

УДК 631.316.022

К. В. Борак, д. т. н., доц.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОСТІЙКОСТІ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

В статті розроблено заходи для забезпечення рівностійкості зношування та досягнення ефекту самоорганізація різальних елементів зміцнених стрілчастих лап, що призводить до зменшення тягового опору і зменшення витрати палива мобільним енергетичним засобом.

Ґрунтове середовище, в якому експлуатуються стрілчасті лапи, суттєво впливає на закономірності зношування та формоутворення. Зношування робочих органів відбувається нерівномірно, що призводить до передчасного їх вибракування. Вирішення проблеми забезпечення більшої стійкості до абразивного зношування досягається за рахунок використання зміцнюючих технологій. Всі наявні способи зміцнення запропоновані для конкретних умов експлуатації і не враховують можливу зміну умов та режимів експлуатації.

Для досягнення рівностійкості зношування необхідно, щоб зносостійкість поверхонь робочих органів була пропорційна інтенсивності абразивного зношування, у всіх локальних зонах. Рівномірне зношування всіх поверхонь тертя повинно забезпечити якомога довше збереження початкової форми і забезпечити ефект самозагострювання робочих органів ґрунтообробних машин.

Визначення характеру та особливостей процесу зношування серійних стрілчастих лап проводили на трьох типах ґрунтів використовуючи культиватор «John Deere 2210»). Для дослідження використовували серійні стрілчасті лапи виготовлені зі сталі 28MnB5 і сталі 65Г. В результаті проведених досліджень встановлювалася епюра зношування на основі якої визначалися заходи для забезпечення рівностійкості зношування та досягнення ефекту самозагострювання. Зміцнення стрілчастих лап проводили електродами Т-620, Т-590 і М-Fe 6 за розробленими схемами.

В результаті застосування запропонованих заходів спостерігається підвищення рівностійкості зношування на супіщаних ґрунтах в межах 6...9%, на суглинкових ґрунтах – 42...49%, на легкій глині – 25...36%. Самоорганізація різальних елементів зміцнених стрілчастих лап призводить до зменшення тягового опору і зменшення витрати палива мобільним енергетичним засобом в середньому на 11%. Застосування зміцнювальних технологій дозволяє підвищити рівностійкість зношування стрілчастих лап культиваторів на 9...49%.

Ключові слова: *рівностійкість, абразивне зношування, ґрунт, стрілчасті лапи, зміцнення, робочі органи.*

Актуальність проведених досліджень

Забезпечення рівностійкості зношування деталей сільськогосподарських машин, які піддаються інтенсивному абразивному зношуванню, є актуальною задачею проектування, виробництва та експлуатації. Складність вирішення цієї проблеми пов'язано з впливом багатьох факторів на процес абразивного зношування та зміною властивостей деталей та абразивного середовища в процесі експлуатації. В сільському господарстві, враховуючи сучасні тенденції до зростання швидкості обробки ґрунту, найбільш гостро стоїть питання забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Отже, можна зробити висновок про актуальність досліджуваної теми та про необхідність її подальшого вивчення.

Мета і завдання дослідження. Об'єкт і предмет дослідження

Мета наукової роботи: обґрунтування комплексного підходу забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин (на прикладі стрілчастих лап культиваторів).

Для реалізації поставленої мети вирішено основні завдання:

– дослідити особливості характеру зношування серійних стрілчастих лап в залежності від умов та режимів роботи;

Наукові праці ВНТУ, 2010, № 2

– розробити заходи для забезпечення рівності зношування та досягнення ефекту самозагострювання стрілчастих лап культиватора;

– провести виробничі випробовування та розробити рекомендації для сільськогосподарських виробників.

Об’єкт дослідження: процес зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

Предмет дослідження: закономірності зміни геометричних параметрів робочих органів ґрунтообробних машин в залежності від умов та режимів експлуатації.

Аналіз останніх досліджень.

В процесі експлуатації ґрунтообробних машин відбувається зношування робочих органів в результаті взаємодії з середовищем ґрунту. Зношування робочих органів відбувається нерівномірно, що призводить до передчасного їх вибракування. Так наприклад у лемішно-лапових робочих органів більш інтенсивно зношується носова частина (рис. 1).

