$

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

$$F(x, y - I_{v0}(t)) = 0 \quad (19)$$

або для значень постійних  $L=D = 10^{-2}$  м,  $T_{\sigma M} = T_{\varepsilon M} = 3333$  с,  $c = 2,8 \cdot 10^{-5}$ ,  $H = 241000000$  Па,  $\eta = 1,5$ :

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

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

$$\text{При } X(x; y) \in [2n \cdot 10^{-3}; (2n+1) \cdot 10^{-3}] n \in Z \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,00617137 + x + 0,36307 y = \quad (20)$$

$$= 0,00610929 e^{-0,0003t} + 0,0000248411 e^{-0,588952 e^{-0,0003t} - 3,28983x - 35,0009y},$$

$$\text{При } X(x; y) \in \left[ (2n+1) \cdot 10^{-3}; (2n+2) \cdot 10^{-3} \right] n \in Z \Rightarrow \\ \Rightarrow 0,00413494x + 0,36307 y =$$

$$= 0,00407286 e^{-0,0003t} + 0,0000302295 e^{-0,392635 e^{-0,0003t}} - 3,28983x - 35,0009y.$$

Графічна інтерпретація рівняння (20) представлено на рисунку 5.

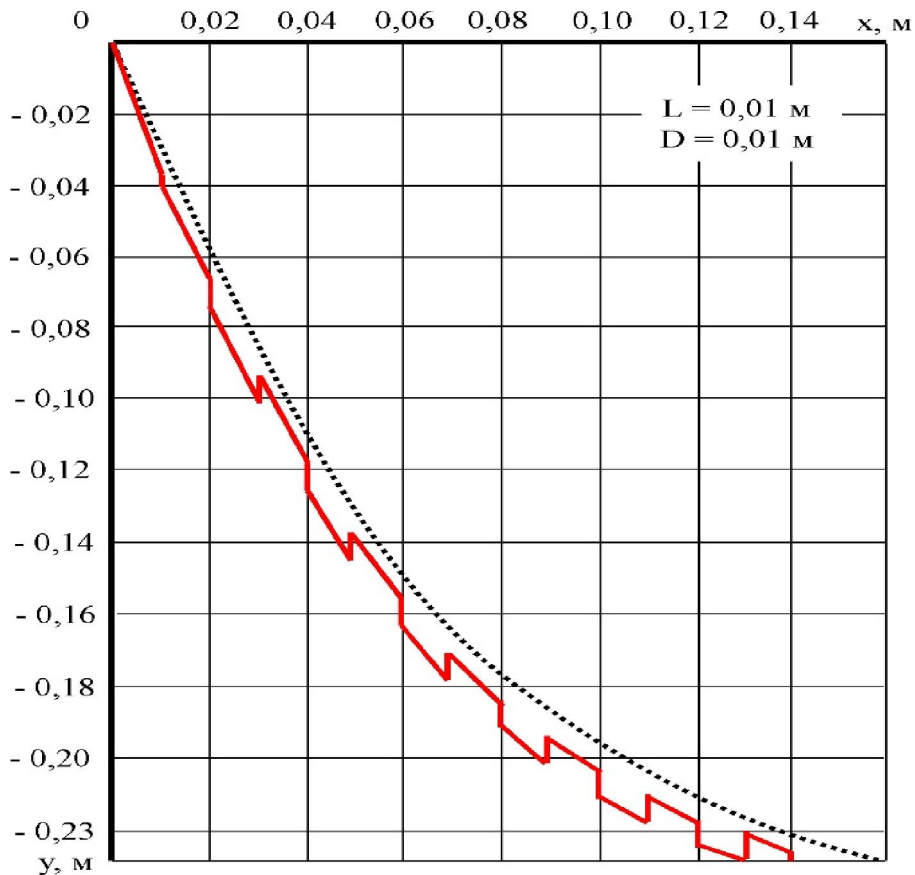


Рис. 5. Геометрична форма поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора при зношуванні

Встановлено, що із збільшенням швидкості руху лапи з 0,5 м/с до 2,5 м/с спостерігається збільшення абсолютного зносу  $I_{v0}$  в межах від 0,0015 м до 0,0021 м.

Для визначення раціональної структури локального зміцнення леза побудовано залежності швидкості зношування  $\partial I_v / \partial t$  від кута розхилу лапи  $\gamma$  для варіантів:  $L = 0,01$  м,  $D = 0,01$  м (рис. 6);  $L = 0,02$  м,  $D = 0,01$  м;  $L = 0,01$  м,  $D = 0,005$  м;  $L = 0,02$  м,  $D = 0,005$  м.

Згідно поставленої умови рівнозношуваності ( $\partial I_v / \partial t = const$ ) середнє квадратичне відхилення швидкості зношування, яке визначається за формулою,

$$\Sigma \left( \frac{\partial I_v}{\partial t} \right) = \sqrt{\int_0^{x_0} \frac{\partial I_v}{\partial t}(x) \left( x - \int_0^{x_0} x \frac{\partial I_v}{\partial t}(x) dx \right) dx} \quad (21)$$

повинно бути найменшою.

Для кожного з варіантів середнє квадратичне відхилення швидкості зношування складає: а)  $L = 0,01$  м,  $D = 0,01$  м;  $\Sigma_a(\partial I_v / \partial t) = 3,2 \cdot 10^{-9}$  м/с; б)  $L = 0,02$  м,  $D = 0,01$  м;  $\Sigma_a(\partial I_v / \partial t) = 4,9 \cdot 10^{-9}$  м/с; в)  $L = 0,01$  м,  $D = 0,005$  м;  $\Sigma_a(\partial I_v / \partial t) = 5,1 \cdot 10^{-9}$  м/с; г)  $L = 0,02$  м,  $D = 0,005$  м;  $\Sigma_a(\partial I_v / \partial t) = 4,3 \cdot 10^{-9}$  м/с.

