

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“___” _____ 2025р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
В.В. Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Підвищення довговічності культиваторних лап для обробітку ґрунту»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Дремблюга І.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник док. філософії, доцент Шевчук М.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СЕРЕДОВИЩА ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП ПРИ ПЕРЕДПОСІВНІЙ ПІДГОТОВЦІ ҐРУНТУ, І СПОСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ.....	8
1.1. Особливості конструкції та умови застосування культиваторних лап для виконання передпосівної обробки ґрунту.	8
1.2. Аналіз типових дефектів робочих органів культиватора під час підготовки ґрунту до посіву.	13
1.3. Матеріали, що застосовуються для підвищення зносостійкості робочих поверхонь культиваторних лап.....	17
1.4. Висновки за розділом.....	22
 РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	24
2.1. Вплив об'ємного зміцнення лез на величину сили опору робочих органів.	24
2.2. Вплив поверхневого зміцнення лез на зміну сили опору робочих органів.	29
2.3. Аналіз та вивчення дефектів культиваторних лап, що з'являються під час використання.	33
2.4. Методика експериментальної оцінки витрат пального культиваторними лапами з технологічним зміцненням.....	35
2.5. Випробування робочих органів культиватора, зміцнених технологією конвергенції, у процесі передпосівного обробітку ґрунту.....	36
2.6. Вплив зміцнення культиваторних лап методом технологічної конвергенції на витрату пального під час експлуатації.....	44
2.7. Висновки за розділом.....	47
 РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	48
3.1. Організація системи охорони праці та безпечних умов у сільськогосподарському підприємстві.....	48
3.2 Оцінка стану охорони праці та безпеки під час експлуатації ґрунтообробної техніки.	49
3.3. Висновки по розділу.	50
 РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ	52
4.1. Підвищення ефективності роботи культиваторних лап і зниження витрат пального завдяки технології зміцнення.	52
4.2. Висновки за розділом.....	55
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

РЕФЕРАТ

Дремблюга І.О. Підвищення довговічності культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту методом технологічної конвергенції (Кваліфікаційна робота, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 62 сторінках, що включає 4 розділи, 25 рисунків, 8 таблиць та 36 джерел літератури).

Кваліфікаційна робота присвячена вдосконаленню експлуатаційних характеристик культиваторних лап шляхом застосування методу технологічної конвергенції. Суть цього методу полягає у поєднанні кількох технологій зміцнення робочих органів, що дозволяє підвищити їх ресурс, а також забезпечити самозагострювання під час експлуатації. Зокрема, досліджувалося використання електроконтактного загострення у поєднанні з додатковим дискретним зміцненням робочої поверхні за допомогою порошкових матеріалів.

Мета роботи - підвищення експлуатаційного терміну культиваторних лап, призначених для підготовки ґрунту до посіву, шляхом реалізації ефекту самозагострення та покращення стійкості до зношування із застосуванням методології технологічної конвергенції.

Об'єкт дослідження - інтеграція різноманітних технологічних рішень застосовується для підвищення стійкості та довговічності робочих органів культиваторів, зокрема їх лез.

Предмет дослідження - вплив характеристик та методів зміцнення робочих поверхонь культиваторних лап на процеси зношування та довговічність.

Ключові слова: РОБОЧІ ОРГАНИ КУЛЬТИВАТОРА, ПЕРЕДПОСІВНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ, УЩІЛЬНЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА ІНТЕГРАЦІЯ, РІЖУЧА КРОМКА, СТІЙКІСТЬ ДО ЗНОШУВАННЯ, АБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ, ТЕРМІН СЛУЖБИ, ПРОГНОЗУВАННЯ, РЕСУРС, ДОВГОВІЧНІСТЬ, АВТОМАТИЧНЕ ЗАГОСТРЮВАННЯ.

ВСТУП

Висока ефективність передпосівного обробітку ґрунту є одним із ключових факторів, що визначають урожайність сільськогосподарських культур. Особливо важливим є формування оптимального ложе для насіння, де лапи культиватора повинні забезпечувати рівномірне розрихлення ґрунту та підтримувати задану глибину обробітку відповідно до агротехнічних вимог.

Ускладнення у цьому процесі виникає при наявності забур'яненості, густих посівів сидератів або щільного кореневого шару, що ускладнює підрізання кореневої системи на глибині висіву насіння. В таких умовах ефективність роботи культиваторних лап безпосередньо залежить від їхньої гостроти. Постійно гострі лапи забезпечують якісне підрізання кореневої системи рослин, знижують опір ґрунту під час обробітку, що, у свою чергу, дозволяє зменшити витрату пального та підвищити продуктивність роботи [1–3].

Зарубіжні культиваторні лапи від відомих виробників, таких як Lemken, Frank, Kverneland, Rabewerk та ін., мають високий наробіток і довговічність, проте їхні об'ємно загартовані деталі часто виявляються недостатньо ефективними при передпосівному обробітку ґрунту. Основна проблема полягає у швидкому затупленні робочих кромek, що знижує якість підрізання кореневої системи бур'янів та сидеральних культур, особливо в системах органічного землеробства. Для культиваторних лап вітчизняного виробництва ці недоліки ще більш виражені: вони мають нижчу зносостійкість і коротший ресурс експлуатації, що обмежує їх практичне застосування у сучасному агровиробництві [4, 5].

В Україні накопичено значну кількість ґрунтообробної техніки зарубіжного виробництва, яка широко використовується в сільському господарстві. Досвід її експлуатації демонструє переваги у надійності та довговічності робочих органів у порівнянні з вітчизняними аналогами. Це підтверджує актуальність наукових досліджень, спрямованих на підвищення

зносостійкості та довговічності культиваторних лап вітчизняного виробництва, зокрема шляхом впровадження новітніх технологій зміцнення робочих поверхонь та самозагострення.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СЕРЕДОВИЩА ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП ПРИ ПЕРЕДПОСІВНІЙ ПІДГОТОВЦІ ҐРУНТУ, І СПОСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ

1.1. Особливості конструкції та умови застосування культиваторних лап для виконання передпосівної обробки ґрунту.

Стрілчасті робочі органи призначені для безвідвального подрібнення ґрунтового шару та знищення бур'янів під час передпосівного та міжрядного обробітку. Вони класифікуються залежно від кута кришення ґрунту (α) та функціонального призначення на три групи: плоскорізні ($\alpha = 10\text{--}18^\circ$), універсальні ($\alpha = 25\text{--}30^\circ$) та розпушувальні ($\alpha > 30^\circ$) [1.42, 1.43]. Кріплення робочого органу до стійки може здійснюватися двома способами: через хвостовик стрілчастої лапи, що передбачає різьбове або швидкокороз'ємне з'єднання, або без хвостовика, де використовують різьбові або заклепкові з'єднання.

Під час функціонування сільськогосподарської техніки відбувається зношування робочих елементів, що спричиняє зростання опору рухові машинно-тракторного агрегату (МТА). З метою відновлення ріжучих властивостей лез застосовуються три основні методи заточування: верхнє, нижнє та комбіноване. Для підтримки рівномірності глибини обробітку ґрунту рекомендовано використовувати верхнє заточування при куті кришення (α) менше 15° , нижнє – при куті кришення більше 25° , а комбіноване – в діапазоні від 15° до 25° . Важливо враховувати, що при виборі способу відновлення гостроти леза необхідно забезпечити задній кут різання (ϵ) не менше 10° [1.44, 1.45].

Робочі елементи стрілчастої форми вирізняються кутом відхилення крил ψ , шириною захоплення лапи B , шириною крила, а також товщиною матеріалу

δ , з якого виготовлено робочий орган (див. рис. 1.1). Провідні міжнародні виробники сільськогосподарської техніки для обробки ґрунту, зокрема Lemken, Kverneland, Horsch, Bellota, Gaspardo, Gascon та інші, з метою подовження експлуатаційного ресурсу та забезпечення надійності робочих елементів, застосовують методи підвищення їхньої міцності шляхом термічної обробки (гартування) або покриття зносостійкими матеріалами.

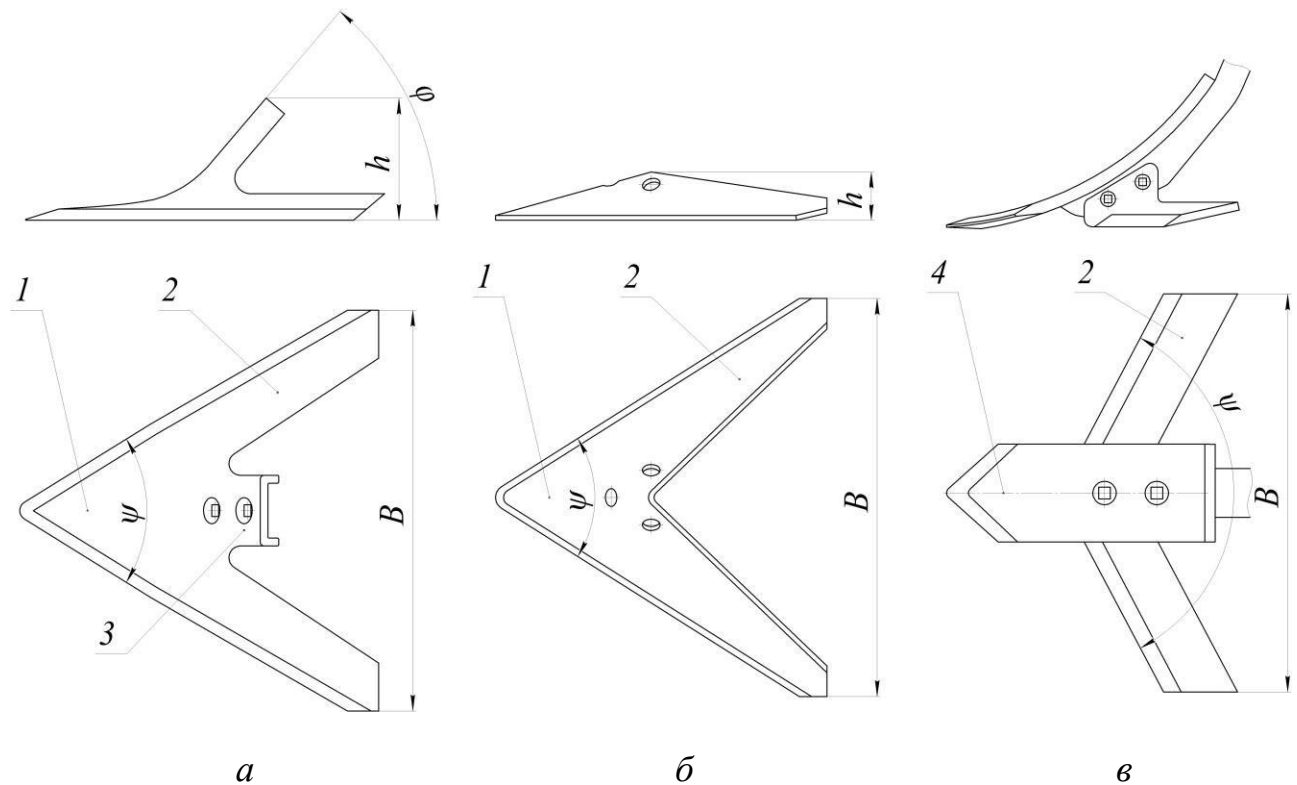


Рис. 1.1. Конструкція та параметри стрілочастих лап:

(а) – лапа культиватора з інтегрованою стійкою (хвостовиком); (б) – лапа культиватора без інтегрованої стійки; (в) – лапа культиватора, призначена для обробки ґрунту на значну глибину; 1 – Передня ділянка (лезо); 2 – Бокова поверхня (крило); 3 – Стійка (хвостовик) – елемент кріплення та регулювання глибини; 4 – Накінечник (долото) – робочий орган для руйнування ґрунту; ϕ – Кут встановлення стійки відносно горизонту; h – Вертикальний розмір (висота) лапи; ψ – Кут нахилу крил відносно горизонтальної площини; B – Ширина оброблюваної смуги ґрунту (ширина захвату).

Враховуючи високу інтенсивність зносу передньої частини робочих органів в умовах їхньої експлуатації, особливо у важких режимах, конструкція

часто передбачає її розділення на дві функціональні складові. Перша частина – долото, яке піддається термічному зміцненню та захищається від зношування шляхом нанесення зносостійкого покриття на тильну поверхню. Друга частина – леза (як показано на рисунку 1.2), які загартовуються до показників твердості в межах 50–60 HRC [1.7, 1.46] та фіксуються до стійки за допомогою різьбових з'єднань. Такі розбірні стрілочасті лапи, завдяки своїй конструкції, ефективно використовуються для глибокого розпушування ґрунту на глибину до 18 см [1.47].

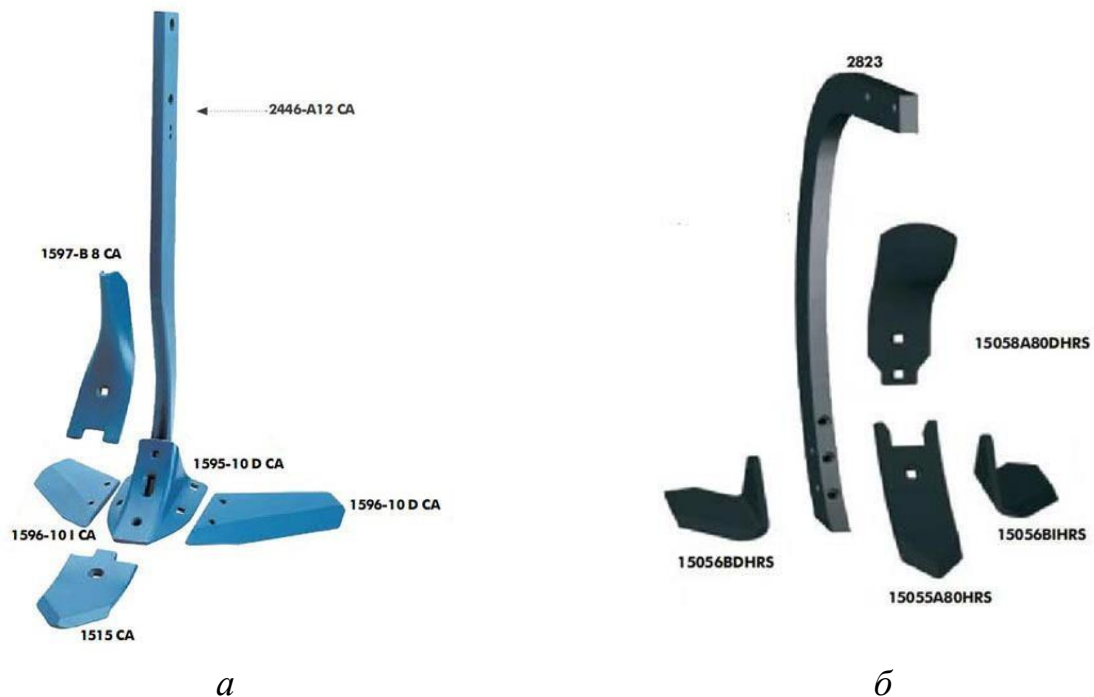


Рис. 1.2. Загальний вигляд розрихлювальних лап, призначених для глибокого обробітку ґрунту:

а – робочий орган (лапа) для культиватора Lemken Smaragd; б – робочий орган (лапа) для культиватора HORSCH MULCH-MIX.