Вирішення проблеми забезпечення більшої стійкості до абразивного зношування досягається за рахунок використання зміцнюючих технологій [1 – 8]. Так в роботі [1] запропоновано проводити зміцнення локальних зон стрілчастих лап, які піддаються інтенсивному абразивному зношуванню, електродами Т-590 і Т-620 за схемами наведеними на рис. 2.



Рис. 1. Новий та зношений робочий орган (стрілчаста лапа) ґрунтообробної машини

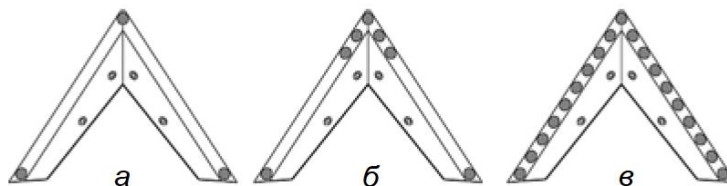


Рис. 2. Схеми точкового зміцнення стрілчастих лап: а – зміцнення носової частини та кінців крил, що забезпечить робочу ширину захвату; б – інтенсивне зміцнення носової частини культиваторної лапи та кінців крил; в – зміцнення крил культиваторних лап по всій довжині з кроком 25 мм [1]

В результаті проведених досліджень встановлено, що найменше зношення культиваторних лап отримано за третьою схемою зміцнення (рис. 2, в) [1].

Дослідниками [2] для забезпечення підвищення якості обробки ґрунту, зменшення тягового опору та підвищення зносостійкості запропоновано виготовити робочі органи з криволінійною формою та проводити точкове зміцнення електродом Т-590 (рис. 3).



Рис. 3. Експериментальні культиваторні лапи: а – монометалеві з криволінійною формою леза; б – експериментальні з нижнім локальним зміцненням леза; в, г – експериментальні з верхнім локальним зміцненням леза [2]

В результаті проведених досліджень встановлено, що удосконалений профіль стрілкової лапи дозволяє зменшити тяговий опір в 1,25...1,32 рази і забезпечує зменшення забивання ґрунтом та рослинними залишками в 1,6 рази, порівняно із серійним. Верхнє локальне зміцнення леза забезпечує зменшення величини зношування майже у 2 рази порівняно із серійним зразком і в 1,13 рази – з варіантом нижнього локального зміцнення леза [2].

Запропоновано метод підвищення зносостійкості культиваторних лап за допомогою наплавлення зносостійких валиків прямолінійної форми, а саме на носок, крила та лезову частину (рис. 4) [3, 4].

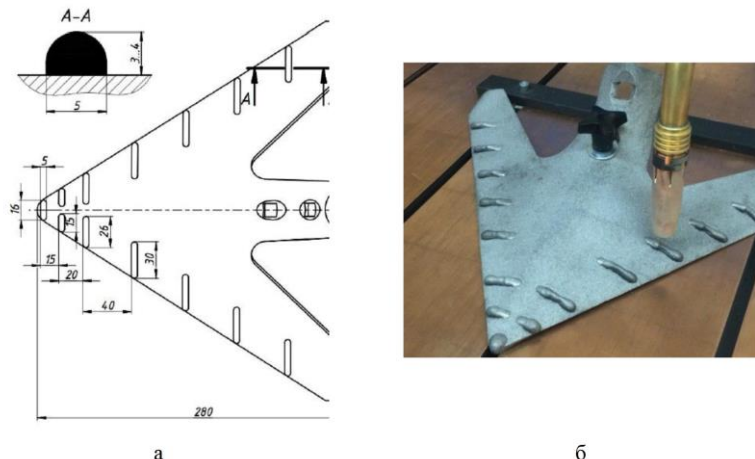


Рис. 4. Схема розміщення зносостійких валиків (а) і наплавлена стрілчаста лапа культиватора [3, 4]

Широкого розповсюдження отримала технологія хіміко-термічної обробки поверхні, а саме борування, яка застосовується для зміцнення ріжучих кромek стрілкових лап ґрунтообробних знарядь. При використанні цієї технології отримують твердий шар глибиною до 300...600 мкм, який має високу стійкість до абразивного зношування [3, 5].

Для підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин найбільшого поширення набула технологія наплавлення робочих поверхонь твердими сплавами типу сормайт [8, 9].