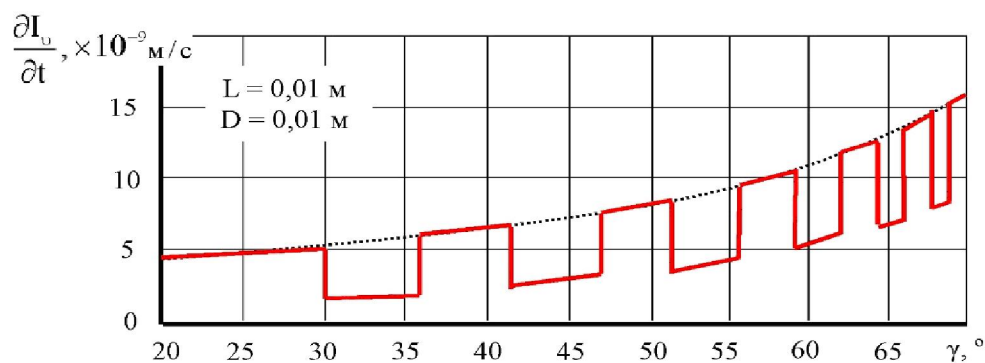


Рис. 6. Залежність швидкості зношування  $\frac{\partial I_v}{\partial t}$  від кута розхилу лапи культиватора  $\gamma$

Аналізуючи отримані дані встановлено, що найменше середнє квадратичне відхилення швидкості зношування спостерігається для першого варіанту і складає:  $\Sigma_a(\frac{\partial I_v}{\partial t}) = 3,2 \cdot 10^{-9}$  м/с. Тому раціональними параметрами локального зміцнення леза лапи культиватора є:  $D = 0,01$  м,  $L = 0,01$  м.

**У третьому розділі** викладено програму експериментальних досліджень, наведено методику їх проведення, описано експериментальні установки, прилади та обладнання. Експериментальні дослідження проводилися з метою доповнення і перевірки правильності математичної моделі процесу зношування леза лапи культиватора із періодичними ділянками локального зміцнення при взаємодії з ґрунтом та визначення його оптимальних конструктивно-режимних параметрів.

Комплекс експериментальних досліджень зношування зразків і культиваторних лап виконувався у такій послідовності:

- лабораторні дослідження зношування зразків монометалевого і локально зміцненого леза на круговому стенді для визначення величини, характеру зносу та раціональних параметрів локального зміцнення;
- дослідження динаміки зношування криволінійного локально зміцненого леза лапи культиватора в умовах стендових випробувань;
- вивчення впливу форми локально зміцненого леза та режимів роботи на втрати на тертя у порівнянні із серійною стрілкою лапою культиватора;
- польові випробування розроблених робочих органів культиватора, встановлення кореляційних зв'язків між параметрами локального зміцнення та інтенсивністю зношування лап;

Дослідження зношування зразків різальних елементів лап культиваторів проводили на розробленому круговому стенді, який імітує зношування робочих органів культиватора в польових умовах (рис.7; 8) і запропонованій методиці вимірювання значення зносу за напрацюванням.



Рис. 7. Круговий стенд



Рис. 8. Зразок різального елемента леза

Наплавлення елементів локального зміцнення електродами Т-590 на зразки зі сталі 65Г і лапи проводилися на промисловому обладнанні ТОВ «ЛКМЗ». Товщина наплавленого локального покриття складала 0,5 мм. Величину лінійного зносу зразків і лап культиваторів визначали за допомогою розробленого спеціального пристосування. Дослідження втрат на тертя лап проводили із застосуванням вимірювального комплексу в ґрунтовому каналі (рис.9) і в умовах експлуатації (рис.10). Експлуатаційні випробування здійснювалися в умовах господарства ВАТ «Супіна Агро» Харківської області.



Рис. 9. Засоби вимірювання витрат на тертя культиваторних лап в ґрунтовому каналі



Рис. 10. Експериментальний культиватор

Обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень здійснювали математико-статистичними методами з використанням пакетів прикладних програм на ПК.

У четвертому розділі виконано експериментальну оцінку ступеня впливу факторів, які входять до математичної моделі, на процес зношування локально зміцненого леза лапи культиватора.

Застосуванням методики планування багатофакторного експерименту за критерієм оптимізації – швидкість зношування, одержано рівняння регресії:

$$\begin{aligned} \partial I_v / \partial t = & (417,743 + 9,97333 D^2 - 93,3 D - 3,14 L D - 10,575 L + \\ & + 1,32333 L^2 - 1,981 \gamma + 0,0457333 \gamma^2) 10^{-7}, \end{aligned} \quad (22)$$

де  $D$  – діаметр зміцнення;  $L$  – крок зміцнення;  $\gamma$  – кут розхилу.

Графічну інтерпретацію отриманої залежності (22) представлено на рис. 11. Встановлено оптимальні значення факторів: діаметр локального зміцнення

$D=0,0065$  м; крок локального зміцнення  $L= 0,0117$  м; кут розхилу  $\gamma= 20^\circ$  при мінімальній швидкості зношування леза лапи (шлях тертя  $S = 5000$  м, швидкість руху  $V = 1,5$  м/с)  $\partial I_v / \partial t = 29,83 \cdot 10^{-7}$  м/с. В зв'язку з тим, що в представленому рівнянні (22) немає взаємодії факторів  $D (x_1)$  із  $\gamma (x_3)$  і  $L (x_2)$  із  $\gamma (x_3)$  то значення діаметра  $D = 0,0065$  м і кроку  $L = 0,0117$  м зміцнення є оптимальними для будь-якого кута розхилу  $\gamma$  досліджуваного інтервалу.