Виходячи з аналізу конструктивних особливостей культиваторних лап, їх можна класифікувати за чотирма критеріями: функціональним призначенням, методом з'єднання зі стійкою, способом заточування ріжучої кромки та будовою (див. рис. 1.3).



Рис. 1.3. Різновиди лап культиватора

Аналіз умов експлуатації ґрунтообробної техніки показує, що її робочі органи під час роботи зношуються по-різному залежно від способу їх зміцнення та типу ґрунту. На тяжких ґрунтах знос переважно спостерігається у передній частині робочого органу та по ширині леза, тоді як на піщаних ґрунтах він відбувається переважно по товщині, при цьому контур леза залишається майже незмінним [1.48].

У зв'язку з цим було поставлено завдання: першочергово визначити величину та характер зношування культиваторних лап, ідентифікувати зони локального зміцнення робочих органів при їх відновленні та виготовленні, а також обґрунтувати вибір матеріалів для зміцнення з метою підвищення довговічності.

Дослідження авторів [1.4, 1.5, 1.49–1.52] показали, що на різні частини леза діє неоднаковий тиск. Зокрема, за даними [1.11, 1.53], величини тиску співвідносяться як $P_3 = 3,8 \cdot P_2 = 8,2 \cdot P_1$, а за даними [1.5] – $P_3 = 2,3 \cdot P_2 = 4,2 \cdot P_1$ (рис. 1.4).

Дослідження продемонстрували, що стан ріжучої крайки має вирішальне значення для мінімізації сили опору робочого органу, причому його вплив у 4-8 разів перевищує значущість стану інших робочих поверхонь [1.11].

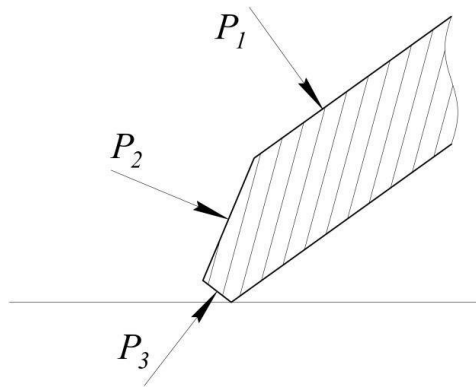


Рис. 1.4. Схематичне зображення функціонуючого ножа культиваторного робочого органу з відображенням сил, що впливають на нього у процесі виконання агротехнічних операцій з обробітку ґрунту

В рамках досліджень [1.54], присвячених розвитку інноваційних технологій виробництва та реставрації робочих елементів ґрунтообробної техніки на основі вуглецевих сталей (з концентрацією вуглецю в діапазоні 0,6–0,7%), із залученням електроерозійного оброблення для їхньої модифікації, було доведено, що зміцнення робочих поверхонь демонструє багатообіцяючі результати та позитивно впливає на процес відновлення зношених лоп культиваторів, відвалів плугів та дисків важких борін.

Наразі, окрім зазначених, розроблено чимало альтернативних матеріалів, що мають на меті підвищення міцності елементів конструкцій, які експлуатуються в умовах абразивного зношування. Зокрема, Дослідний завод зварювальних матеріалів Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України пропонує електроди марок Т-590 та Т-620 для підсилення робочих елементів. Застосування подібних матеріалів найбільш раціональне при локальному нанесенні на ділянки робочих поверхонь, що піддаються найбільш інтенсивному зносу, що дозволяє оптимізувати їх використання. За такого підходу до зміцнення, витрата матеріалу на один виріб становить близько 0,1 кг, при цьому зносостійкість елемента зростає в 2,0–2,5 рази у порівнянні з аналогічним серійним виробом [1-7].

Таким чином, одним із пріоритетних напрямків досліджень було вивчення закономірностей зношування робочих органів, обґрунтування вибору матеріалів для їх зміцнення, визначення ефективних технологій зміцнення та

встановлення раціональних режимів обробки, що забезпечують підвищення їх довговічності та експлуатаційної надійності.

1.2. Аналіз типових дефектів робочих органів культиватора під час підготовки ґрунту до посіву.

Складні умови експлуатації ґрунтообробної техніки, зокрема культиваторів, призводять до значного інтенсивного зношування їхніх робочих органів. Під час роботи відбувається поступова зміна розмірів, геометричної форми та ріжучих властивостей лап, що безпосередньо впливає на силу опору ґрунту та знижує якість обробітку. Таке зношування зменшує ефективність технологічних операцій, збільшує витрати енергії та пального і може призводити до нерівномірного розпушування ґрунту [1-5].

Характер і ступінь зношування робочих органів визначають стійкість роботи культиватора на заданій глибині обробітку. Зокрема, утворення затилкової фаски на ріжучій кромці лапи змінює напрямок дії реакції ґрунту, формуючи вертикальну складову, що впливає на рівномірність загальної глибини обробітку. У результаті цього може спостерігатися поглиблення лап, зміна кута їх входження в ґрунт та нерівномірне розпушування, що негативно позначається на підготовці ґрунту до посіву та якості насіннєвого ложа [1-7].

Врахування цих закономірностей є надзвичайно важливим при розробці технологій зміцнення робочих органів та підборі матеріалів, що забезпечують підвищення зносостійкості, довговічності та стабільності роботи культиваторів у різних ґрунтових умовах. Такий підхід дозволяє підвищити продуктивність ґрунтообробних машин, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити рівномірний передпосівний обробіток ґрунту.

Згідно з результатами досліджень, проведених різними авторами [1,9,14], на зношування елементів ґрунтообробної техніки суттєво впливає гранулометричний склад ґрунту, зокрема, присутність абразивних частинок піску, діаметр яких перевищує 0,01 мм. Найбільш інтенсивне руйнування

робочих поверхонь спостерігається при експлуатації машин на піщано-гравійних ґрунтах, у той час як мінімальна швидкість зносу зафіксована на чорноземних та глинистих ґрунтах [1,10].

Характерною особливістю є прискорене зношування передньої частини культиваторних лап, що пояснюється концентрацією тиску на різальну кромку у напрямку до носка. Зношування бічних поверхонь (крил) лап є менш вираженим. Подібна картина розподілу та ступеня зносу притаманна культиваторним лапам наступних моделей: КПЕ-410 (рис. 1.5), Bourgault (рис. 1.6), Kockerling Allrounder-10 (рис. 1.7), а також КРН і КПС-330 (рис. 1.8).



Рис. 1.5. Порівняльний вигляд нової (а) та зношеної (б) культиваторної лапи КПЕ-410 після експлуатації на піщаних ґрунтах

Результати експлуатаційних спостережень свідчать, що процес зношування культиваторних лап має інтенсивний характер і суттєво впливає на геометричні параметри деталі. Зокрема, у культиваторних лап КПЕ-410 при початковій ширині крил 65 мм у процесі тривалого використання величина зношування досягає 10–15 мм, що становить понад 20% від початкового розміру. Товщина металу зменшується з 8 мм до 6–7 мм, а в окремих випадках — до 5 мм, особливо у хвостовій частині, де спостерігається найбільший абразивний вплив частинок ґрунту. Внаслідок цього маса деталі знижується з 3,5 кг до 1,4–1,8 кг, що вказує на значні втрати матеріалу та скорочення ресурсу роботи лапи.

Аналогічні тенденції простежуються і у культиваторних лапах іноземного виробництва — Bourgault та Kockerling Allrounder-10. За номінальної ширини леза 50 мм, у процесі експлуатації величина його

зношування може сягати 35–40 мм, що призводить до суттєвого зменшення ефективної площі різальної кромки. При цьому залишкова товщина металу у хвостовій частині становить лише 2–3 мм, що знижує жорсткість і міцність деталі. Подібна зміна геометрії лапи погіршує якість передпосівного обробітку, збільшує силу тягового опору агрегату та витрати палива, а також прискорює загальний знос техніки.



Рис. 1.6. Порівняльний вигляд нової (а) та зношеної (б) культиваторної лапи Bourgault (ширина 310 мм) після експлуатації на глинистих ґрунтах



Рис. 1.7. Порівняльний вигляд нової (а) та зношеної (б) культиваторної лапи Kockerling Allrounder-10 після експлуатації на піщаних ґрунтах

Культиваторні лапи типів КПС-330 та КПЕ-410 характеризуються подібними закономірностями зношування. Найбільш інтенсивне руйнування матеріалу спостерігається у передній (носовій) частині, середня зона леза зазнає відносно рівномірного зношування, тоді як у задній частині крил фіксується повторне підвищення інтенсивності абразивного впливу.

Такий характер епюри зношування зумовлений нерівномірним розподілом навантажень по довжині ріжучої кромки. У передній частині спостерігається максимальний контакт із ґрунтом і найбільший питомий тиск,

що спричиняє прискорене стирання металу. У середній зоні леза навантаження стабілізується, тому зношування набуває більш рівномірного характеру. У задній частині крил, внаслідок вторинного перерозподілу потоку ґрунту та його завихрення, знову виникають локальні зони підвищеного тертя, що призводить до інтенсивнішого стирання матеріалу.



Рис. 1.8. Порівняльний вигляд нової (а) та зношеної (б) культиваторної лапи КПС (ширина 330 мм) після експлуатації на чорноземних ґрунтах

Зважаючи на те, що найбільше навантаження сприймає носова частина культиваторних лап, зношення таких деталей досягає величин, за яких відновлення цих деталей уже недоцільне. Особливо це стосується експлуатації на піщаних ґрунтах, коли культиваторна лапа зношується за товщиною до значень 2–3 мм, та за лінійним зношенням до значень, коли носок та лезо не виступає над стійкою і не захищає її від зношування.

Аналіз характеру та інтенсивності зношування культиваторних лап після визначеного терміну функціонування (див. рис. 1.9) емпірично підтверджує висунуту гіпотезу щодо раціональності локального зміцнення робочих елементів в областях, які зазнають найвищого ступеня абразивного впливу. Зосередження зусиль на армуванні саме цих зон сприяє пролонгації терміну служби компонента та забезпечує більш однорідний розподіл зносу протягом експлуатаційного періоду. Разом з тим, необхідно брати до уваги параметри навколишнього середовища, а саме: консистенцію, фракційний склад та гідратацію ґрунту, оскільки зазначені фактори істотно впливають

на динаміку та природу абразивного руйнування.

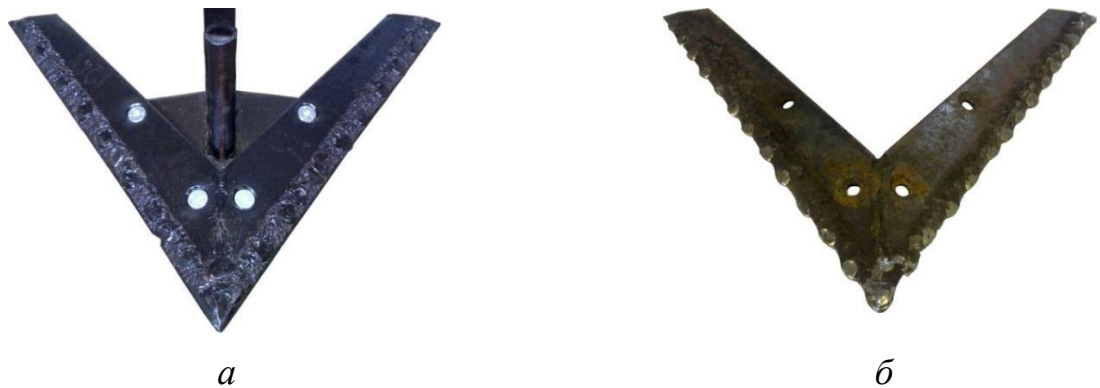


Рис.1.9. Порівняльний вигляд нової (а) та зношеної (б) культиваторної лапи КВАНТ–12 після експлуатації на чорноземних ґрунтах

Визначення характеру та інтенсивності зношування робочих органів надає можливість обґрунтувати оптимальний метод локального зміцнення для певного типу робочого органу, враховуючи його геометричні параметри та габарити. Локалізоване зміцнення, забезпечуючи мінімізацію витрат відносно коштовних зміцнювальних матеріалів, сприяє багаторазовому збільшенню терміну експлуатації нової або відновленої деталі [1,7,8].

1.3. Матеріали, що застосовуються для підвищення зносостійкості робочих поверхонь культиваторних лап.

Типи та марки матеріалів, що використовуються для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, повинні відповідати обраному способу нанесення на поверхню деталі. При цьому нанесений шар має володіти такими властивостями, які забезпечують його стійкість до абразивного зношення відповідно до умов експлуатації робочих органів. Для електродугового наплавлення доцільно застосовувати різноманітні матеріали, зокрема зварювально-наплавлювальні порошкові дроти, стрічки, сталеві наплавлювальні дроти, а також штучні електроди для ручного наплавлення

[1,15,16].

При ручному дуговому наплавленні робочих елементів ґрунтообробної техніки широко використовують зварювальні електроди, збагачені спеціальними компонентами, що поліпшують стійкість наплавленого шару до зношування. Для компонентів, що працюють в умовах сильного абразивного впливу, застосовують електроди типів Э-95Х7Г5С (марка 12АН-ЛИВТ) та Э-30Х5В2Г2СМ (марка ТКЗ-Н, ГОСТ 9466-75) [1,17].

Для відновлення деталей, що піддаються значному абразивному зносу та ударним навантаженням, доцільно використовувати електроди марок ЦС1 (типу Э-300Х28НЧСЧ), ЦН11 (типу Э-225Х10Г10С), ВСН6 (типу Э-110Х14В12Ф2) і ЦН16 (типу Э-175Б8Х6СТ), які відповідають стандартам ГОСТ 9466-75 та ГОСТ 10051-75 [18].