В нашій країні та за її межами широко відомі способи підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин за рахунок використання концентрованих потоків енергії [7]. Так наприклад, наплавлення сплавом ПС-14-60 + 6 % В4С знижує знос в 1,7 – 1,8 рази порівняно з індукційним наплавленням [10].

Всі наявні способи зміцнення запропоновані для конкретних умов експлуатації і не враховують можливу зміну умов та режимів експлуатації. Перші спроби врахування умов та режимів експлуатації при виборі параметрів зміцнення були зроблені в роботі [8].

Для досягнення рівності зношування необхідно, щоб зносостійкість поверхонь робочих органів була пропорційна інтенсивності абразивного зношування, у всіх локальних зонах. Рівномірне зношування всіх поверхонь тертя повинно забезпечити якомога довше збереження початкової форми і забезпечити ефект самозагострювання робочих органів ґрунтообробних машин.

Дослідженнями забезпечення рівності зношування та самозагострювання робочих органів ґрунтообробних машин в різний час займалися Рабінович А. Ш. [12], Севернев М. М. [11], Козаченко О. В. [6], Аулін В. В. [7], Ткачов В. Н. [9], Борак К. В. [8] та інші.

Вперше самозагострювальні робочі органи ґрунтообробних машин були запроваджені в США (1847 рік) [13]. На пострадянському просторі вперше технологія їх виготовлення була описана в роботах А. Ш. Рабіновича [12], який запропонував критерій самозагострювання:

$$\omega = \varepsilon_2 s_2 / \varepsilon_1 s_1 \quad (1)$$

де s_1 , ε_1 – товщина і зносостійкість зміцненого металу; s_2 , ε_2 – товщина і зносостійкість основного металу [12].

В результаті проведених досліджень встановлено, що оптимальне значення критерію ω повинно складати 1,5 [12].

Ткачовим В. М. встановлено чотири умови для досягнення ефекту самозагострювання лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин [9]. В деяких роботах висловлюються сумніви щодо коректності запропонованих умов самозагострювання для всіх типів ґрунтів і умов експлуатації [8, 10]. Найбільше сумнівів викликає четверта умова досягнення ефекту самозагострювання: зміцненню повинна підлягати грань леза, яка піддається найменшому зношуванню. Так в роботах [14, 15, 16] запропоновано проводити зміцнення внутрішньої сторони стрілчастих лап, а в роботах [17, 18, 19] навпаки зовнішню сторону.

Одним зі шляхів досягнення рівності зношування та процесу самозагострювання робочих органів ґрунтообробних машин є використання під час їх проектування біологічного прототипу [20]. На сьогодні існує повноцінна наука – біоніка (Bionics), яка заснована на використанні біологічних принципів для побудови технічних систем.

Перспективним напрямком при виробництві самозагострювальних робочих органів ґрунтообробних машин є використання так званих «Self-sharpening» матеріалів. Ці матеріали виготовляють на основі вольфраму, що обумовлює їх високу вартість, саме це не дозволяє впроваджувати їх у серійне виробництво при виготовленні робочих органів ґрунтообробних машин.

В процесі аналізу стану проблеми забезпечення рівності зношування робочих органів ґрунтообробних машин встановлено:

1. Проведені дослідження носять локальний характер, тобто їх можна застосовувати тільки для певних умов та режимів експлуатації.
2. Не враховано вплив ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації на забезпечення рівності зношування та досягнення ефекту самозагострювання стрілчастих лап культиваторів.

Програма та методика проведення досліджень

Програмою досліджень передбачалося виконання наступних етапів:

- дослідити характер зношування серійних стрілчастих лап культиваторів при експлуатації на різних типах ґрунтів;

- визначити вплив режимів експлуатації на характер зношування стрілчастих лап культиваторів;
- розробити заходи для досягнення рівностійкості зношування та ефекту самоорганізації стрілчастих лап культиваторів з урахуванням умов та режимів експлуатації;
- провести польові випробовування запропонованих способів і методів підвищення рівностійкості зношування стрілчастих лап культиваторів;
- дати техніко-економічну оцінку запропонованим заходам по забезпеченню рівностійкості зношування та досягненню ефекту самозагострювання.