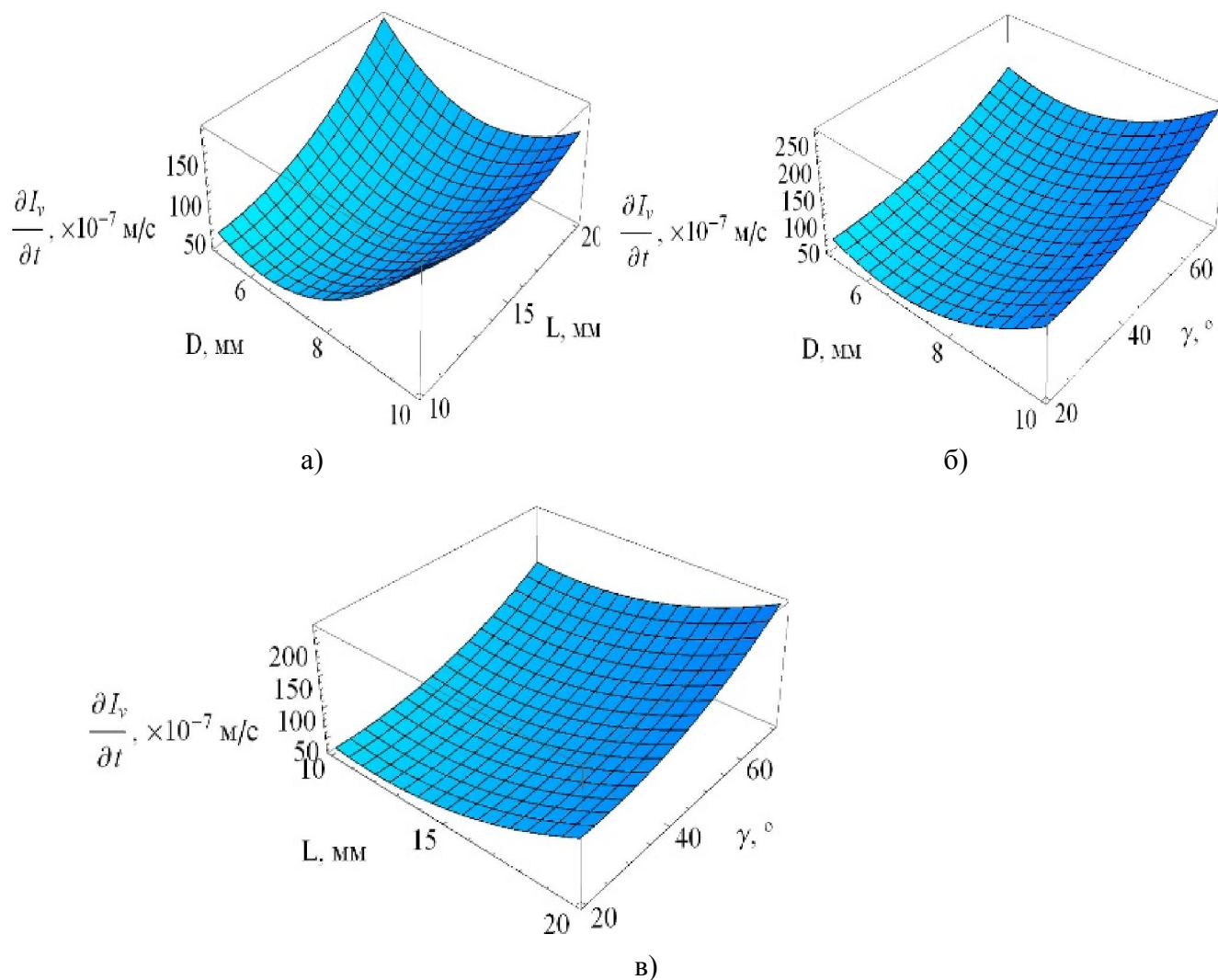


Рис.11. Залежність швидкості зношування локально зміцненого леза лапи від: а) діаметра  $D$  і кроку  $L$  зміцнення (при  $\gamma = 20^\circ$ ); б) діаметра  $D$  і кута розхилу  $\gamma$  (при  $L = 0,0117$  м); в) кроку зміцнення  $L$  і кута розхилу  $\gamma$  (при  $D = 0,0065$  м)

Виконаним аналізом отриманих залежностей (рис.12, 13) встановлено, що збільшення шляху тертя та швидкості руху  $V$  з 0,5 м/с до 2,5 м/с зумовлюють лінійне зростання абсолютного зносу локально зміцненого леза. Статистична оцінка за критерієм Фішера  $F = 1,65 < F_{\text{табл}}(0,05;12;14)=2,53$ ) показує, що отримані залежності між собою корелюють і є адекватними.

При збільшенні кута розхилу  $\gamma$  (рис.13) та швидкості руху  $V$  лапи культиватора середнє значення швидкості зношування поверхні локально зміцненого леза  $\partial I_v / \partial t$  також збільшується ( $F = 2,42 < F_{\text{табл}}(0,05;12;14) = 2,53$ ).

За результатами експериментальних досліджень залежності втрат на тертя робочих органів від глибини обробітку ґрунту і швидкості руху отримано емпіричні моделі (23) і (24):

$$P_c = -0,0998 + 0,58V + 0,334h; \quad (23)$$

$$P_e = -0,0628 + 0,626V + 0,03032h, \quad (24)$$

де  $P_c$ ,  $P_e$  – втрати на тертя, відповідно, серійної та експериментальної лап;  $V$  – швидкість руху;  $h$  – глибина обробітку ґрунту.