Щоб збільшити термін служби робочих елементів ґрунтообробної техніки, часто використовують трубчасті електроди, зокрема, так звані реліти марок ТЗ-1, ТЗ-2, ТЗ-3 та ТЗ-4. Ці електроди являють собою сталеву трубку (товщиною 0,65–0,80 мм), заповнену особливою порошковою сумішшю, що містить сталініт, феромарганець та інші компоненти. Під час процесу наплавлення, метал з цієї суміші збагачує наплавлений шар приблизно на 80–85 % марганцем, 90 % вуглецем та 90 % хромом [19].

Окрім цього, для зміцнення деталей широко застосовують сталеві наплавлювальні дроти, виробництво яких регламентується ДСТУ 3671-97. Особливо ефективними є леговані або високолеговані дроти, наприклад, Нп-40Х2Г2М, що забезпечує високу твердість наплавленого шару – 54–56 HRC після термічної обробки (гартування), Нп-50ХФА з твердістю в межах 43–50 HRC, а також Нп-40Х13 з твердістю від 42 до 52 HRC [20].

Для підвищення зносостійкості деталей методом відкритого дугового наплавлення, значного поширення набули порошкові дроти. Якість та характеристики шару, нанесеного за допомогою порошкових дротів, напряду залежать від хімічного складу шихти. Кількість легуючих елементів в наплавленому металі може сягати до 35 % [21, 22].

При виборі матеріалів для створення зносостійких шарів на деталях ґрунтообробної техніки, ключовим було збалансувати економічність з досягненням потрібних характеристик, таких як міцне зчеплення, висока твердість і опірність до зношування.

Для реставрації зношених поверхонь часто застосовують самофлюсуючі порошкові суміші на основі Ni–Cr–B–Si з додаванням карбідів і боридів жароміцних металів (вольфраму, ванадію, хрому, молібдену). Такий підхід дозволяє отримувати складні сплави з покращеними фізико-механічними властивостями, що значно збільшує термін служби та стійкість до зношування робочих елементів.

Ефективним підходом до підвищення зносостійкості робочих елементів ґрунтообробної техніки є застосування зносостійких гранульованих матеріалів шляхом газоплазмового, плазмового, детонаційного розпилення та порошкового наварювання. Для газополум'яного та плазмового напилення використовуються порошки з розмірним діапазоном 40–100 мкм, для газопорошкового наварювання – до 200 мкм, а для детонаційного напилення – 20–60 мкм. У процесі порошкового наварювання застосовуються матеріали марок ПГ–10Н–01, ПГ–10Н–04 та ПГ–10К–01, тоді як для газотермічного розпилення з подальшим оплавленням використовуються високолегована порошкова композиція ПС–12НВК–01, гранульовані порошки ПГ–12Н–01 та ПН–12Н–02. Інформація про марки порошоків та твердість сформованих покриттів представлена у таблиці 1.2.

Для формування зносостійких захисних шарів на робочих елементах ґрунтообробної техніки з метою оптимізації технологічних параметрів їх нанесення, було відібрано матеріали (порошкові композиції), які відповідають заданим критеріям твердості та зносостійкості нанесених покриттів.

ПГ-10К-01 призначений для посилення та реставрації компонентів, що функціонують в агресивних корозійних умовах, супроводжуваних абразивним руйнуванням. Нанесений методом наплавлення шар вирізняється значною стійкістю до абразивного впливу та підвищеною міцністю при дії контактних

навантажень. Показник твердості наплавленого матеріалу варіюється в діапазоні від 45 до 50 одиниць за шкалою Роквелла (HRC).

Таблиця 1.2

**Види порошкових сплавів і фізико-механічні показники наплавленого шару
(твердість)**

Вид порошкового матеріалу	Хімічний склад компонентів у відсотках за масою							Міцність покриття за шкалою HRC
	Cr	B	Si	Fe	Co	C	Ni	
ПГ-10Н-01	14-20	2,8-4,2	4,0-4,5	3-7	-	0,6-1,0	Основа	55-62
Сормайт - 1	25-31		2,8-4,2	54-66	-	2,5-3,5	3-5	48-52
ПГ-10К-01	21-25	1,2-1,8	0,8-1,3	До 2	35-39	1,3-1,7	28-32	45-50
ПГ-12Н-01	8-14	1,7-2,8	1,2-3,2	2-5	-	0,3-0,6	Основа	35-44
ПГ-12Н-02	10-16	2-4	3-5	3-6	-	0,4-0,8	Основа	45-54
ПГ-10Н-04	-	1,2-1,8	2,3-2,8	До 2	-	До 0,2	Основа	20-32
ПС-12НВК-01	8,4-14	1,7-2,4	2,4-3,1	22	WC 35	0,4-0,7	23-31	57-64
ФХБ-1	43	19	3	Осно- ва	-	0,8	-	-

Матеріал ПС-12НВК-01, що характеризується твердістю за Роквеллом у діапазоні HRC 57-64, являє собою композитну суміш, сформовану з порошку ПГ-10Н-01 (65% за об'ємом) та порошку карбіду вольфраму WC (35% за об'ємом). Дані покриття, отримані з використанням цієї композиції, демонструють підвищену стійкість до абразивного зношування.

Ферохромбор (ФХБ-1) використовується як легуючий елемент при виробництві сталей, а також у процесі виготовлення електродів для зварювання та наплавлення. Введення ферохромбору сприяє збільшенню показників твердості та стійкості до зношування кінцевого продукту.

Сормайт застосовується для нанесення зносостійких покриттів на компоненти металургійного, енергетичного та сільськогосподарського

обладнання, що експлуатуються в умовах інтенсивного абразивного зношування при температурах, що не перевищують 500 °С, та зазнають помірних ударних навантажень.

Зварювальні електроди типу Э-320Х25С2ГР-Т-590 призначені для наплавлення деталей, що експлуатуються в умовах переважно абразивного зношування за наявності помірних ударних навантажень, забезпечуючи твердість наплавленого шару HRC 58–64.

Для виконання операцій різання, стругання та пробивання отворів у вуглецевих, низьковуглецевих та легованих сталях застосовуються **вугільні** електроди ОК Carbon ESAB 8.0×305.

1.4. Висновки за розділом.

Під час експлуатації культиваторних лап відбувається зношування їхніх робочих поверхонь, що негативно впливає на товщину ріжучої кромки леза. Зі збільшенням наробітку товщина ріжучої кромки зростає, що призводить до підвищення сили опору та, як наслідок, до перевитрат пального. Це свідчить, що стан ріжучої кромки є визначальним фактором для зниження опору робочого органу, більш значущим, ніж стан інших робочих поверхонь.

Перспективним методом підвищення зносостійкості робочих органів є застосування порошкових матеріалів із частинками розміром близько 0,1 мкм. Це дозволяє значно підвищити фізико-механічні властивості наплавленого шару, зокрема межу міцності в 1,5–2,5 рази при збереженні достатньої пластичності. Використання порошкових матеріалів дозволяє збільшити ресурс деталей у 1,5–4 рази та одночасно зменшити експлуатаційні витрати.

Застосування локального зміцнення робочих органів порошковими матеріалами забезпечує ефективне підвищення ресурсу нових або відновлених деталей при мінімальних витратах дорогих матеріалів. На основі аналізу характерних дефектів та існуючих методів зміцнення культиваторних лап

визначено, що одним із ключових напрямків досліджень є вивчення закономірностей зношування, обґрунтування зміцнюючих матеріалів, розробка раціональних способів і режимів зміцнення з метою підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів.

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Вплив об'ємного зміцнення лез на величину сили опору робочих органів.

В процесі функціонування ґрунтообробних знарядь, через абразивний вплив та тиск ґрунтового середовища, найбільш інтенсивному зносу піддається крайка леза робочих елементів. Відбувається її притуплення з наступною деформацією геометричних параметрів, а саме, збільшення показника товщини ріжучої крайки (рис. 2.1). Дана тенденція особливо виражена у робочих органах, що мають об'ємне зміцнення визначених зон, як приклад, крил стрілочастих лап культиваторів [1–3].

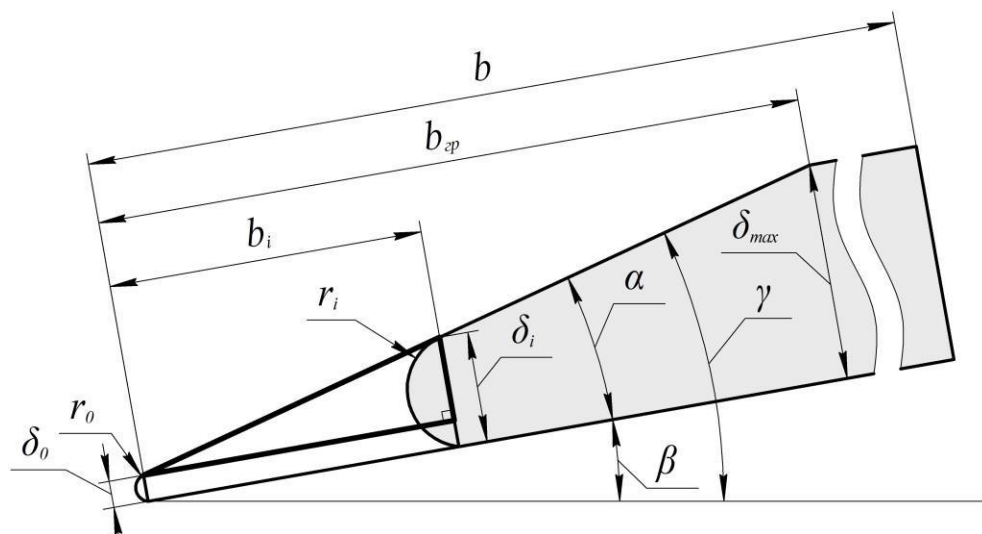


Рис. 2.1. Візуалізація процесу зміни геометрії ріжучої кромки робочих органів із застосуванням об'ємного загартування на різних стадіях зношення:

b – ширина робочого органу культиваторної лапи; b_i , b_{gr} – поточне (i -те) значення зношення леза по ширині та його критичне (граничне) значення, відповідно; δ_0 , δ_i , δ_{gr} – первісна (початкова), поточна (i -та) та максимально допустима (гранична) товщина різальної крайки, відповідно; α – кут загострення ріжучого елемента; β – задній кут обробки; γ – кут різання.

Ефективність леза культиваторної лапи визначається початковою товщиною різальної крайки (δ_0) та кутом її загострення (α). Параметри кута атаки (γ) та заднього кута (β) варіюються в залежності від функціонального призначення лапи, тобто для пропюлювання або розпушування ґрунту [4,5].

Процес зношування компонента призводить до трансформації товщини різальної крайки (δ_i) від початкового значення (δ_0) до граничного (δ_{cp}), де δ_i представляє будь-яке проміжне значення. Величина зносу (b_i) прямо пропорційно впливає на збільшення δ_i . При досягненні граничного значення ширини зносу леза (b_{cp}), товщина різальної крайки стабілізується на рівні δ_{cp} .

Аналіз характеру зношування робочих органів культиваторів, підданих об'ємному гартуванню (рис. 2.1), дозволив встановити кореляцію між геометричними характеристиками леза культиваторної лапи та величинами товщини різальної крайки δ_0 і δ_i . Дана залежність може бути математично виражена наступним чином:

$$\delta_i = \delta_0 + b_i \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.1)$$

Ця формула дає можливість передбачити розмір гострої частини інструменту під час використання. Також вона дозволяє оцінити, як зростатиме зусилля, необхідне для роботи, в залежності від того, наскільки зношується лезо по ширині. Більше зношування по ширині призводить до збільшення заокругленості ріжучих країв, що в свою чергу збільшує опір культиватора та споживання палива під час обробки ґрунту.

Зазвичай, при виробництві культиваторних лап, кут заточування леза коливається від 12° до 30° , що визначається технічними вимогами та конкретним призначенням інструменту [6, 7].

Виходячи з формули (2.1), було розроблено теоретичну модель, яка описує взаємозалежність між лінійним зносом (b_i), кутом заточування леза (α) та товщиною ріжучої кромки (δ_i), як показано на рисунку 2.2.

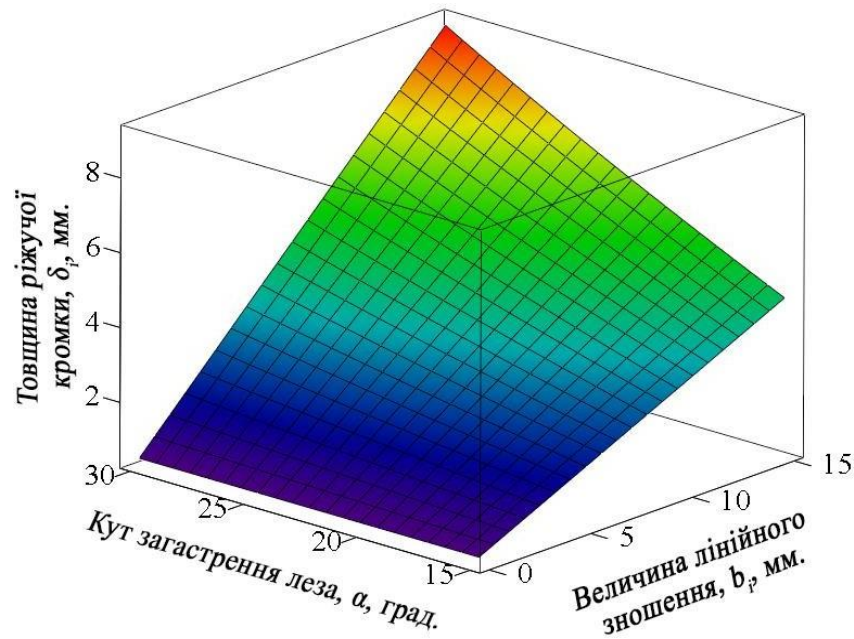


Рис. 2.2. Вплив ступеня зношення леза за шириною b_i та кута загострення леза α товщини ріжучої кромки δ_i

Теоретичні дослідження взаємозв'язку між ступенем зношування, гостротою кута та товщиною ріжучої частини лап культиватора, які пройшли об'ємне загартування, показали, що під час роботи, внаслідок лінійного зношування леза, поступово збільшується радіус заокруглення ріжучої кромки. Зменшення величини зношення (δ_i), а в кращому випадку, повернення її до початкового значення (δ_0) та підтримання цього значення протягом усього терміну служби, можливо за допомогою підвищення міцності поверхні леза культиваторної лапи. Це можна зробити, наприклад, шляхом нанесення захисних шарів або поверхневого загартування робочої зони леза на глибину від 0,5 до 2,0 мм.

Для передбачення коливань тягового опору культиватора під час роботи, було вирішено вдосконалити наявну формулу (1.1). Зокрема, пропонується обчислювати компонент k_{avn} , який визначає опір зрізу та деформації шару ґрунту, за допомогою виразу (1.2). З урахуванням цієї модифікації, формула (1.1).