Визначення характеру та особливостей процесу зношування серійних стрілчастих лап проводили на трьох типах ґрунтів використовуючи культиватор «John Deere 2210» (рис. 5).

Для дослідження використовували серійні стрілчасті лапи виготовлені зі сталі 28MnB5 і сталі 65Г. В результаті проведених досліджень встановлювалася епюра зношування на основі якої визначалися заходи для забезпечення рівностійкості зношування та досягнення ефекту самозагострювання.

Зміцнення стрілчастих лап проводили електродами Т-620, Т-590 і М-Fe 6 за розробленими схемами.



Рис. 5. Культиватор «John Deere 2210», який використовували для визначення особливостей зношування стрілчастих лап на різних типах ґрунтів

В процесі проведення дослідження використовували робочі органи ґрунтообробних машин наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Робочі органи, що використовували в процесі дослідження рівностійкості зношування

Робочий орган ґрунтообробної машини	Ґрунт		
	Супіщаний	Середній суглинок	Глина легка
Стрлчаста лапа (матеріал стрлчастої лапи + зносостійке покриття)		28MnB5 65Г 65Г+Т-620 65Г+Т-590 65Г+М-Fe 6	

Зміцнення стрілчастих лап культиваторів виконували ручним дуговим наплавленням покритими електродами марки М-Fe 6, Т-620 та Т-590 (табл. 2).

Таблиця 2

Хімічний склад зносостійкого шару на поверхні стрілчастих лап культиватора

Хім. Елемент	Електрод		
	М-Fe 6	Т-620	Т-590
Mn	≤3,0	1 – 1,5	1 – 1,5
Si	-	2 – 2,5	2 – 2,5
C	≤2,5	2,9 – 3,5	2,9 – 3,5
P	≤0,04	≤0,04	≤0,04
S	≤0,04	≤0,035	≤0,035
Cr	≤10	22 – 24	22 – 27
Ti	-	0,5 – 1,5	-
B	-	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5
Mo	≤3,0	-	-
Nb	≤10	-	-

Стрілчасті лапи культиватора, які були виготовлені зі сталі 65Г, піддавалися термічній обробці (об'ємне загартування 820 – 840 °С і середній відпуск за температури 450 – 470 °С).

Результати досліджень

В результаті дослідження процесу зношування серійних стрілчастих культиваторних лап визначено кути загострення леза з врахуванням типу та агрегатного стану ґрунту (табл. 3).

Таблиця 3

Кут загострення монометалевих стрілчастих лап культиватора (матеріал сталь 65Г)

Ґрунт	Кут загострення, град
Супіщаний	17 – 21
Супіщаний (пухкий ґрунт)	16 – 19
Середній суглинок	23 – 25
Середній суглинок (пухкий ґрунт)	22 – 23
Глина легка	31 – 38
Глина легка (пухкий ґрунт)	27 – 31

Кут загострення стрілчастих лап суттєво відрізняється по всій довжині різальної кромки, що можна пояснити різною величиною питомого тиску ґрунту на локальні зони леза. Результати дослідження процесу зношування серійних робочих органів дозволяють зробити висновок, що серійні робочі органи, що експлуатувалися на піщаних та супіщаних ґрунтах здатні до самозагострювання. При зношуванні серійних стрілчастих лап на важких ґрунтах спостерігається їх затуплення.

В результаті зношування різальна кромка стрілчастих лап культиватора набуває форми природного зношування, але така форма не завжди призводить до зменшення тягового опору агрегату. Оцінку тягового опору агрегату здійснювали за питомою витратою пального мобільним енергетичним засобом. За еталон було взято витрату пального при експлуатації агрегату з новими стрілчастими лапами (рис. 6).

З рис. 6 можна зробити висновок, що при експлуатації монометалевих (серійних) стрілчастих лап культиваторів на піщаних та супіщаних ґрунтах відбувається процес самоорганізації робочого органу, що призводить до зменшення тягового опору, а відповідно і зменшення питомої витрати пального мобільним енергетичним засобом. На більш важких ґрунтах (суглинкових і глиняних) процес самоорганізації стрілчастих лап культиваторів, в

процесі зношування, призводить до зростання тягового опору агрегату, а отже і до зростання витрати пального.