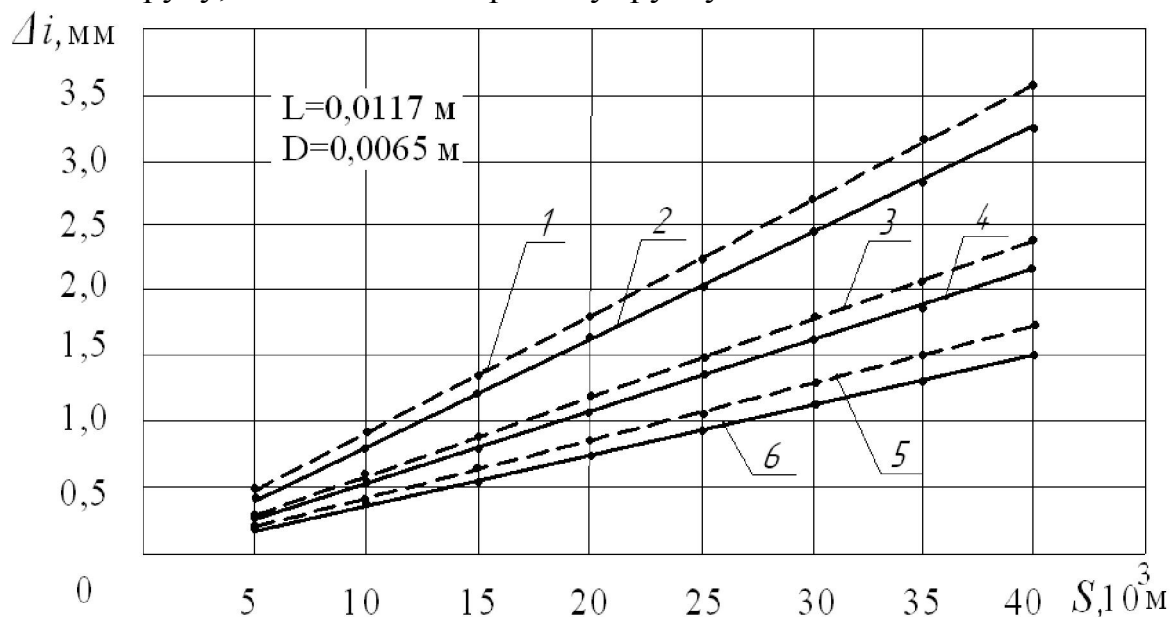


Рис.12. Залежність середнього значення абсолютного зносу  $\Delta i$  поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора від шляху тертя  $S$ :

1 –  $V=2,5$  м/с (теор.); 2 –  $V=2,5$  м/с (експ.); 3 –  $V=1,5$  м/с (теор.); 4 –  $V=1,5$  м/с (експ.); 5 –  $V=0,5$  м/с (теор.); 6 –  $V=0,5$  м/с (експ.)

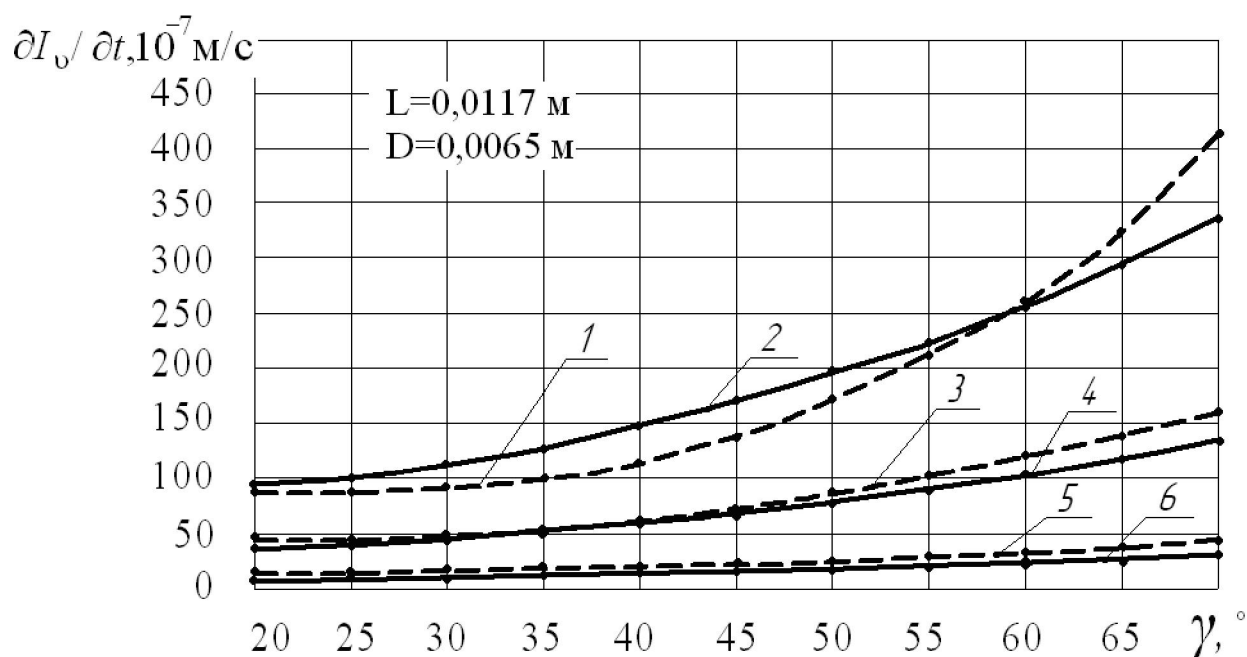
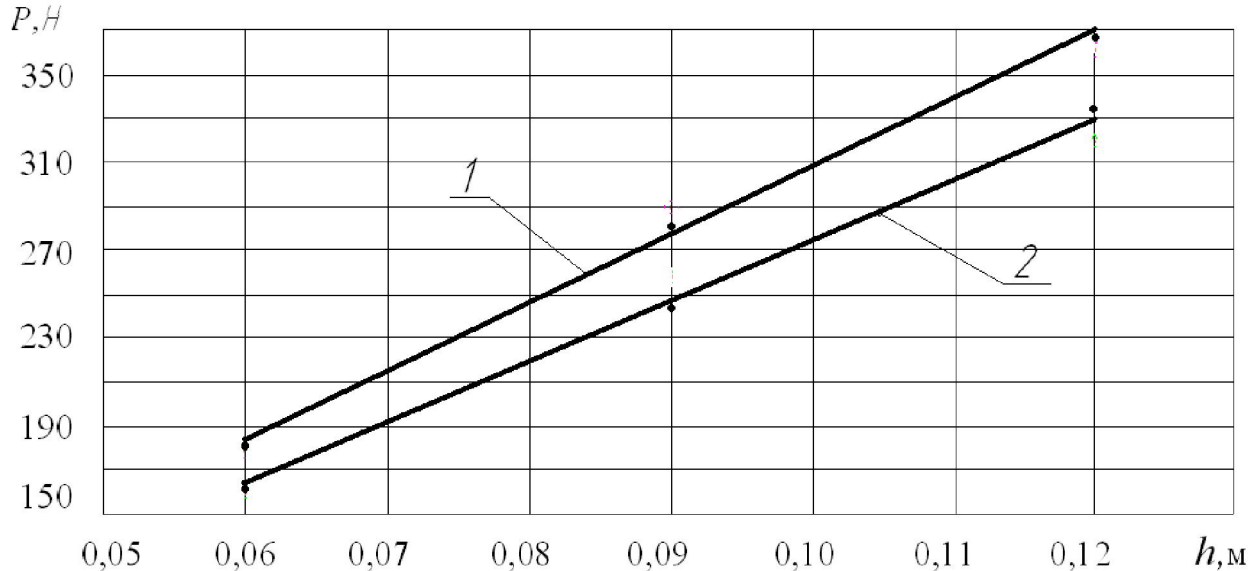


