

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра Технології та засоби механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка
до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
магістр
на тему: «Підвищення довговічності стрілочастих лап культиватора шляхом їх
термомеханічного зміцнення»

Виконав: здобувач вищої освіти за
Освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Назва ОПП
спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 2
магістр

Гавриленко В.В.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Ляшенко С.В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Актуальність теми. Деталі робочих органів ґрунтообробних машин працюючи в ґрунтовому середовищі, не виконують запланованого ресурсу експлуатації через інтенсивне абразивне зношування робочих поверхонь в технологічному середовищі – ґрунті.

Спостерігається, передчасне й нерівномірне зношування різальних елементів приводить до втрати первинної форми деталей і різальних елементів, необхідної для якісного, у відповідності до агротехнічних вимог, виконання технологічних операцій обробітку ґрунту. Внаслідок затуплення різальних елементів збільшується тяговий опір ґрунтообробних машин, що негативно впливає на енергоємність процесів, збільшення витрат паливно-мастильних матеріалів й виникає потреба в додатковому загострюванні або заміні культиваторних лап. Сукупність зазначених факторів обумовлює зниження економічної ефективності використання ґрунтообробних агрегатів і збільшення собівартості виробництва продукції рослинництва, що є вельми негативним в сучасних умовах ринкових відносин.

Підвищення надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин, вибір оптимальної технології їх зміцнення потребує ретельних досліджень механізму протікання абразивного зношування різальних елементів, який достатньо складний і на сьогодні остаточно не розкритий. Питання керування абразивною зносостійкістю розглядається однобічно й направлене, в основному, на підвищення фізико-механічних властивостей поверхонь тертя. Вся увага дослідників сконцентована на методах зміцнення і формування зносостійких покриттів.

Комплексний підхід до вирішення зазначених проблем з урахуванням закономірностей зміни форми різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин в процесі тертя і зношування, ефекту їх

самозагострювання, його оцінки і умов реалізації при використанні термомеханічного зміцнення при виготовленні є безумовно актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідної діяльності кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва (2020 – 2021 р.р.) Інженерно-технологічного факультету Полтавської державної аграрної академії.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення довговічності різальних елементів культиваторної лапи шляхом термомеханічного зміцнення.

Задачі дослідження:

- проаналізувати умови роботи, характер та величину зношування культиваторних лап.
- визначити основні напрямки підвищення довговічності культиваторних лап та стабілізації їх форми в умовах абразивного зношування.
- експериментально і теоретично дослідити вплив термомеханічного зміцнення на властивості шарів матеріалів культиваторної лапи.
- провести стендові випробування культиваторної лапи зміцненої за термомеханічною технологією та дати техніко-економічну оцінку їх впровадження у виробництво.

Об'єкт дослідження: закономірності процесу абразивного зношування й підвищення зносостійкості різальних елементів культиваторної лапи.

Предмет дослідження: характеристики абразивного зношування та формоутворення різальних елементів, зміцнених з використанням технології термомеханічного зміцнення.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень теорії тертя та зношування в абразивному середовищі, фізики твердого тіла. Процес формування профілю різальних елементів розглянуто з позицій взаємодії абразивних частинок з різальними елементами культиваторної лапи.

При проведенні виробничого експерименту було використано планування згідно повно факторного експерименту. Для прогнозування впливу конструктивно-

технологічних параметрів розроблена математична модель. Дослідження проводилися по стандартних методиках. Для вивчення процесу взаємодії різальних елементів з ґрунтовим середовищем використано установку з моделювання руху робочих органів ґрунтообробних машин.

Наукова новизна отриманих результатів:

- для дослідження динаміки взаємодії різальних елементів з абразивним технологічним середовищем запропоновано фізичну імітаційну модель;
- теоретично визначено та експериментально досліджено процеси формоутворення профілю різальних елементів культиваторної лапи при терті та зношуванні в абразивному середовищі;
- визначено й теоретично обґрунтовано параметри напружено-деформованого стану різальних елементів культиваторної лапи в процесі їх взаємодії з абразивним технологічним середовищем;
- результатами стендових та експлуатаційних випробувань доведено позитивний вплив технології термомеханічного зміцнення на ресурс і енергетичні показники роботи культиваторних лап.