Отримана формула (2.2) для визначення сили опору культиватора удосконалює класичну формулу В.П. Горячкіна, беручи до уваги опір ґрунту

стисканню та сколюванню, а також опір вдавлюванню, зумовлений товщиною ріжучої кромки.

(2.2)

$$P_k = f \cdot G + \tau \cdot a \cdot B \cdot ((\cos \varphi \cdot \sin(\gamma + 2\varphi')) / (\cos \varphi' \cdot \cos^2((\gamma + \varphi + \varphi')/2))) + \delta_i \cdot B \cdot \sigma_{\text{вд}} \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot n \cdot V$$

Для передбачення зміни сили опору культиватора були застосовані наступні дані:

$$f = 0,5; \quad G = 80000 \text{ Н};$$

$$\tau = 11768 \text{ Н/м}^2; \quad a = 0,05 \text{ м}; \quad B = 0,4 \text{ м};$$

$$\varphi = 39^\circ; \quad \varphi' = 31^\circ; \quad \gamma = 30^\circ; \quad \sigma_{\text{вд}} = 378820 \text{ Н/м}^2; \quad n = 38 \text{ шт.};$$

$$\varepsilon = 1500 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4; \quad V = 2,22 \text{ м/с}.$$

Отримані результати дозволили аналітично визначити, як товщина ріжучої кромки впливає на зміну сили опору культиватора (рис. 2.3).

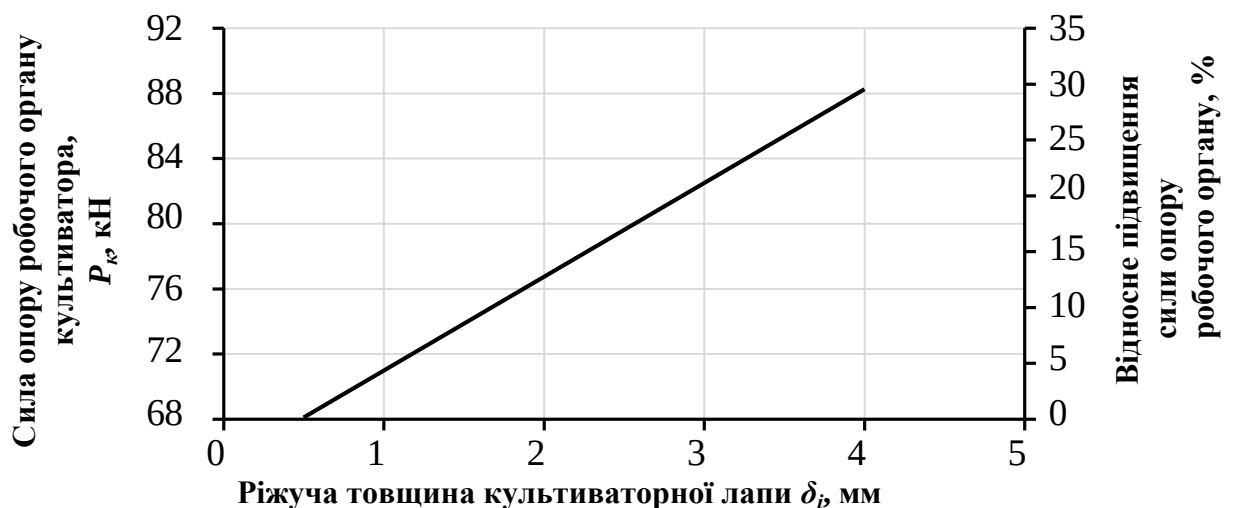


Рис. 2.3. Вплив товщини ріжучої кромки на силу опору культиватора КВАНТ-12

З аналізу графіка (рис. 2.3) видно, що потовщення різальної кромки культиваторної лапи від 0,5 мм до 4 мм викликає збільшення опору культиватора приблизно на 29,6 %.

Формулу для визначення опору агрегату (2.2) було модифіковано з урахуванням впливу зміни товщини ріжучої кромки леза культиваторної лапи після об'ємного загартування (2.1), що призвело до отримання наступного

виразу:

$$P_k = f \cdot G + \tau \cdot a \cdot B \cdot ((\cos \varphi \cdot \sin(\gamma + 2\varphi')) / (\cos \varphi' \cdot \cos^2((\gamma + \varphi + \varphi')/2)) + (\delta_0 + b_i \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot B \cdot \sigma_{\text{вд}}) \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot n \cdot V \quad (2.3)$$

Наочне представлення отриманого рівняння (2.3) продемонстровано на рисунку 2.4 у вигляді поверхні відгуку.

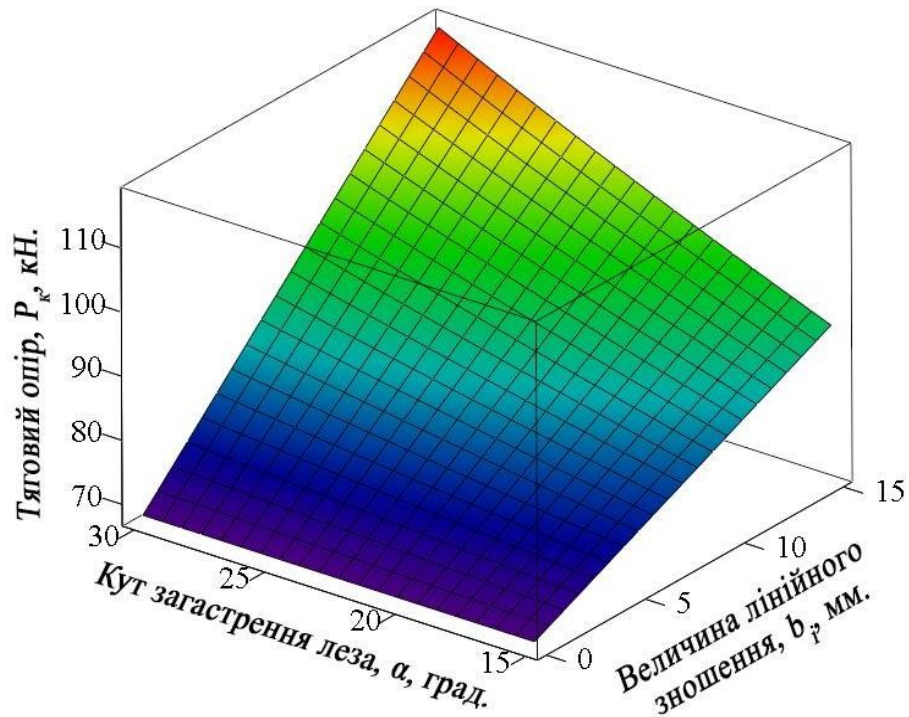


Рис. 2.4. Вплив сили опору культиватора враховуючи величину лінійного експлуатування за леза шириною b_i і кута загострення леза α

Математична модель (2.3) та графічне представлення (рис. 2.4), що описують залежність сили опору культиватора P_k від ступеня лінійного зносу леза по ширині b_i та кута загострення леза культиваторної лапи α , створюють можливість моніторингу та регулювання величини сили опору культиватора за допомогою механічних методів. Зокрема, при збільшенні сили опору до рівнів, що зумовлюють надмірне споживання палива на 10 – 15 %, рекомендовано проводити відновлення гостроти лез культиваторних лап. Однак, зазначене технічне обслуговування сприяє збільшенню виробничих витрат у сільському господарстві.

У разі зміцнення поверхні ріжучої частини робочого елемента зносостійкими речовинами або зміцнення робочої площини леза, на початковому етапі використання кут γ , який є кутом загострення, визначається як сума кутів α і β . Під час зносу леза культиваторної лапи при такому зміцненні, формується задня площина шириною L_i на висоті h_i від початкового положення. При цьому кут загострення γ залишається постійним.

На відміну від об'ємного загартування, геометричні характеристики ріжучої кромки робочих елементів з поверхневим зміцненням визначаються товщиною зміцненого шару леза, δ_{iz} . Оскільки зміцнений шар зношується повільніше, ніж основний метал, очікується, що під час роботи на робочому органі сформується площина, орієнтована паралельно напрямку руху, шириною L_i . Це сприяє ефекту самозагострення леза. При цьому нижня площина робочого елемента, встановлена на певну глибину обробки ґрунту, підніметься на висоту h_i , яка дорівнює:

$$h_i = (\delta_0 - \delta_{iz} + b_i \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)) \cdot \cos \beta. \quad (2.4)$$

У процесі використання, відстежуючи знос лапи плуга за шириною шляхом вимірювань, можна визначити необхідну висоту (h_i) для корегування глибини обробітку ґрунту, враховуючи попередні налаштування.

Вплив кута електроконтактного загострення (α) на кут основи (незміцненого шару металу) (α_o) залежить від початкової товщини зміцненого шару (δ_{0z}) та її максимального значення ($\delta_{\max z}$) і обчислюється за формулою:

$$\alpha_o = \arctg \frac{(\delta_{\max} - \delta_{\max z} - \delta_0 + \delta_{0z}) \operatorname{tg} \alpha}{\delta_{\max} - \delta_0}, \quad (2.5)$$

де $\delta_{\max}$ — максимальна товщина леза культиваторної лапи, що відповідає товщині матеріалу виготовлення, в міліметрах;

$\delta_{\max}$ – максимальна товщина електроконтактного зміцнення, виражена в міліметрах;

δ_0 – початкова товщина ріжучої кромки культиваторної лапи, мм;

δ_{0z} – початкова товщина електроконтактного зміцнення, мм;

α – кут загострення леза, град.

Вираз (2.5) дає можливість прогнозувати кут формування підкладки (не укріпленого шару металу) α_o , враховуючи кут електроконтактного заточування α , первинну δ_0 та граничну $\delta_{\max}$ товщину різальної частини, а також граничну товщину електроконтактного зміцнення $\delta_{\max}$.

Зважаючи на геометричні характеристики різальної крайки робочих елементів із поверхневим зміцненням (див. рис. 2.5) та отримане рівняння (2.5), модифікація товщини різальної крайки δ_{iz} в умовах поверхневого зміцнення леза визначається таким співвідношенням:

$$\delta_{iz} = \delta_0 + b_i \cdot \operatorname{tg} \alpha - b_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_o = \delta_0 + b_i \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_o) \quad (2.6)$$

де δ_0 – початкова товщина ріжучої кромки культиваторної лапи, мм;

b_i – величина лінійного зношення за шириною леза, мм;

α – кут загострення леза, град;

α_o – кут основи (не зміцненого шару металу), град.

Рівняння (2.6) дозволяє визначити товщину або глибину зміцненого шару δ_i , який формується на ріжучій кромці культиваторних лап у процесі електроконтактного оброблення під час експлуатації. Цей розрахунок враховує дві ключові характеристики: кут заточування леза α та величину лінійного зносу леза b_i (див. рис. 2.6). Такий підхід дозволяє прогнозувати, як зміцнений шар змінюватиметься в процесі роботи, забезпечуючи оптимальний розподіл твердості та зносостійкості по всій ріжучій кромці. Використання цього рівняння дає змогу обґрунтовано вибирати параметри електроконтактного зміцнення, підвищувати довговічність робочих органів культиватор.

Аналіз математичного виразу (2.6) та графічного відображення процесу (рис. 2.6) показує, що товщина шару, зміцненого електроконтактним

обробленням δ_i , варіюється уздовж ріжучої кромки від $\delta_{0z} = 0,5$ мм у початковій частині леза до $\delta_{\max z} = 2$ мм у його кінцевій частині. Інтенсивність цього наростання по ширині леза безпосередньо залежить від кута загострення α . Зі збільшенням кута загострення α товщина зміцненого шару розподіляється більш рівномірно, що сприяє більш стабільному зносостійкому захисту ріжучої кромки, тоді як при менших кутах загострення спостерігається швидке наростання шару ближче до кінця леза. Ці закономірності свідчать про те, що ефективність електроконтактного зміцнення значною мірою визначається геометрією леза. Оптимальний вибір кута загострення та контроль товщини шару δ_i дозволяють забезпечити рівномірне підвищення твердості та зносостійкості, зменшити локальні перевантаження матеріалу та подовжити ресурс робочих органів культиватора. Такий підхід дозволяє з мінімальними витратами досягти значного покращення експлуатаційних характеристик лап.

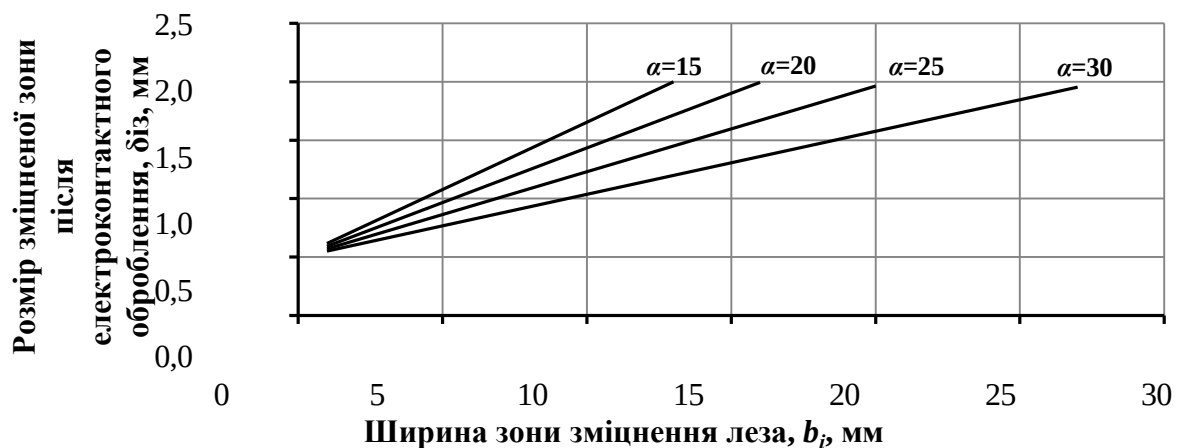


Рис. 2.6. Вплив лінійного зношення леза за шириною на товщину шару, зміцненого електроконтактним обробленням

Аналіз математичного виразу (2.6) та графіку (рис. 2.6) показав, що товщина шару, зміцненого електроконтактним обробленням, змінюється від 0,5 мм на початку ріжучої кромки до 2 мм на її кінці. Інтенсивність наростання шару залежить від кута загострення леза: більший кут забезпечує більш рівномірний розподіл, менший – більш різке збільшення товщини до кінця леза. Ці закономірності дозволяють оптимізувати електроконтактне зміцнення, підвищити зносостійкість ріжучих кромки і продовжити ресурс культиваторних лап

2.3. Аналіз та вивчення дефектів культиваторних лап, що з'являються під час використання.