Рис. 13. Залежність середнього значення швидкості зношування поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора  $\partial I_v / \partial t$  від кута розхилу  $\gamma$  :

1 –  $V=2,5$  м/с (теор.); 2 –  $V=2,5$  м/с (експ.); 3 –  $V=1,5$  м/с (теор.); 4 –  $V=1,5$  м/с (експ.); 5 –  $V=0,5$  м/с (теор.); 6 –  $V=0,5$  м/с (експ.)



Аналізом результатів проведених досліджень визначено, що найбільший вплив на величину втрат на тертя культиваторних лап має глибина обробітку ґрунту. Встановлено, що середні значення втрат на тертя розробленої лапи (рис. 14,а) при швидкості руху  $V = 1,0$  м/с та зміні глибини обробітку в межах  $h = 0,06 \dots 0,12$  м порівняно із серійною лапою є меншим в 1,12 рази або на 16,1%. Середні втрати на тертя експериментальної лапи при глибині обробітку  $h = 0,12$  м та зміні швидкості руху в межах  $V = 0,50 \dots 1,0$  м/с зменшуються порівняно із серійною лапою в 1,1 рази або на 9,1% (рис. 14,б).



а)

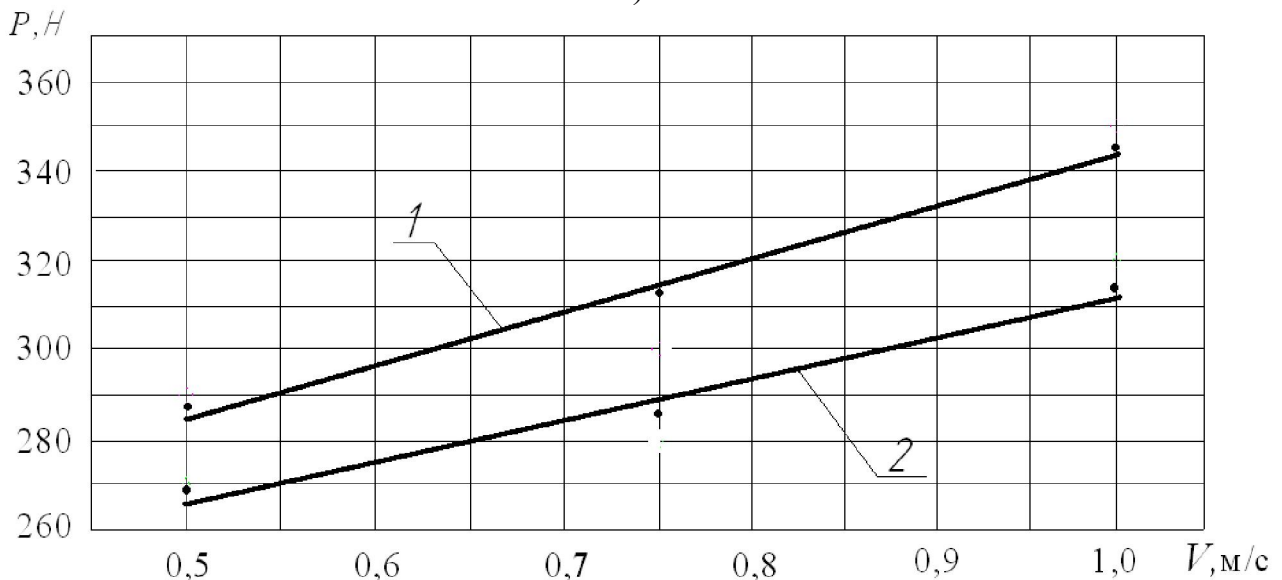


Рис. 14. Залежність втрат на тертя культиваторних лап від: а) глибини обробітку при  $V = 1,0$  м/с ; б) швидкості руху при  $h = 0,12$  м: 1 – серійна стрілочаста лапа; 2 – експериментальна лапа

У п'ятому розділі наведено розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження результатів дослідження.