Практична цінність отриманих результатів. розроблено технологічні схеми отримання зносостійких шарів на різальних елементах культиваторної лапи за технологією термомеханічного зміцнення;

- за результатами проведених експериментальних досліджень отримано раціональні технологічні параметри процесу термомеханічного зміцнення;
- результати досліджень, стендових та експлуатаційних випробувань дали можливість розробити практичні рекомендації для термомеханічного зміцнення різальних елементів культиваторної лапи в процесі їх відновлення;

Особистий внесок претендента. У публікаціях у співавторстві авторів належать: Методика дослідження зносостійкості термомеханічно зміцненої поверхні [1]; Методика визначення економічного ефекту від використання методу термомеханічного зміцнення [2].

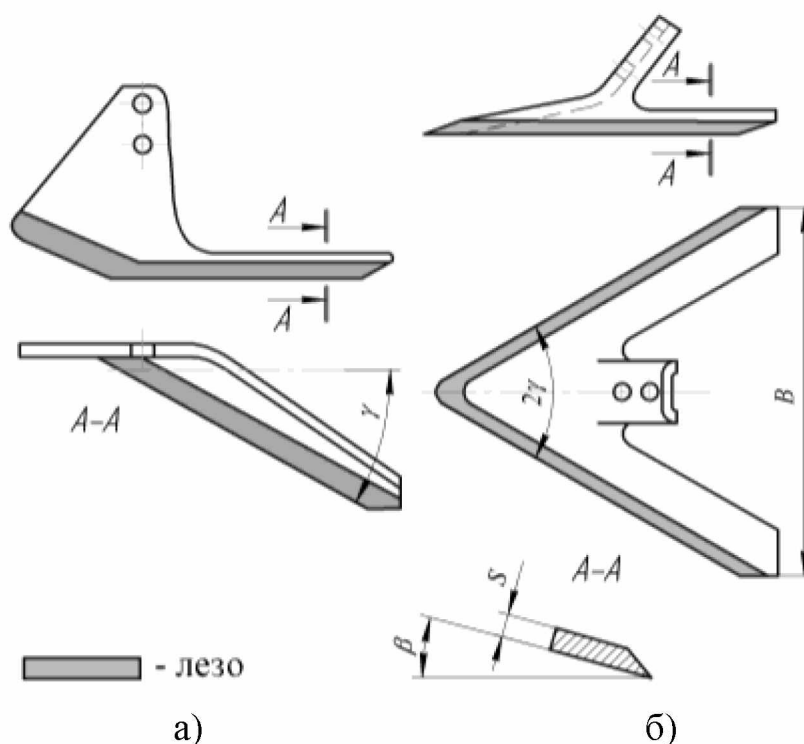
Апробація результатів магістерської дипломної роботи. Основні результати роботи були обговорені на конференціях: Принципи системного підходу при

формуванні кваліфікаційних навичок здобувачів вищої освіти : Всеукраїнська науково-методична конференція (дистанційна форма). – Полтава: ПДАА, 19 червня 2018 р. – Вип. XIV. – С. 39-42. [1], Друга Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція (дистанційна форма). «Енерго- і ресурсозберігаючі технології та машини в переробних та харчових виробництвах» – Полтава: ПДАА, 03-05 грудня 2018 р. – Вип. II. – С. 19-21 [2] .

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз характеристики різальних елементів культиваторних лап та технологічного середовища їх експлуатації

В сільськогосподарському виробництві обробіток ґрунту виконують робочі органи, розміщені на рамах ґрунтообробних машин [3, 4]. На рис.1.1 схематично представлено типові робочі органи культиваторних лап з різальними елементами.



а, б – одностороння та стрілчаста плоско різальні лапи.

Рисунок 1.1. – Деталі культиваторних лап з різальними елементами

В даній дипломній роботі основну увагу зосереджено на різальних елементах культиваторних лап, які найбільш розповсюджені в сільськогосподарському виробництві (рис.1.2). Лапи культиваторів (рис.1.1, а, б, рис.1.2) призначені для розпушування ґрунту, зрізування бур'янів і перемішування частинок ґрунту. Їх форма залежить від виду і типу оброблюваної культури, стадії її розвитку і стану ґрунту.



Рисунок 1.2. – Загальний вигляд універсальної стрілкової лапи культиватора

На сучасних вітчизняних культиваторах [3, 4], призначених для суцільного і міжрядного обробітку ґрунту, застосовують лапи, основні параметри яких обумовлені ГОСТ 23.2.164-87, що передбачає типорозміри лап як з наплавленням різальної кромки зносостійким сплавом, так і без наплавлення (за погодженням із споживачем). Для найбільш розповсюджених культиваторів КПС-4 використовують лапи з шириною захвату $B=270$ та 330 мм і товщиною металу $S = 5$ та 6 мм, що відповідають агротехнічним вимогам (див. додаток А).