Працездатність робочих елементів підтримується доти, доки їхні конструктивні характеристики відповідають заданим функціям та утримуються в межах допустимих відхилень, згідно з нормативною, технічною та проектною документацією. Кожен робочий елемент характеризується певними критеріями граничного стану.

Пошкодження або вихід з ладу робочих елементів відбувається через недостатню міцність компонента або внаслідок непередбачених обставин (недотримання правил експлуатації, зіткнення з перешкодами тощо) (рис. 7). У таких випадках пошкоджені робочі елементи підлягають заміні новими, а їхній строк служби обчислюється з початку.



Рис.2.7. Приклади деформацій і пошкоджень культиваторних лап:

а – злам крила робочого органу культиватора КПС-270; б – Злам крила в районі фіксації робочого органу культиватора КВАНТ-12; в – Зношення ділянки фіксації відремонтованого робочого органу культиватора КПС-330.

Рис. 2.7 ілюструє культиваторні лапи з видимими деформаціями та пошкодженнями, що виникли в процесі їх експлуатації.

Ефективність підрізання кореневищ бур'янів лапами культиватора визначається радіусом їх ріжучої кромки. Разом з тим, модифікація цього параметра робочих органів тягне за собою збільшення сили опору ґрунту та, як наслідок, підвищену витрату палива. Зміни глибини обробітку ґрунту під час роботи культиватора призводять до невідповідності встановленим

агротехнічним вимогам. Це проявляється у недостатньо якісному підрізанні кореневої системи та подрібненні рослинних решток, особливо коли робочі органи зазнають значного зношення. У таких випадках ріжучі кромки можуть втрачати контакт із ґрунтом, а корпусні деталі машини починають безпосередньо взаємодіяти з ґрунтовим шаром, що негативно впливає на ефективність обробітку (рис. 3.2). Поточний стан роботи та рівень зношення оцінюють переважно візуально, що дозволяє визначити необхідність регулювання глибини обробітку або відновлення робочих органів.

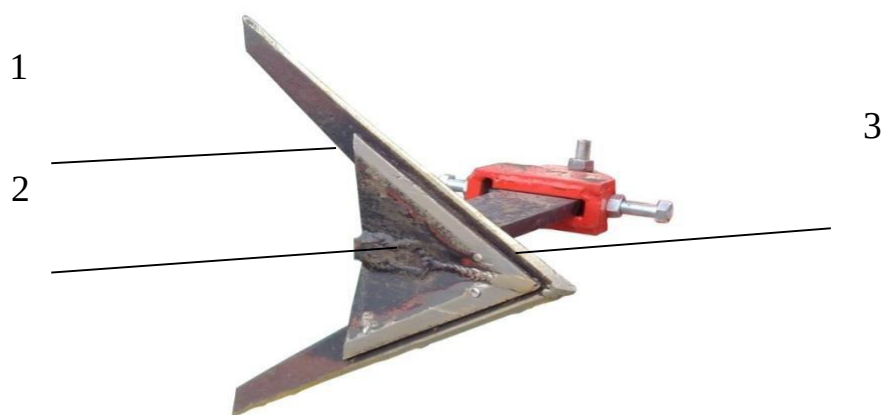


Рис. 2.8 Стан зношення культиваторних лап КВАНТ-12, при якому відбувається взаємодія корпусу стійки з ґрунтом:

1 – робочий орган культиватора КВАНТ-12; 2 – нижня частина стійки культиватора; 3 – стійка робочого органу культиватора.

Звуження робочої ширини інструменту внаслідок поступового зносу компонентів по довжині та ширині викликає необхідність виконання додаткових виробничих процесів.

Для оцінки економічної обґрунтованості відновлення робочих елементів при їх використанні на різних типах ґрунтів спочатку проводиться діагностика дефектів. Під час цієї процедури компоненти розподіляються на ті, що можуть бути використані в подальшому, ті, що потребують ремонту (рис.2.9 б, в), і ті, що не підлягають відновленню та мають бути замінені (рис. 2.9 а).

Деталі, які досягли максимального зносу та більше не можуть використовуватись, підлягають відновленню, якщо це технічно можливо.



Рис. 2.9. Гранично зношені робочі органи з дефектами по ширині, товщині та захвату

а - наявне значне пошкодження в зоні з'єднання (деталь не підлягає подальшому використанню); б, в - спостерігається максимальний знос елементів (можливе проведення ремонту).

Дотримання правил використання робочих елементів дасть змогу вчасно замінювати зношені деталі на нові або відновлені, що зменшить кількість відбракованих зношених робочих елементів та знизить витрати на придбання нових деталей.

2.4. Методика експериментальної оцінки витрат пального культиваторними лапами з технологічним зміцненням.

Дослідження витрати пального під час експлуатації культиваторних лап, зміцнених методом технологічної конвергенції, проводили в польових умовах під час виконання операції «культивація на глибину 5 см». Для цього використовували колісний трактор Fendt 936 Vario, обладнаний культиватором КВАНТ–12. Випробування дозволяли оцінити вплив зміцнення робочих органів на енергоємність процесу обробітку ґрунту та встановити ефективність використання таких лап у реальних умовах агротехнічних операцій. Дослідження також передбачало фіксацію витрат пального в залежності від стану робочих органів та їх зношення, що забезпечувало комплексний аналіз експлуатаційних характеристик культиватора.



Рис. 2.10. Культиватор КВАНТ–12 у зчепленні з трактором Fendt 936 Vario

У ході експериментальних досліджень з метою оцінки витрати палива при використанні серійних культиваторних лап і лап, покращених за допомогою методу технологічної конвергенції, було залучено трактор Fendt 936 Vario з двигуном внутрішнього згорання потужністю 360 к.с. Під час роботи трактор Fendt 936 Vario в агрегаті з культиватором КВАНТ–12 рухався з робочою швидкістю 8 км/год. У процесі дослідження бортовий комп'ютер трактора Fendt 936 Vario реєстрував продуктивність за зміну, розподілену на кількість культиваторних лап, а також питому витрату пального. Паралельно здійснювалися вимірювання товщини ріжучих країв лез культиваторних лап.

Аналіз отриманих даних проводився з використанням програм Microsoft Excel 2010, StatSoft STATISTICA, MathCAD V15, КОМПАС-3D V16.

2.5. Випробування робочих органів культиватора, зміцнених технологією конвергенції, у процесі передпосівного обробітку ґрунту.

Культиваторні лапи з шириною захвату 420 мм (рис. 2.11), котрі були виготовлені та модифіковані в умовах експериментальної ділянки лабораторії, підлягали апробації у реальних польових умовах. Рисунок 2.11 демонструє загальний вигляд повного набору виготовлених робочих органів, а також посилених стрілчастих лап, призначених для культиватора КВАНТ-12. Альтернативно, ілюстрація 2.11 представляє комплексний огляд виготовлених

робочих елементів у зборі та укріплених стрілочастих плоскорізів, які використовуються у культиваторі моделі КВАНТ-12.



Рис. 2.11. Комплект виготовлених робочих органів та зміцнених стрілочастих лап для культиватора КВАНТ-12

На культиватор із шириною захвату 12 м були встановлені посилені культиваторні лапи заводського виготовлення (див. рис. 2.12).



Рис. 2.12. Культиватор КВАНТ-12, підготовлений до експлуатаційних випробувань із застосуванням виготовлених і зміцнених робочих органів



Рис. 2.13. Зовнішній стан робочих органів культиватора КВАНТ-12 після відпрацювання площі 55 га на один лаповий елемент

Для оцінки впливу зміцнення різними порошковими матеріалами на знос леза культиваторної лапи, після польових випробувань були отримані зразки з напрацюванням 8, 23, 42, 55 гектарів (див. рис. 2.14). Ці зразки дозволяють визначити, як змінюється лінійний знос леза залежно від ступеня зношення при застосуванні різних технологій зміцнення.

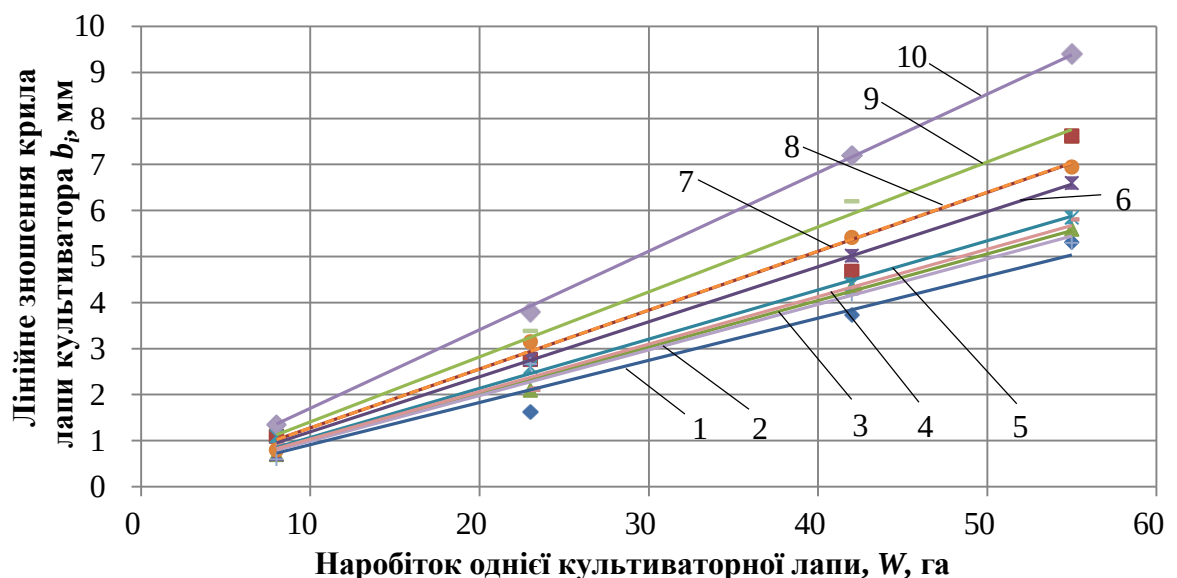


Рис. 2.14. Динаміка зміни лінійного зношення лез культиватора КВАНТ-12 у процесі експлуатації:

1 - ПС-12НВК-01 + Т-590; 2 - ПГ-10К-01 + Т-590; 3 - ФХБ-1 + Т-590;
 4 - ПГ-10К-01 + Графітовий; 5 - Сормайт + Т-590; 6 - ПС-12НВК-01 +
 Графітовий; 7 - ФХБ-1 + Графітовий; 8 - Сормайт + Графітовий; 9 – Лапи
 після електроерозійної обробки; 10 – Серійні (незміцнені) культиваторні лапи.

Відповідно до інформації, відображеної на рисунку 14, після обробітку 55 гектарів землі на один робочий орган культиватора, знос леза, укріпленого порошковим матеріалом ПС-12НВК-01 та електродом Т-590, становить 5,3 мм. Слід зазначити, що даний показник зносостійкості на 43,6% перевищує аналогічний параметр для лап, укріплених за допомогою методу електроконтактного наплавлення.

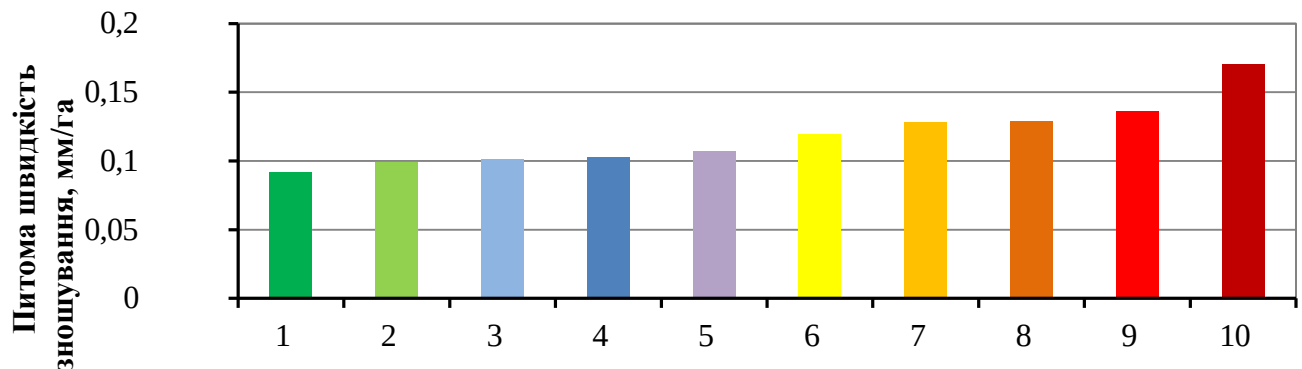


Рис. 2.15. Взаємозв'язок між показником зносу робочих поверхонь лап культиватора, укріплених методом технологічної конвергенції із застосуванням різних сумішей порошкових матеріалів:

1 - Покриття ПС-12НВК-01 + Т-590; 2 - Покриття ПГ-10К-01 + Т-590;
3 - Покриття ФХБ-1 + Т-590; 4 - Покриття ПГ-10К-01 + Графіт; 5 -
Покриття Сормайт + Т-590; 6 - Покриття ПС-12НВК-01 + Графіт; 7 -
Покриття ФХБ-1 + Графіт; 8 - Покриття Сормайт + Графіт; 9 –
Електрична ерозія; 10 - Звичайні культиваторні лапи.

Рисунок 2.15 демонструє результати порівняння зносостійкості робочих поверхонь культиваторних лап, зміцнених методом технологічної конвергенції з використанням різних композицій порошкових матеріалів.

Аналіз показує, що комбіноване застосування зміцнюючих сумішей (наприклад, ПС-12НВК-01 + графіт або Сормайт + графіт) забезпечує істотно нижчу інтенсивність зношування порівняно із серійними (незміцненими) лапами. Найвищу стійкість до абразивного зносу продемонстрували зразки, зміцнені сумішами на основі графіту та порошоків із високою твердістю, тоді як звичайні лапи мали найбільший показник зношення.