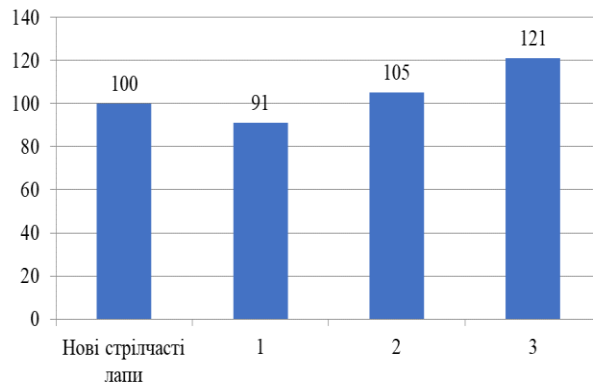


Рис. 6. Питома витрата пального мобільним енергетичним засобом при агрегуванні з культиватором «John Deere 2210»: 1 – на супіщаних ґрунтах; 2 – на суглинкових ґрунтах; 3 – на легкій глині (напрацювання 10 га)

Відповідно до отриманих результатів визначення характеру зношування стрілчастих лап можна зробити наступні висновки:

– для стрілчастих лап, які будуть експлуатуватися на суглинкових і глиняних ґрунтах при розробці заходів по забезпеченню рівностійкості зношування необхідно також розробити заходи для керування процесом абразивного зношування з реалізацією ефекту самозагострювання;

– для стрілчастих лап, які будуть експлуатуватися на піщаних і супіщаних ґрунтах, основна задача це забезпечення рівномірного зношування всіх локальних зон робочого органу;

– при розробці заходів по забезпеченню рівностійкості зношування стрілчастих лап культиваторів необхідно врахувати умови та режими експлуатації.

При проектуванні рівностійких стрілчастих лап культиваторів з реалізацією ефекту самозагострювання леза основними показниками є зносостійкість матеріалу наплавлення та матеріалу основи, а також їх геометричні параметри

Як вже зазначалося раніше встановлено що оптимальне значення критерію ω повинно складати 1,5 [12]. Проведені нами дослідження дозволяють дещо уточнити значення цього критерію з урахуванням умов експлуатації (табл. 4).

Таблиця 4

Значення критерію ω для стрілчастих лап культиватора з урахуванням умов експлуатації

Ґрунт	Критерій ω
Супіщаний	1,5 – 1,6
Супіщаний (пухкий ґрунт)	1,3 – 1,4
Середній суглинок	1,4 – 1,5
Середній суглинок (пухкий ґрунт)	1,25 – 1,35
Глина легка	1,35 – 1,45
Глина легка (пухкий ґрунт)	1,2 – 1,3

Зі зменшенням абразивних властивостей ґрунтів та його твердості спостерігається чітка залежність до зменшення критерію ω . Це можливо пояснити більш рівномірним навантаженням на різальні кромки робочого органу.

Дослідження проводилися на ґрунтах де відсутні кам'янисті включення. На ґрунтах засмічених камінням критерій ω повинен бути суттєво збільшений, для унеможливлення

виступу більш твердого шару і обломлювання його при взаємодії з кам'янистими включеннями.

В роботах А. Ш. Рабіновича відзначається, що критерій ϑ повинен бути одного значення по всій довжині ріжучої кромки [12] робочого органу ґрунтообробної машини. Зміцнення за такою схемою не зможе забезпечити необхідного самозагострювання по всій довжині леза оскільки не враховує особливості зношування локальних зон робочого органу. Це співвідношення повинно враховувати не тільки необхідність самозагострювання, а також необхідність рівностійкості зношування стрілкової лапи культиватора.

Для досягнення ефекту самозагострювання та рівностійкості зношування запропоновано поділити стрілкову лапу на дві локальні зони: 1 – зона інтенсивного абразивного зношування; 2 – зона з помірною інтенсивністю зношування (рис. 7).

Зону 2 рекомендується зміцнювати точково, для утворення пилеподібної форми леза. В результаті утворення такої форми різального елемента покращується якість виконання технологічної операції та відбувається зменшення тягового опору на 3,2...6,4%.

В результаті проведених досліджень процесу зношування серійних стрілкових лап була встановлена залежність співвідношення між параметрами локальних зон:

$$\vartheta = \frac{\varepsilon_1 S_1}{\varepsilon_2 S_2} \quad (2)$$

де $\varepsilon_1 S_1$ – показник зносостійкості зони 1 (добуток зносостійкості та товщини зміцнюючого покриття); де $\varepsilon_2 S_2$ – показник зносостійкості зони 2.