Застосування розроблених культиваторних лап з елементами локального зміцнення в умовах ВАТ «Супіна Агро» Лозівського району Харківської області показали забезпечення ними агровимог до обробітку ґрунту. Річний економічний ефект від використання культиваторного агрегату, оснащеного експериментальними

лапами, становить 12728 грн. Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень впроваджені на ТОВ «ЛКМЗ» м. Лозова Харківської області для проектування ґрунтообробних знарядь.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в створеному математичному моделюванні процесу зношування локально зміцненого леза лап культиваторів при взаємодії з абразивним ґрунтовим середовищем. Це дало можливість підвищити їх зносостійкість при зниженні втрат на тертя.

1. Аналіз існуючих методів і моделей підвищення зносостійкості лап культиваторів показав, що процесами зношування можна керувати застосуванням раціональної форми та параметрів локального зміцнення леза. Це дозволяє керувати швидкістю та характером зношування під час її взаємодії з абразивним ґрунтовим середовищем.

2. На основі теоретичних досліджень з урахуванням умов досягнення критерію міцності Мора, мінімальної швидкості зношування лапи культиватора і рівномірних деформацій у всіх напрямках встановлено вплив фізико-механічних та реологічних властивостей ґрунту: вологості  $W$ , щільності  $\zeta$ , коефіцієнту бокового тиску  $\xi_0$  і швидкості руху лапи  $V$  на геометричну форму її поверхні у вигляді неявної функції (13).

3. Математичним моделюванням взаємодії лапи з ґрунтом одержано залежність зношування леза від кута розхилу  $\gamma$  за умови мінімізації нормального напруження  $\sigma_y$  в ґрунті до форми лапи від характеристик ґрунту та швидкості руху. Встановлено, що:

– збільшенням швидкості переміщення лапи культиватора від 0,5 м/с до 2,5 м/с кут її розхилу збільшується і, відповідно, складає  $\gamma_{V=0,5} = 17,2^\circ$ ;  $\gamma_{V=1,5} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{V=2,5} = 22,1^\circ$ . Змінюється також форма леза лапи культиватора, так при швидкостях  $V = 2,5$  м/с вона наближається до лінійного закону;

– при зміні значення вологості ґрунту в межах від 18 % до 24 % кут розхилу лапи становить  $\gamma_{W=18\%} = 15,4^\circ$ ;  $\gamma_{W=22\%} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{W=24\%} = 22,6^\circ$ . При вологості ґрунту  $W=24\%$  спостерігається найбільший кут розхилу  $\gamma = 22^\circ$ , це пов'язано з тим, що вологість параболічно впливає на коефіцієнт зчеплення  $k$ , кут внутрішнього тертя  $\rho$  і щільність  $\zeta$  ґрунту;

– із збільшенням значення коефіцієнта бокового тиску ґрунту  $\xi_0$  в межах від 0,1 МПа до 0,5 МПа кут розхилу лапи збільшується:  $\gamma_{\xi=0,1} = 18,8^\circ$ ;  $\gamma_{\xi=0,3} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{\xi=0,5} = 20,4^\circ$ ;

– збільшення значення щільності ґрунту  $\zeta$  в діапазоні від 1100 кг/м<sup>3</sup> до 1500 кг/м<sup>3</sup> кут розхилу лапи культиватора зменшується:  $\gamma_{\zeta=1260} = 21,0^\circ$ ;  $\gamma_{\zeta=1340} = 19,9^\circ$ ;  $\gamma_{\zeta=1420} = 18,7^\circ$ .

4. Дослідженням формоутворення поверхні локально зміцненого леза лапи встановлено динаміку її зношування. Виявлено, що теоретична функція геометричної форми леза при зношуванні має кусочно-періодичний характер із

періодом розташування її неоднорідної структури  $T=L+D$ . Встановлено, що із зростанням швидкості руху лапи  $V$  з 0,5 м/с до 2,5 м/с спостерігається збільшення значення абсолютного зносу  $I_{\nu 0}$  від 0,0015 м до 0,0021 м.

5. Комплексним аналізом результатів теоретичних і експериментальних досліджень і проведеного факторного експерименту визначені раціональні значення конструктивних параметрів локального зміцнення леза лапи: діаметр зміцнення  $D = 0,0065$  м; крок зміцнення  $L = 0,0117$  м для будь-якого кута розхилу  $\gamma$  досліджуваного інтервалу.

6. Теоретичними і експериментальними дослідженнями встановлено, що збільшення шляху тертя та швидкості руху  $V$  з 0,5 м/с до 2,5 м/с зумовлюють лінійне зростання абсолютного зносу локально зміцненого леза ( $F=1,65 < F_{\text{табл}}(0,05;12;14)=2,53$ ). Виявлено також, параболічне зростання швидкості зношування поверхні леза  $\partial I_{\nu} / \partial t$  при зростанні кута розхилу лапи культиватора ( $F=2,42 < F_{\text{табл}}(0,05;12;14) = 2,53$ ).