Отже, використання технології конвергенції з оптимальним доббором

порошкових матеріалів дозволяє значно підвищити ресурс роботи культиваторних лап і зменшити втрати металу під час експлуатації

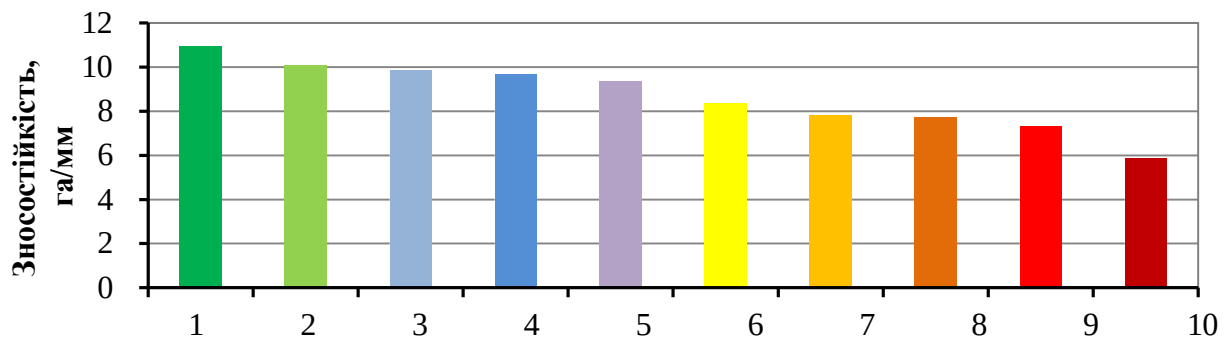


Рис. 2.16. Залежність зносостійкості робочих органів культиваторів, укріплених за допомогою методу технологічної конвергенції з використанням різних порошкових матеріалів:

1 - ПС-12НВК-01 + Т-590; 2 - ПГ-10К-01 + Т-590; 3 - ФХБ-1 + Т-590;
4 - ПГ-10К-01 + Графітовий; 5 - Сормайт + Т-590; 6 - ПС-12НВК-01 +
Графітовий; 7 - ФХБ-1 + Графітовий; 8 - Сормайт + Графітовий; 9 –
Електроерозійна обробка; 10 - Заводські культиваторні лапи.

Найкращі показники зносостійкості спостерігалися у матеріалі ПС-12НВК-01, наплавленого електродом Т-590 Ø5х450 мм (рис. 2.16). Закономірність зміни зносостійкості описується наступним рівнянням:

$$b_i = 0,085W - 0,056 \quad (4.1)$$

де b_i – значення лінійного зносу леза культиваторної лапи, в міліметрах;
 W – обсяг роботи, виконаний однією лапою культиватора, в гектарах.

Результати лабораторних досліджень з визначення втрати маси культиваторних лап показали суттєву різницю у зносостійкості між зміцненими та серійними (незмцненими) робочими органами. Так, після відпрацювання площі 55 га середня маса зношення зміцнених лап становила 436 г, що на 40,3 % менше, ніж у стандартних серійних лап. Це свідчить про істотне підвищення їх довговічності та зниження інтенсивності абразивного зношення в процесі експлуатації.

Зниження втрати маси пояснюється утворенням на робочих поверхнях міцного зміцненого шару з підвищеною твердістю, що ефективно протидіє

впливу твердих частинок ґрунту. Отже, застосування методу технологічної конвергенції забезпечує не лише зменшення зношення металу, але й підвищення стабільності геометричних параметрів ріжучої кромки, що в результаті позитивно впливає на якість обробітку ґрунту та знижує енерговитрати під час роботи культиватора.

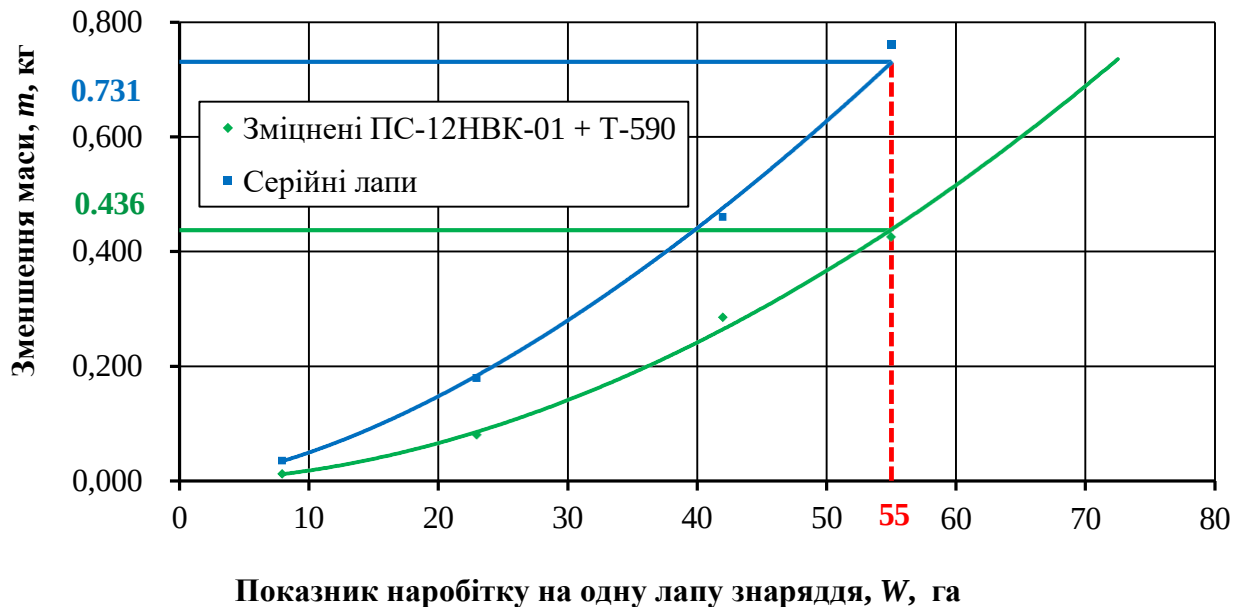


Рис. 2.17. Динаміка зменшення маси робочих органів культиватора КВАНТ-12 у процесі їх експлуатаційного наробітку

Після проведення лабораторно-польових випробувань робочих органів культиватора КВАНТ-12 були оброблені отримані дані щодо зміни маси лопат у процесі експлуатації. На їх основі було побудовано математичні моделі (4.2), (4.3), що описують процес вагового зношення як серійних (m_s), так і зміцнених (m_x) лопат залежно від величини наробітку W . Ці моделі дозволяють кількісно оцінити втрату маси робочих органів і прогнозувати їх експлуатаційний ресурс.

Для серійних лопат характерне більш інтенсивне зношування, тоді як зміцнені лапи демонструють значно менші темпи втрати маси завдяки підвищеній зносостійкості. Використання цих моделей дає змогу прогнозувати ресурс робочих органів, оптимізувати терміни їхнього обслуговування та визначати економічну ефективність застосування методів зміцнення, таких як технологічна конвергенція або поверхневе загартування.

$$m_c = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot W^{1.58} \quad (4.2)$$

$$m_z = 2,38 \cdot 10^{-4} \cdot W^{1.875} \quad (4.3)$$

де m_c , m_z – відповідно, маса зношеного матеріалу стандартних та укріплених лап культиватора, кг;

W – продуктивність на одну лапу культиватора, га.

Округлення ріжучої кромки – важлива характеристика культиваторних лап, що позначається на споживанні палива при обробітку ґрунту. Під час випробувань вивчався вплив зносостійких напиленів на зміну цього радіусу (див. рис. 2.18). Щоб отримати надійні дані, культиваторні лапи використовувалися протягом усього терміну обробітку площі в 55 гектарів без додаткового загострення.

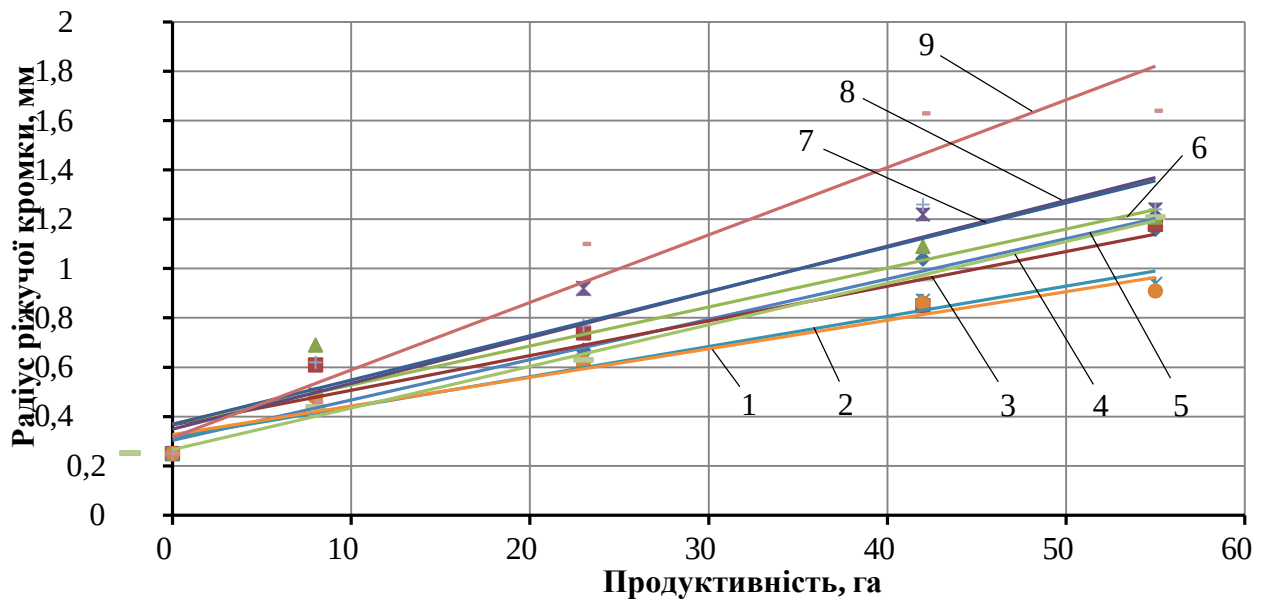


Рис. 2.18. Зміна величини радіуса леза лапи в залежності від часу роботи:

- 1 - Поєднання ПГ-10К-01 з Т-590; 2 - Комбінація ПГ-10К-01 з Графітовим;
 3 - Використання Сормайту в поєднанні з Графітовим; 4 - Застосування електроіскрової обробки; 5 - З'єднання Сормайту з Т-590; 6 - Об'єднання ПС-12НВК-01 з Т-590; 7 - Комбінування ФХБ-1 з Т-590; 8 - Поєднання ПС-12НВК-01 з Графітовим; 9 - З'єднання ФХБ-1 з Графітовим.

У ході проведених досліджень було виявлено суттєве збільшення радіуса ріжучої кромки серійних зразків культиваторних лап, що досягало 1,64 мм. Оптимальні показники демонстрували лапи, зміцнені порошковим матеріалом ПС-12НВК-01 із застосуванням електроду Т-590, де радіус ріжучої кромки становив 0,91 мм, що на 44% поступається аналогічному параметру серійних виробів. Результати прискорених випробувань на абразивний знос, здійснених з метою оцінки впливу додаткового зміцнення лез культиваторних лап різними порошковими композиціями та наплавлення їх різними типами електродів, дозволили визначити відносну зносостійкість зазначених матеріалів (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Вплив застосування порошкових матеріалів на відносну стійкість до зношування додатково зміцнених поверхонь

Зразок порошкового матеріалу	Тип електрода, що використовувався для нанесення порошкового матеріалу	Загальна маса втраченого матеріалу покриття внаслідок абразивного зношування після 10 хвилин випробування, г.	Відносна стійкість до зношування
ПС-12НВК-01	Графітовий	0,00311	4,24
ПГ-10К-01	Графітовий	0,00255	5,18
ФХБ-1	Т-590	0,00250	5,27
ПГ-10К-01	Т-590	0,00247	5,34
ФХБ-1	Графітовий	0,00337	3,92
ПС-12НВК-01	Т-590	0,00262	5,04
Сормайт	Т-590	0,00280	4,72
Сормайт	Графітовий	0,00360	3,67
Електроерозійна обробка	Т-590	0,00294	4,49
Електроерозійна обробка	-	0,00379	3,48
Еталон – Сталь 65Г		0,01320	1,00

Результати порівняння теоретичних моделей, що прогнозують ресурсні показники культиваторних лап, з фактичними експериментальними даними представлені на графіку з довірчим інтервалом 95 % (рис. 2.19). Аналіз показав високу відповідність моделі експериментальним результатам, що підтверджує її адекватність для оцінки зносу та ресурсних характеристик як серійних, так і зміцнених робочих органів культиватора. Використання цієї моделі дозволяє надійно прогнозувати терміни експлуатації лап і планувати їх обслуговування та заміну з мінімальними витратами.

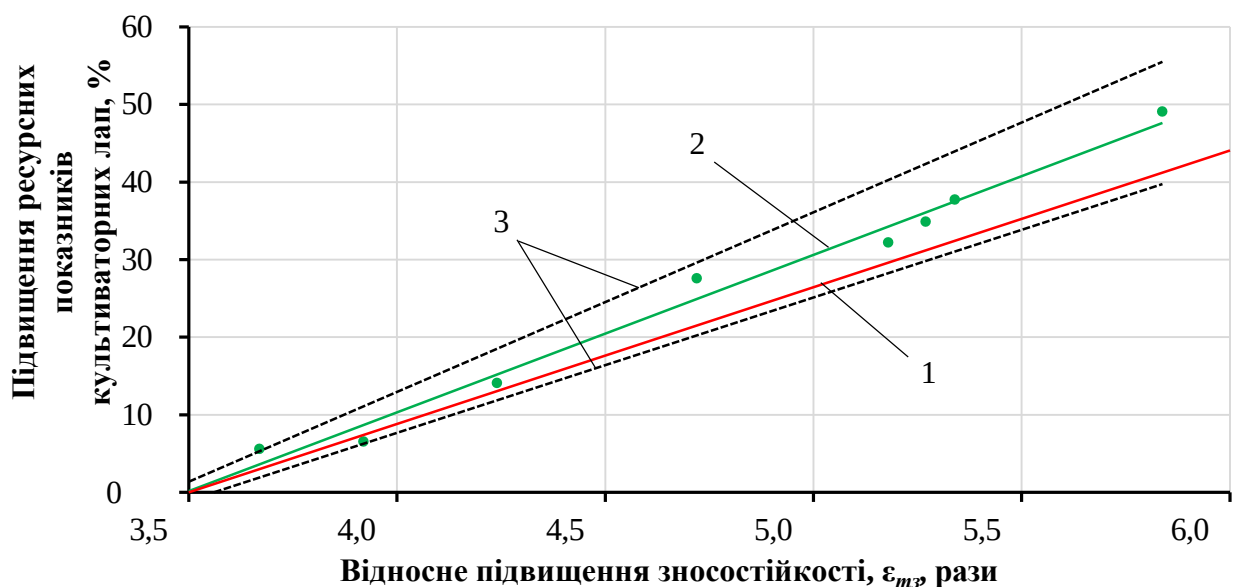


Рис. 2.19. Вплив відносної зносостійкості локального зміцнення на покращення експлуатаційних характеристик культиваторних лап:
 1 – розрахункові значення; 2 – емпіричні значення; 3 – довірчі інтервали.