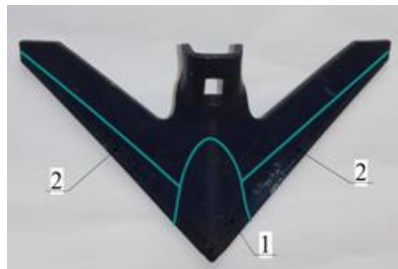


Рис. 7. Схема нанесення зносостійкого покриття на робочу поверхню стрілкової лапи для досягнення ефекту самозагострювання та рівностійкості зношування: 1, 2 – зона інтенсивного та помірного абразивного зношування відповідно

Значення критерію ϑ встановлено для стрілкових лап різного типу та агрегатного стану (табл. 5).

Таблиця 5

Значення співвідношення між параметрами зносостійких покриттів різних локальних зон стрілкової лапи культиватора

Ґрунт	Критерій ϑ
Супіщаний	1,2 – 1,3
Супіщаний (пухкий ґрунт)	1,05 – 1,15
Середній суглинок	2,45 – 2,55
Середній суглинок (пухкий ґрунт)	1,8 – 1,9
Глина легка	2,4 – 2,5
Глина легка (пухкий ґрунт)	1,8 – 1,9

Характер зношування робочих органів може суттєво змінюватися за зростання швидкості відносного переміщення робочого органу в ґрунті. Значення критерію ϑ встановлено за

швидкості роботи ґрунтообробного агрегату в межах 10 – 11 км/год. За зростання швидкості руху ґрунтообробного агрегату необхідно застосовувати поправочний коефіцієнт:

$$\Psi = (v_{\text{роб}} - v_0) \times \beta \quad (3)$$

де $v_{\text{роб}}$ – швидкість руху ґрунтообробного агрегату; v_0 – швидкість руху ґрунтообробного агрегату при проведенні експлуатаційних досліджень з визначення критерію ϑ (10 – 11 км/год); β – корегувальний коефіцієнт, що враховує зміну величини швидкості руху ґрунтообробного агрегату (табл. 6).

Таблиця 6

Значення корегувального коефіцієнта, що враховує зміну величини швидкості руху ґрунтообробного агрегату

Ґрунт	Корегувальний коефіцієнт β
Супіщаний	1,03
Середній суглинок	1,025
Глина легка	1,012

Для досягнення ефекту самозагострювання та забезпечення рівностійкості зношування необхідно проводити загострювання різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин з різними значеннями кута загострення для зони 1 та зони 2 (табл. 7).

Таблиця 7

Необхідний кут загострення різальної кромки стрілкової лапи для досягнення ефекту самозагострювання та рівностійкості зношування

Локальна зона	Кут загострення, град.
Носова частина (зона 1)	25...30
Лезова частина (зона 2)	8...10

При проведенні аналізу способів і методів підвищення зносостійкості стрілкових лап не встановлено однозначної відповіді про сторону нанесення зносостійкого покриття (внутрішня чи зовнішня), тому для експериментальних досліджень були виготовлені стрілкові лапи із зовнішнім і внутрішнім нанесенням покриття.

Зносостійкість стрілкових лап зміцнених із внутрішньої сторони виявилася в 1,6 – 1,9 меншою порівняно зі стрілковими лапами із зовнішнім зміцненням під час експлуатації на суглинкових та супіщаних ґрунтах. Ця закономірність пояснюється обломлюванням крайки леза в результаті «виступу» зміцненого шару над в'язким (несучим) шаром. Під час експлуатації стрілкових лап із зміцненою внутрішньою поверхнею на глинистих ґрунтах спостерігалася зростання зносостійкості, в межах 3% порівняно із стрілковими лапами зміцненими із зовнішньої сторони, а також спостерігався ефект самозагострювання.

Використання запропонованих способів зміцнення дозволило суттєво підвищити рівностійкість зношування стрілкових лап культиваторів (рис. 8 – 10). Оцінку рівностійкості зношування проводили за співвідношенням інтенсивності зношування локальних зон.