7. Експериментальними дослідженнями встановлено, що найбільший вплив на величину втрат на тертя культиваторних лап має глибина обробітку ґрунту. Середні значення втрат на тертя розробленої лапи при швидкості руху  $V = 1,0$  м/с та зміні глибини обробітку в межах  $h = 0,06 \dots 0,12$  м порівняно із серійною лапою є меншим в 1,12 рази або на 16,1%. Середні втрати на тертя експериментальної лапи при глибині обробітку  $h = 0,12$  м та зміні швидкості руху в межах  $V = 0,50 \dots 1,0$  м/с зменшуються порівняно із серійною лапою в 1,1 рази або на 9,1%.

8. Виробничі випробування розроблених лап культиваторів з локальним зміцненням леза у сільськогосподарському підприємстві «Супіна Агро» Харківської області показали, що їх застосування забезпечує агрономи до обробітку ґрунту. Річний економічний ефект від використання культиваторного агрегату, оснащеного запропонованими культиваторними лапами, становить 12728 грн.

## **СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **У фахових виданнях**

1. Каденко В.С. Аналіз методів підвищення довговічності ґрунтообробних органів машин / В.С. Каденко // Технічний сервіс машин для рослинництва. Вісник ХНТУСГ, Вип. 145. – Харків, 2014. – С. 144-148.

2. Козаченко О.В. Залежність швидкості зношування від профілю леза лапи культиватора / Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В., Каденко В.С. // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. Вип.4, Том 2. – Житомир, 2014. – С. 50-56.

3. Козаченко О.В. Динаміка зношування криволінійного леза оснащеного локальним зміцненням / О.В. Козаченко, О.М. Шкрегаль, В.С. Каденко // Технічний сервіс машин для рослинництва. Вісник ХНТУСГ, Вип. 159. – Харків, 2015. – С. 159-163.

4. Козаченко О.В. Зміна форми леза ґрунтообробних знарядь при зношуванні / О.В. Козаченко, О.М. Шкрегаль, В.С. Каденко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 45, ч. I. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 21-26.

5. 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), – Суми, 2016. – С. 48-52.

6. Каденко В.С. Удосконалення робочих органів культиваторів конструкторсько-технологічними методами./ В.С. Каденко // Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів. Науковий журнал ХНТУСГ, Вип. 5. – Харків, 2016. – С. 206-210.

7. Козаченко О.В. Дослідження впливу параметрів леза на енергетичні характеристики робочих органів культиваторів/ Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В., Каденко В.С., Д'яконов С.О.// Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Науковий журнал ХНТУСГ, Вип. 4. – Харків, 2016. – С. 236-242.

8. Козаченко О.В. Дослідження процесу зношування леза лапи культиватора із періодичними ділянками локального зміцнення / Козаченко О.В., Каденко В.С., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В. // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: Науковий журнал ХНТУСГ, Вип.6. – Харків, 2016. – С.76-87.

### **Патенти**

9. Пат. 94680 Україна, МПК А01В35/20. Робочий орган культиватора / [Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В., Каденко В.С., Манько В.В.] заявник та власник Козаченко О.В. – №u201406241; заявл. 05.06.2014; опубл. 25.11.14, Бюл. №22.

10. Пат. 106898 Україна МПК А01В35/10. Робочий орган культиватора / [Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В., Каденко В.С., Д'яконов С.О. Кейдун Д.П.]; заявник та власник Козаченко О.В. –№u201511250 ; заявл. 16.11.15р ; опубл. 10.05.2016, Бюл №9.

11. Пат. 111280 Україна, МПК G01М 7/00 Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / [Козаченко О.В., Каденко В.С., Шкрегаль О.М. Блезнюк О.В., Алфьоров О.І., Макаров В. Е.]; заявник та власник Козаченко О.В. – №u201603654; заявл. 06.04.16.опубл. 10.11.2016, Бюл № 21.

### **Матеріали та тези конференцій**

12. Каденко В.С. До методики визначення ефективності ґрунтообробних робочих органів / Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В., Каденко В.С. // Механізація та автоматизація виробничих процесів. Науковий вісник СНАУ Вип. №10 (25). – Суми 2013. – С. 82-83.

13. Каденко В.С. Експериментальні дослідження тягового опору локально зміцнених робочих органів культиваторів / О.В. Козаченко, О.М. Шкрегаль, В.С. Каденко // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. Збірник тез - Житомир: ЖАК, 2016. – С. 55-57.

14. Каденко В.С. До формування леза з елементами локального зміцнення / О.М. Шкрегаль, В.С. Каденко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Підготовка ґрунту в системі ресурсозберігаючих технологій». – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 40-41.

### В закордонних виданнях

15. Каденко В.С. . Влияние параметров режущих элементов на интенсивность износа лап культиваторов. / А.Н. Шкрегаль, В.С. Каденко // Сборник статей ЦНС “Международные научные исследования” по материалам XIII международной научно-практической конференции: «Проблемы и перспективы современной науки», г. Москва: сборник статей. – Москва. : “ISI-journal”, 2016. – С. 95-99.

### АНОТАЦІЯ

**Каденко В.С. Підвищення зносостійкості лап культиваторів обґрунтуванням форми та параметрів локального зміцнення леза. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України, Харків, 2017.

Дисертація присвячена підвищенню зносостійкості та зменшенню енергоємності лап культиваторів обґрунтуванням форми і раціональних параметрів локального зміцнення леза та врахуванням властивостей напружено-деформованого стану ґрунтового середовища.