2.6. Вплив зміцнення культиваторних лап методом технологічної конвергенції на витрату пального під час експлуатації.

На основі проведених експериментальних досліджень з вимірювання витрати палива під час використання серійних лап культиватора та лап, зміцнених за допомогою методу технологічної конвергенції, під час виконання операції культивації на глибину 5 см колісним трактором Fendt 936 Vario з культиватором КВАНТ-12, розроблено графічне представлення динаміки витрати палива для обох типів лап. Результати оцінки відповідності

розроблених теоретичних моделей витрати палива експериментальним даним з урахуванням довірчих інтервалів з вірогідністю 95 % відображено на графіках (рис. 2.20, 2.21).

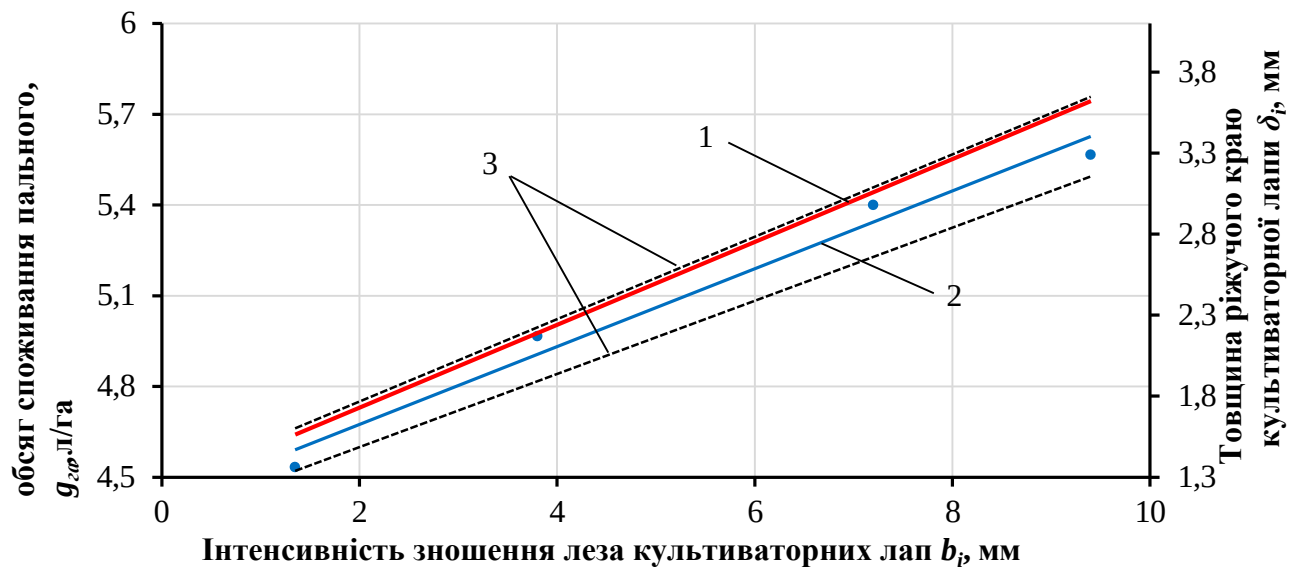


Рис. 2.20 Взаємозв'язок між одиничними витратами палива та товщиною робочої частини інтенсивних культиваторних лап від величини лінійного зносу при роботі агрегату Fendt 936 Vario + Horsh Agrosouyz FG–11.30:

1 – розрахункові значення; 2 – отримані в ході дослідів значення; 3 – діапазони надійності.

У результаті експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку залежності споживання палива від ступеня зносу лез звичайних культиваторних лап, було підтверджено теоретичні припущення. Зокрема, встановлено, що зношення лез, яке виражається у збільшенні товщини їх ріжучої кромки в процесі роботи, призводить до зростання витрати пального. Під час використання серійних культиваторних лап, що обробили 55 гектарів на один робочий орган, лінійний знос леза по ширині досягає 9,4 мм (рис. 4.14). Це супроводжується питомою витратою палива у розмірі 5,6 л/га, що на 27,3% перевищує початковий рівень. Середнє значення питомої витрати палива протягом періоду експлуатації серійних культиваторних лап (55 га) складає 5,0 л/га.

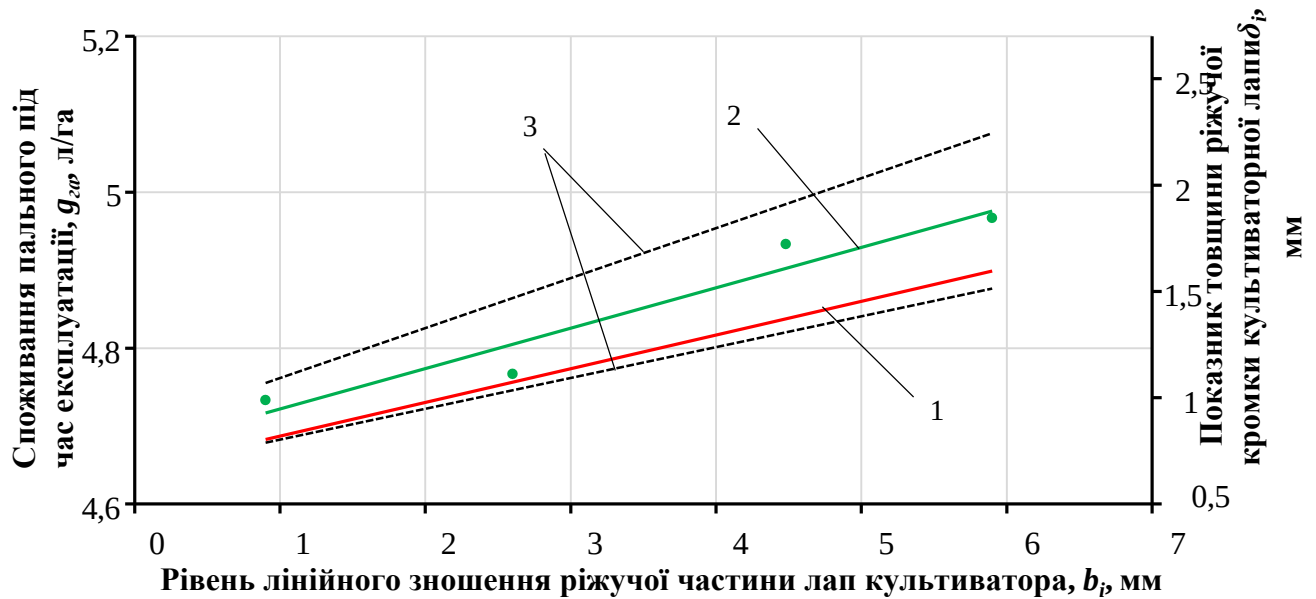


Рис. 4.15. Співвідношення між питомою витратою палива, товщиною ріжучої кромки та лінійним зношенням культиваторних лап, укріплених методом технологічної конвергенції під час роботи МТА – Fendt 936 Vario + КВАНТ–12:

1 – розрахункові значення; 2 – отримані дослідним шляхом значення; 3 – довірчі інтервали.

Після використання культиваторних лап, укріплених за допомогою методу технологічної конвергенції з використанням порошкових матеріалів, та обробки ними 55 гектарів землі на один робочий орган, витрата палива склала 4,9 л/га. Це на 5,0 % більше, ніж на початку експлуатації, в той час як середній показник питомої витрати палива становить 4,8 л/га.

Аналіз отриманих експериментальних результатів показав, що за однакових умов роботи та при обробці культиваторними лапами 55 га, витрата палива при використанні лап, укріплених методом технологічної конвергенції, на 4 % нижча, ніж при використанні звичайних лап.

Порівняння отриманих теоретичних розрахунків з експериментальними даними підтвердило, що теоретичні значення знаходяться в межах довірчого інтервалу експериментальних даних.

2.7. Висновки за розділом.

На основі проведених теоретичних, лабораторних та польових досліджень встановлено, що процес абразивного зношування робочих органів культиваторних лап безпосередньо пов'язаний із геометричними змінами ріжучої частини, зокрема між лінійним зносом леза та варіаціями його товщини під час експлуатації існує чітка кореляція. Теоретично доведено, що збільшення товщини ріжучої частини леза від 0,5 мм до 4 мм спричиняє зростання сили опору агрегату на 29,6%, що підтверджує суттєвий вплив геометрії леза на енергетичні показники роботи культиватора.

Експериментальні спостереження за лапами промислового виробництва засвідчили наявність типових пошкоджень: втрата гостроти ріжучої частини – 72,7%, знос передньої частини по довжині – 63,7%, знос леза по ширині – 36,3%, деформація та руйнування – 9,0%. Ці результати підтверджують доцільність локального зміцнення робочих поверхонь, особливо передніх частин і лез, що забезпечує підвищення зносостійкості та довговічності культиваторних лап.

Результати польових випробувань показали, що після наробітку 55 га культиваторні лапи з локальним зміцненням порошковим матеріалом ПС–12НВК–01 із застосуванням електроду Т-590 характеризуються меншим радіусом заокруглення ріжучої частини – 0,9 мм, що на 44% менше, ніж у стандартних лап, що свідчить про істотне підвищення їхньої стійкості до зношування.

РОЗДІЛ 3.

ОХОРОНА ПРАЦІ

В умовах поглиблення спеціалізації та концентрації сільськогосподарського виробництва, що відбувається на основі міжгосподарської кооперації та агропромислової інтеграції, рівень технічного оснащення села постійно зростає. У зв'язку з цим особливого значення набуває якісна підготовка працівників сільського господарства у сфері техніки безпеки та виробничої санітарії.

3.1. Організація системи охорони праці та безпечних умов у сільськогосподарському підприємстві.

Організація умов та заходів з охорони праці в господарстві спрямована на створення безпечного та здорового виробничого середовища для працівників. Основна мета полягає у запобіганні нещасним випадкам, професійним захворюванням і забезпеченні високої працездатності персоналу.

У кожному господарстві повинна бути розроблена система управління охороною праці, що включає:

- організаційні заходи – призначення відповідальних осіб за охорону праці, проведення інструктажів, навчання та перевірку знань працівників з питань безпеки праці;
- технічні заходи – забезпечення справності машин, механізмів, електрообладнання, наявності захисних пристроїв та засобів індивідуального захисту;
- санітарно-гігієнічні умови – створення комфортного мікроклімату на робочих місцях, належне освітлення, вентиляція, боротьба з шумом і пилом;
- медичний контроль – проведення попередніх та періодичних медичних оглядів працівників;
- профілактичні заходи – регулярний огляд техніки, усунення

небезпечних факторів, пропаганда культури безпечної праці.

Важливо також проводити аналіз причин травматизму, своєчасно впроваджувати заходи для усунення виявлених недоліків, а також забезпечувати працівників сучасними засобами індивідуального захисту.

Комплексне виконання цих заходів сприяє підвищенню рівня безпеки праці, збереженню здоров'я працівників і стабільності виробничого процесу.

3.2 Оцінка стану охорони праці та безпеки під час експлуатації ґрунтообробної техніки.

Обробіток ґрунту здійснюється за допомогою колісних і гусеничних тракторів тягового класу 20–30 кН. До виконання таких робіт допускаються лише трактористи-машиністи, які мають відповідну кваліфікацію (категорії «А» або «В»), талон попереджень, пройшли інструктаж із техніки безпеки та не мають медичних протипоказань. Працівники повинні бути забезпечені спеціальним одягом — костюмом із пилонепроникної тканини, комбінованими рукавицями та захисними окулярами. Технічний стан тракторів і сільськогосподарських машин повинен повністю відповідати вимогам експлуатаційних інструкцій. Під час роботи або переїзду забороняється перебування сторонніх осіб на техніці. Тракторист має володіти навичками надання першої допомоги, а кожен трактор повинен бути оснащений аптечкою.

Перед початком зміни працівник повинен одягнути спецодяг, акуратно заправити його, щоб уникнути зачеплення рухомими частинами механізмів. Під час приєднання причіпного знаряддя всі інші працівники мають знаходитись на відстані не менше 1,5 м від техніки, а саме приєднання здійснюється лише після повної зупинки трактора. Перед запуском двигуна перевіряється правильність положення важелів перемикання передач і справність блокувального пристрою. Роботу дозволено починати лише після повної перевірки технічного стану агрегату. Заборонено намотувати пусковий шнур на руку. Перед рушанням обов'язково подається попереджувальний сигнал і перевіряється безпечність

маневру, особливо під час навішування робочих органів.

Під час підйому чи опускання навісного обладнання, а також при поворотах необхідно впевнитися у безпечності дій для оточуючих. Заборонено сходити або сідати на рухомий агрегат, перебувати під піднятим знаряддям або виконувати ремонт без повного його опускання. При тривалих зупинках навісне обладнання має бути опущеним. Не дозволяється встановлювати додаткові сидіння на причіпних знаряддях, якщо це не передбачено виробником. У темну пору доби трактор повинен мати справне освітлення.

У разі виявлення несправності агрегат слід негайно зупинити. При виникненні нещасного випадку необхідно повідомити керівництво, надати потерпілому першу долікарську допомогу та зберегти місце події без змін до завершення розслідування.

Після завершення польових робіт тракторний агрегат слід вивести з робочої ділянки, дотримуючись установлених маршрутів, і поставити на місце стоянки. Двигун необхідно заглушити, трактор загальмувати, у холодний період злити воду з системи охолодження. Машину очищають від бруду, пилу та залишків рослин, перевіряють технічний стан і усувають виявлені недоліки. Після закінчення зміни працівник повинен зняти спецодяг, вимитися, а за можливості — прийняти душ.

Таким чином, дотримання вимог техніки безпеки, належна підготовка персоналу та своєчасний технічний контроль сільськогосподарської техніки є ключовими факторами запобігання травматизму й забезпечення ефективної експлуатації ґрунтообробних машин.

3.3. Висновки по розділу.

В господарстві створено систему охорони праці, яка включає в себе необхідні умови та комплекс заходів для забезпечення безпеки працівників під час виконання будь-яких робіт. Особливу увагу приділено вивченню методів моделювання робочих процесів з використанням дискових ґрунтообробних

агрегатів. Досліджено потенційні небезпеки та змодельовано сценарій травмування при роботі з експериментальним обладнанням. Також було проведено ґрунтовний аналіз вимог безпеки, що пред'являються до ґрунтообробних машин, з метою мінімізації ризиків на виробництві.