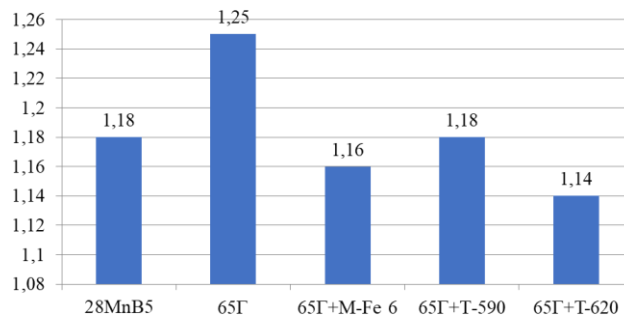


Рис. 8. Рівностійкість зношування стрілчастих лап в процесі експлуатації на супіщаних ґрунтах (напрацювання 10 га на одну лапу)

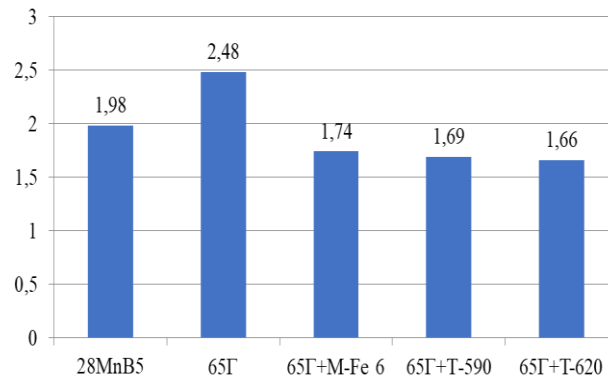


Рис. 9. Рівностійкість зношування стрілчастих лап в процесі експлуатації на суглинкових ґрунтах (напрацювання 10 га на одну лапу)

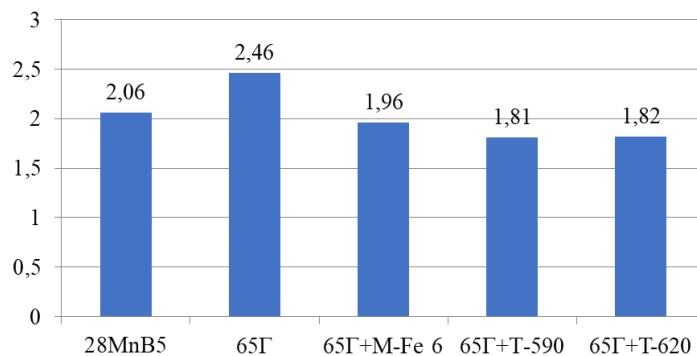


Рис. 10. Рівностійкість зношування стрілчастих лап в процесі експлуатації на легкій глині (напрацювання 10 га на одну лапу)

З проведених досліджень можна зробити висновок, що застосування зміцнювальних технологій дозволяє підвищити рівностійкість зношування стрілчастих лап культиваторів на 9 – 49%, а також призводить до підтримування стабільного кута загострювання протягом всього терміну експлуатації.

Висновки

Отримані результати дозволяють впровадити у виробництво стрілчаті лапи із забезпеченням рівностійкості зношування та досягненням ефекту самозагострювання з урахуванням режимів та умов експлуатації.

Зносостійкість стрілчастих лап зміцнених із внутрішньої сторони виявилася в 1,6 – 1,9 меншою порівняно зі стрілчастими лапами із зовнішнім зміцненням при експлуатації на суглинкових та супіщаних ґрунтах. Ця закономірність пояснюється обломлювання крайки леза в результаті виступу зміцненого шару над в'язким (несучим) шаром. Під час експлуатації стрілчастих лап із зміцненою внутрішньою поверхнею на глинистих ґрунтах

спостерігалось зростання зносостійкості, в межах 3% порівняно з стрілчастими лапами зміцненими із зовнішньої сторони, а також спостерігався ефект самозагострювання.

В результаті застосування запропонованих заходів спостерігається підвищення рівності зношування на супіщаних ґрунтах в межах 6...9%, на суглинкових ґрунтах – 42...49%, на легкій глині – 25...36%.