Виявлено закономірності взаємодії різальних елементів лап культиваторів з абразивним ґрунтовим середовищем, теоретично визначено та експериментально досліджено вплив фізико-механічних та реологічних властивостей ґрунту на формоутворення поверхні леза лап культиваторів за умови мінімізації швидкості зношування та витрат на тертя при взаємодії з абразивним середовищем. Теоретично досліджено процес зношування поверхні локально зміцненого леза лапи культиватора з локальним зміцненням леза в процесі взаємодії з ґрунтовим середовищем. Обґрунтовано раціональні параметри локального зміцнення леза лап культиваторів для отримання мінімальної швидкості їх зношування.

Стендові та експлуатаційні дослідження показали доцільність застосування локального зміцнення тврдосплавними матеріалами леза лап культиваторів при їх виготовленні для підвищення їх зносостійкості та зменшенні витрат на тертя при експлуатації.

Показано, що економічний ефект від впровадження запропонованих конструкцій робочих органів культиваторів з криволінійною формою та локальним зміцненням леза досягається за рахунок зменшення витрат на тертя, а також підвищення їх ресурсу.

**Ключові слова:** зношування, лапа культиватора, знос, зносостійкість, втрати на тертя, локальне зміцнення.

### АННОТАЦИЯ

**Каденко В.С. Повышение износостойкости лап культиваторов обоснованием формы и параметров локального упрочнения лезвия. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – трение и износ в машинах. – Харьковский национальный

технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2017.

Диссертация посвящена проблеме повышения долговечности лап культиваторов путем управления износостойкостью за счет обоснования формы и параметров локального упрочнения лезвия с учетом физико-механических и реологических свойств почвы. Анализ существующих методов повышения долговечности почвообрабатывающих орудий показал, что форма и параметры локального упрочнения лезвия культиваторных лап не получили должного теоретического и экспериментального обоснования с точки зрения изнашивания и энергетических затрат при выполнении технологического процесса.

Впервые теоретически обосновано и экспериментально, по разработанной методике, исследован процесс износа и получены зависимости абсолютной скорости изнашивания лап культиваторов от комплексного влияния параметров локального упрочнения, физико-механических и реологических свойств почвы и эксплуатационных параметров. Установлена взаимосвязь между свойствами материала основы лапы и локального упрочнения, скоростного режима и величиной скорости абсолютного износа, что позволяет определять эффективную форму лезвия лапы культиватора при изнашивании.

Комплексным анализом результатов теоретических и экспериментальных исследований и проведением многофакторного эксперимента определены рациональные значения конструктивных параметров локального упрочнения лезвия лапы культиватора: диаметр упрочнения – 0,0065 м; шаг упрочнения – 0,0117 м.

Выявлено, что наибольшее влияние на величину тягового сопротивления культиваторных лап имеет глубина обработки почвы. При скорости движения  $V=1,0$  м/с и изменении глубины обработки в интервале от 0,06 м до 0,12 м разработанная лапа в сравнении с серийной стрелчатой лапой имеет меньшее на 16,1% тяговое сопротивление.

Экспериментальными исследованиями изнашивания культиваторных лап с рациональным профилем лезвия установлено уменьшение в 1,7 раза значения линейного и в 1,4 раза весового износа в сравнении серийными лапами. Выявлено влияние на скорость изнашивания лап способа локального упрочнения лезвия. Применение нижнего локального упрочнения обеспечивает 1,13 раза, а верхнего – в 2,0 раза величины линейного износа в сравнении с серийными рабочими органами.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что скоростью изнашивания и тяговым сопротивлением можно управлять, изменяя форму и параметры локального упрочнения лезвия культиваторных лап.

**Ключевые слова:** изнашивание, лапа культиватора, локальное упрочнение, тяговое сопротивление, износ, износостойкость.

## ABSTRACT

**Kadenko V.S. Increasing durability of cultivating tine by form and parameters of local blades strengthening. – Manuscript.**

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences by specialty 05.02.04 – friction and wear in machines.– Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2017.

The dissertation is devoted to the issue of increasing durability and decreasing energy output ratio of cultivating tine by explaining the form and rational parameters of local strengthening of blades and taking into account characteristics of tensely malformed condition of ground.

In the dissertation, consistent patterns of interworking between cutting elements of cultivating tine and abrasive ground are discovered. The author theoretically defines and practically studies the influence of physical and mechanical as well as rheological characteristics of ground on form-building of blade surface in cultivating tine in case of minimizing the speed of deviation and energy on friction when in contact with abrasive surroundings. The process of aging the surface of locally strengthened blade of cultivating tine with local strengthening of a blade when in contact with ground is theoretically analyzed. The author explains rational parameters of locally strengthened blade of cultivating tine to get minimal time of aging.

Bench and exploit tests prove rational use of local strengthening with hard metal materials of cultivating tine blades when manufacturing in order to increase durability and decrease losses because of friction during exploitations.

The author proves that economic effect of using the offered constructions of working parts in cultivators with curvilinear form and local blade strengthening is due to decreasing energy on friction and resource increasing.

**Key words:** wear, cultivating tine, durability, friction energy, local strengthening.

Відповідальні за випуск Шерстюк В.С.

Підписано до друку «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017р.

Комп'ютерний набір та верстка Каденко В.С.

Формат паперу 60x84 1/16. Умов. друк. арк. 0,9. Папір офсетний 80 г/м.

Тираж 120 пр.

Замовлення №

Різограф TR 1510 № 80654645

Навчально-методичний відділ Харківського національного технічного університету  
сільського господарства імені Петра Василенка

Адреса редакції та поліграфпідприємства:  
61002, м. Харків, вул. Алчевських 44, кім. 101.