РОЗДІЛ 4.

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

4.1. Підвищення ефективності роботи культиваторних лап і зниження витрат пального завдяки технології зміцнення.

Загальний економічний зиск від використання технології відновлення та посилення лап культиваторів стає відчутним завдяки тому, що термін їхньої служби зростає на вражаючі 40,3% у порівнянні зі звичайними серійними зразками. Окрім цього, відбувається скорочення витрат на паливно-мастильні матеріали під час виконання операцій з обробітку землі. Збільшення терміну служби лап культиватора призводить до скорочення часу простою техніки, необхідного для заміни зношених деталей. Детальний розрахунок собівартості процесу зміцнення лап культиваторів за запропонованою методикою наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Собівартість технологічного зміцнення культиваторних лап

№	Найменування	Показник
1	2	3
1 Розрахунок витрат на матеріали для зміцнення культиваторної лапи		
1	Кількість точок зміцнення на одній культиваторній лапі, шт.	20
2	Маса електрода Т-590 для наплавлення однієї точки, г	3,4
3	Маса порошкового матеріалу ПС-12НВК-01 для наплавлення однієї точки, г	2,5
4	Ціна електродів Т-590, грн/кг	110
5	Ціна порошкового матеріалу ПС-12НВК-01, грн/кг	750
6	Кількість точок зміцнення на одній культиваторній лапі, шт.	20
7	Маса електрода Т-590 для наплавлення однієї точки, г	3,4

Продовження табл. 4.1

1	2	3
8	Загальна сума матеріалів для зміцнення культиваторної лапи, грн.	44,93
2 Розрахунок витрат на оплату праці		
1	Накладні витрати, грн	11,36
2	Час зважування порошкового матеріалу для наплавлення, с	15
3	Час підготовчих робіт перед наплавленням, с	10
4	Час наплавлення однієї точки, с	5
5	Витрати заробітної плати зварювальника на одну лапу, грн	18,94
6	Нарахування на заробітну плату, грн	4,17
7	Загальні витрати на заробітну плату для зміцнення однієї лапи, грн	34,47
3 Витрати на використання обладнання та оренду приміщень		
1	Кількість культиваторних лап, що зміцнюються за рік, шт.	10 656
2	Питомі витрати на оренду приміщення та експлуатацію обладнання на одну лапу, грн/лапу	1,7
3	Річні витрати на оренду приміщення, грн	16 200
4	Річні витрати на експлуатацію зварювального обладнання, грн	1 950
5	Вартість зварювального обладнання Патон ВДИ-315S DC, грн	13 000
6	Амортизаційна норма обладнання, коефіцієнт	0,15
4 Витрати на електричну енергію		
1	Час зміцнення однієї культиваторної лапи, год	0,028
2	Потужність споживана зварювальним обладнанням, кВт/год	13
3	Вартість електроенергії для промислових споживачів, грн/кВт	2,79
4	Витрати на електроенергію для зміцнення однієї лапи, грн	1,01
	Повна собівартість зміцнення однієї культиваторної лапи, грн	82,11

Для визначення економічного впливу від впровадження запропонованої

технології зміцнення, розрахунки здійснено для площі орних земель, що становить 7360 гектарів. Домінуючими ґрунтами є чорноземи типові глибокі середньосуглинкові.

Річний економічний зиск від застосування укріплених методом технологічної конвергенції лап культиватора КВАНТ-12 представлено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

**Економічна вигода від технологічного зміцнення культиваторних лап
КВАНТ-12**

№ п/п	Найменування	Зміцнена культиваторна лапа	Нова культиваторна лапа серійного виробництва
1	2	3	4
1 Оцінка економічного ефекту від підвищення ресурсних характеристик культиваторних лап			
1	Загальна сума культиваторної лапи, грн	382,11	300
2	Кількість робочих лап на культиваторі КВАНТ-12, шт.	38	
3	Ресурс культиваторної лапи, га	55	40
4	Площа оброблених сільськогосподарських угідь, га	7360	
5	Частота заміни лап культиватора КВАНТ-12, рази	3,5	4,8
6	Кількість лап за рік	134	184
7	Економічний ефект від збільшення ресурсу лап, грн	4618,68	-
2 Оцінка економічного ефекту від скорочення витрат пального			
1	Річний економічний ефект від зміцнення культиваторних лап, грн	49 762,69	—
2	Економічний ефект на одну культиваторну лапу, грн	371,36	—
3	Економія витрат пального за період експлуатації, грн	45 144	—
4	Загальна витрата пального за весь період експлуатації культиваторних лап, грн	1 083 456	1 128 600

5	Середня витрата пального, л/га	4,8	5,0
---	--------------------------------	-----	-----

Сукупний економічний ефект, що виникає внаслідок річного застосування зміцнених, шляхом технологічної конвергенції, лап культиватора КВАНТ-12, оцінюється в 49762,7 грн.

4.2. Висновки за розділом.

Позитивний економічний вплив запропонованої технології зміцнення культиваторних лап обґрунтовує раціональність її впровадження у процеси виробництва, реставрації та підвищення міцності культиваторних лап. Сукупний річний економічний зиск від застосування лап культиватора КВАНТ-12, зміцнених за допомогою методу технологічної конвергенції, на оброблюваній площі в 7360 гектарів, дорівнює 49762,7 грн.

ВИСНОВКИ

Експлуатаційний знос робочих поверхонь лап культиватора, призначених для передпосівного обробітку ґрунту, зумовлює зміну геометрії ріжучої кромки леза. Прогресуюче зношування призводить до збільшення товщини ріжучої кромки, що, в свою чергу, спричиняє зростання сили опору обробітку ґрунту та, як наслідок, підвищення витрат пального. Отже, стан ріжучої кромки є визначальним фактором у мінімізації опору робочого органу, маючи більшу значущість порівняно зі станом інших робочих поверхонь.

Теоретично обґрунтовано кореляцію між товщиною ріжучої кромки культиваторної лапи та зміною сили опору культиватора. Встановлено, що збільшення товщини ріжучої кромки з 0,5 мм до 4 мм призводить до збільшення сили опору культиватора на 29,6%.

Результати теоретичних досліджень показують, що при застосуванні поверхневого зміцнення культиваторних лап і лінійному зношуванні ширини леза на 15 мм, сила опору культиватора КВАНТ–12 становитиме приблизно 81 кН, що на 18,7 % менше, ніж у випадку використання лап з об'ємним зміцненням.

Отримано аналітичні вирази для прогнозування та порівняння витрат пального на виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту, залежно від методу зміцнення леза. Встановлено, що при експлуатації культиватора з лапами, робоча поверхня яких зміцнена за допомогою технологічної конвергенції, витрати пального знижуються на 10,9 %. Середня витрата пального під час експлуатації культиваторних лап з поверхневим зміцненням становить 4,9 л/га, тоді як для об'ємно загартованих лап цей показник дорівнює 5,5 л/га.

Загальний річний економічний ефект від застосування культиваторних лап КВАНТ-12, посилених за допомогою технологічної конвергенції, на оброблюваній площі ріллі площею 7360 га, становить 49 762,7 грн. Цей ефект виникає за рахунок підвищення ефективності обробки ґрунту, зниження витрат

на ремонт та заміну обладнання, а також поліпшення умов для росту сільськогосподарських культур, що в цілому сприяє оптимізації виробничих процесів і підвищенню економічної продуктивності підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дудников А. А., Семчук Г. И. Повышение надёжности почвообрабатывающих машин при их восстановлении. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2014. Вип. 151. С. 114–118.
2. Панченко А.М., Штепа В.П. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих машин и оценка их эффективности для энергосберегающей техники. *Учебное пособие ДГАУ*. Днепропетровск, 1995. 96 с.
3. Саинсус А. Д. Повышение долговечности лап культиваторов композиционными покрытиями переменного состава: дисс. ... канд. техн. наук К., 2008. 159 с.
4. Измайлов А. Ю., Сидоров С. А., Лобачевский Я. П., Хорошенков В. К., Кузнецов П. А., Юрков М. А., Голосиенко С. А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники. *Сборник научных докладов ВИМ*. 2011. Т. 1. С. 89–95.
5. Сидоров С.А. Наноплазменная технология создания упрочненных покрытий. *Сборник докладов. Применение нанотехнологий и наноматериалов в АПК*. 2008. С. 87–92.
6. Розробити технологічні процеси і обладнання для відновлення робочих органів ґрунтообробних машин із застосуванням електрофізичних способів загострення та зміцнення. *Звіт про НДР (заключний) № держ. реєстрації 0196U005163: № держ. облік. 0200U006523*. Глеваха. 2000. 92 с.
7. Будко С.И. Методы повышения эффективности упрочнения деталей лемешно-отвальных плугов дуговой наплавкой твердыми сплавами: дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2009. 144 с.
8. Бернштейн Д. Б., Лискин И. В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов. *Сельскохозяйственные*

машины и орудия: обзорн. информ. сер. 2. М.: ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш, 1992. 35 с.

9. Михальченков А. М., Киселева Л. С., Капошко Д. А. Влияние геометрических параметров выбракованных плужных лемехов на выбор технологии их восстановления. *Сборник научных работ «Конструирование, использование и надежности» машин сельскохозяйственного назначения*. Брянская ГСХА. 2004. С. 170–175.

10. Сидоров С. А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, применяемых в сельском и лесном хозяйстве: дис. ... докт. техн. наук. М., 2007. 390 с.

11. Новиков В. С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: дисс. ... докт. техн. наук. М., 2009. 312 с.

12. Погорелый Л. В., Анилович В. Я. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надёжности сельскохозяйственных машин. К.: Феникс, 2004. – 208 с.

13. Василенко М. О., Чернявський О. О., Матвійченко В. С., Буслаєв Д. О. Підвищення ресурсу відновлених дискових робочих органів конструктивно-технологічними методами. *Механізація та електрифікація сільського господарства: [міжвідомчий тематичний науковий збірник]*. Глеваха, 2011. Вип. 95. С. 352–360.

14. Mykhailo Vasylenko, Dmytro Buslaiev, Oleksandr Kalinin. Ensuring the effect of self-sharpening of parts of tillage machines in operation in soils of various types. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol.19. No.1. 11–14

15. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Матвійченко В. С. Покращення ресурсних показників відновлених робочих органів ґрунтообробних машин. *Механізація та електрифікація сільського господарства: [міжвідомчий тематичний науковий збірник]*. Глеваха, 2012. Вип. 96. С. 533–541.

16. Василенко М. О., Буслаєв Д. О. Зменшення тягового опору відновлених і зміцнених робочих органів при експлуатації. *Науково-*

теоретичний журнал Національної академії аграрних наук України: Вісник аграрної науки. Київ, 2016. №9 С. 52–

55. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201609-10>

17. Василенко М. О., Буслаєв Д. О. Тяговий опір культиваторних лап з поверхневим зміцненням при експлуатації ґрунтообробних машин. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 1, 177-182. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.177-182

18. Василенко М. О., Буслаєв Д. О. Вплив режимів нанесення зміцнювального покриття на параметри точкового зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. *Науково-теоретичний журнал Національної академії аграрних наук України: Вісник аграрної науки*. Київ, 2015. №7. С. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201507-09>

19. Василенко М. О., Буслаєв Д. О. Математичні моделі прогнозування вагового і лінійного зношень від ресурсних показників серійних і зміцнених комбінованим методом культиваторних лап. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 29-33. DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.029-033

20. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин, адаптованих до ґрунтів різних типів. *Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]*. Глеваха, 2018. Вип. № 7. (106). С. 164–172.

21. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А. Обґрунтування способів та матеріалів для кріплення змінних зносостійких елементів до поверхонь ґрунтообробних робочих органів для підвищення їхньої довговічності. *Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]*. Глеваха, 2018. Випуск №8 (107). С. 190–197.

22. Буслаєв Д. О. Дослідження зносостійкості зміцнюючих нанопокриттів методом прискорених випробувань. *Механізація та електрифікація сільського господарства: [міжвідомчий тематичний науковий*

збірник]. Глеваха, 2013. Вип. 98. Том 2. С. 340 – 347.

23. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є. Модифікування наноструктури створеного поверхневого шару культиваторних лап для експлуатації в ґрунтах різних типів. *Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]*. 2015. Випуск №1 (100). Глеваха, 2015. С. 195–204.

24. Спосіб відновлення лап культиватора: патент 74697, Україна, МПК (2012.01) B23H 9/00 / Василенко М. О., Буслаєв Д. О.: заявник і власник Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства». Заявл. 06.04.2012; опубл. 12.11.2012, бюл. № 21.

25. Козаченко А., Шкрегаль А., Блезнюк О., Вотченко А., Дроботенко А. Влияние параметров лезвия на долговечность лап культиваторов. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013. Vol.15. No 7. 61–66.

26. Пасюта А. Г. Определение характера износа режущих элементов почвообрабатывающих машин. *Технологический аудит и резервы производства* 2014. № 6/1(20). С. 8–11.

27. Фаюршин А. Ф., Хакимов Р. Р., Тункин А. А., Салимьянова И. И. Обработка результатов данных полевых испытаний рабочих органов почвообрабатывающих машин, упрочненных порошковыми композициями. *Путь науки. Международный научный журнал*. 2014, №10 (49) С. 29–31.

28. Трубилин Е. И., Абликов В. А., Лютый А. Н., Соломатина Л. П. Сельскохозяйственные машины (конструкция, теория и расчет) ЧАСТЬ I. Краснодар: КГАУ, 2-е издание перераб. и дополн., 2008. 200 с.

29. Чернышев Ю. В. Разработка твердого сплава и технологии упрочнения плоских режущих органов почвообрабатывающих машин: дисс. ... канд. техн. наук. Курск. 2002. 139 с.

30. ДСТУ ISO 4197:2004/ ГОСТИСО 4197-2005 Орудия почвообрабатывающие. Культиваторные лапы. Присоединительные размеры 2006.

31. ГОСТ 23.2.164-87. Лапы и стойки культиваторов. Общие технические условия. Введ. 01.07.88. Дейст. До 2003 г. 42 с.
32. Чабанний В. Я. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. 353 с.
33. Романов С. В. Повышение топливной экономичности двигателей сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов путем применения водной инъекции: дисс. ... канд. техн. наук. Троицк, 2017. 207 с.
34. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : дис ... канд. техн. наук. Кіровоград, 2007. 182 с.
35. Севернев М. М. Износ деталей сельскохозяйственных машин. Ленинград: «Колос», 1972. 288 с.
36. Ткачев В. Н., Финштейн Б. М., Казинцев Н. В., Алдырев Д. А. Индукционная наплавка твердых сплавов. М.: Машиностроение, 1970. 182 с.