Самоорганізація різальних елементів зміцнених стрілчастих лап призводить до зменшення тягового опору і зменшення витрати палива мобільним енергетичним засобом в середньому на 11%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Василенко М. О. Вплив режимів нанесення зміцнювального покриття на параметри точкового зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин / М. О. Василенко, Д. О. Бусдаєв // Вісник аграрної науки. – 2015. – № 7. – С. 44 – 48.
2. Козаченко О. В. Забезпечення ефективності робочих органів культиваторів : монографія / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль, В. С. Каденко. – Харків : ПромАрт, 2021. – 238 с.
3. Анализ способов изготовления, упрочнения и восстановления стрелчатых лап культиватора / Т. С. Скобло, І. М. Рибалко, А. В. Тихонов [та ін.] // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2019. – № 15. – С. 60 – 85.
4. Слинко Д. Б. Упрочнение рабочей поверхности лап культиваторов электродуговой наплавкой износостойкими валиками / Д. Б. Слинко, Л. Д. Варламова, Д. М. Некрасов // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124, № 2. – С. 118 – 124.
5. Ишков А. В. Боридные покрытия для почвообрабатывающих органов сельхозтехники: получение, структура и износостойкость в реальных условиях / А. В. Ишков, В. В. Иванайский, Н. М. Мишустин // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 109. – С. 7 – 11.
6. Козаченко О. В., Каденко В.С., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В. Вплив параметрів різальних елементів на інтенсивність зношування лап культиваторів. Інженерія природокористування. 2017. № 1. С. 63-67.
7. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія / В. В. Аулін. – Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2017. – 278 с.
8. Борак К. В. Наукові основи досягнення ефекту самозагострювання робочих органів ґрунтообробних машин / К. В. Борак // Сільськогосподарські машини. – 2020. – № 1. – С. 18 – 40.
9. Ткачев В. Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В. Н. Ткачев. – Москва : Машиностроение, 1995. – 336 с.
10. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.04 / Бобрицький Віталій Миколайович. – Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2007. – 182 с.
11. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / [под. ред. М. М. Севернева]. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 333 с.
12. Рабинович А. Ш. Опыт внедрения самозатачивающихся плужных лемехов / А. Ш. Рабинович, В. А. Сальников // Техника в сельском хозяйстве. – 1961. – № 1. – С. 27 – 30.
13. Gear G. U. States agricultural warehouse / G. U. Gear, R. Wheels // The cultivator, a monthly journal, devoted to agriculture, horticulture, floriculture and to domestic and rural economy. New Series. – 1847. – Vol. IV. – P. 231.
14. Михальченков А. М. Стрелчатая лапа культиватора повышенной износостойкости с эффектом самозатачивания / А. М. Михальченков, С. И. Будко, Л. С. Киселева // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2011. – С. 101 – 103.
15. Ахметшин Т. Ф. Повышение износостойкости и долговечности почвообрабатывающих рабочих органов / Т. Ф. Ахметшин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – С. 81 – 84.
16. Виноградов В. В. Восстановление и упрочнение стрелчатых лап почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами / В. В. Виноградов // Молодежь и XXI век – 2016 : Материалы VI Международной молодежной научной конференции. – Курск, 2016. – С. 89 – 94.
17. Польові випробування удосконалених культиваторних лап / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль, В. С. Каденко [та ін.] // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків, 2019. – № 15. – С. 31 – 39.
18. Собачкин А. В. Формирование износостойких покрытий для деталей сельскохозяйственного машиностроения при электродуговой наплавке многокомпонентных механоактивированных СВС-материалов : дисс. ... канд. тех. наук : 05.16.09 / Алексей Викторович Собачкин. – Новосибирский государственный технический университет. Новосибирск, 2013. – 150 с.
19. Шамшетов С. Н. Повышение долговечности рабочих органов культиваторов для междурядной обработки хлопчатника : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : спец. 05.20.03 «Технологии и средства технического

обслуговування в сільському господарстві» / С. Н. Шамшетов. – Москва, 1985. – 20 с.

20. Бабицький Л. Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин / Л. Ф. Бабицький. – Київ : Урожай, 1998. – 162 с.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2022.

Стаття пройшла рецензування 21.03.2022.

Борак Костянтин Вікторович – д. т. н., доцент, заступник директора Житомирського агротехнічного коледжу з навчальної роботи.

Житомирський агротехнічний фаховий коледж.