Технічні вимоги для стрілчастих лап передбачають їх виготовлення із сталі 65Г ГОСТ 14959-79 [5]. Твердість різальних елементів лапи, виготовленої без наплавлення, після термообробки в загартованій зоні повинна складати $40...44$ HRC і не більше 352 HB в незагартованій зоні. Для наплавлених лап обумовлюється лише максимальна товщина її різального елемента - $0,5$ мм. Хвилястість різальних елементів не повинна бути більше 2 мм при нерівності по висоті не більше $0,4$ мм. Наявність тріщин в основному металі лап не допускається.

ДСТУ не регламентує склад зміцнювального твердого сплаву, проте, обумовлює напрацювання на одну лапу до 25 га.

Основними робочими частинами культиваторної лапи є різальні елементи, що виконані у формі клину [3, 6]. Геометрія різальних елементів при роботі в абразивному середовищі змінюється. Величина та характер цих змін залежать передусім від властивостей матеріалу, з якого вони виготовлені, фізико-технологічних властивостей ґрунту та експлуатаційних характеристик самої культиваторної лапи.

При виконанні операцій обробітку ґрунту відбувається переміщення різальних елементів в абразивному шарі ґрунту. Вплив ґрунту, як абразивного середовища, на різальні елементи являє собою функцію багатьох факторів: механічний та гранулометричний склад, щільність, вологість та інші [7, 8]. Крім того, характеристики конкретного типу ґрунту змінюються протягом польового сезону.

Ґрунт за своїм складом є гетерогенною системою [9, 10], що містить тверду (мінеральну й органічну), рідку (вода) та газоподібну (повітря) фази, а також живі організми.

До основних фізичних властивостей ґрунтів належать: гранулометричний склад; структурно-агрегатний склад; грудкуватість; об'ємна вага; пористість; вологість [9, 11, 12].

Тверда фаза ґрунту складається з різних за розмірами і формою частинок. Частинки, що утворюють ґрунтову масу, тією чи іншою мірою зв'язані одна з одною в агрегати. Частинки ґрунту, що мають розміри понад 0,01 мм – це фізичний пісок, менші за 0,01 мм – фізична глина, а частинки ґрунту дрібніші за 0,0002 мм – мул.

Для кожного ґрунту є оптимальна норма вологості, за якої він стає придатним для обробітку [11, 13, 14]. Оптимальна вологість ґрунту забезпечує умови для найменшого зношування різальних елементів культиваторних лап.

Зі збільшенням вологості ґрунту твердість його зменшується. Між твердістю і питомим опором ґрунту обробітку існує прямо пропорційна залежність: чим вища твердість ґрунту, тим більший його питомий опір [11].

Коефіцієнт тертя зростає зі збільшенням вологості ґрунту. Різке його підвищення спостерігається за вологості ґрунту 50...60% капілярної вологоємності і супроводжується налипанням ґрунту на поверхню культиваторних лап [15].

Коефіцієнт зовнішнього тертя структурованих ґрунтів менший у порівнянні з безструктурними, а розпушених – менший у порівнянні із щільними. Для природних ґрунтів коефіцієнт тертя по сталевій поверхні коливається в широких межах – від 0,2 до 0,8 і більше [16].

Оскільки в природних умовах і вологість ґрунту, і питомий тиск на поверхні тертя змінні, тому й коефіцієнт тертя не є сталим і залежить від типу ґрунту [6,17].

Величина питомого опору культиваторної лапи (відношення сили опору на площу поперечного перерізу ґрунту) характеризує механічні властивості ґрунту й енергоємність його обробітку [18].

Енергоємність обробітку ґрунту, або його питомий опір, залежить від багатьох чинників [18]: ступеню гостроти різальних елементів культиваторної лапи, типу ґрунту, гранулометричного складу, вологості, глибини обробітку, рельєфу місцевості, культури-попередника тощо.

Здатність ґрунту викликати зношування поверхневого шару матеріалу різальних елементів культиваторної лапи ґрунтовими частинками, характеризує його абразивність [9,19 - 21].

Абразивне зношування культиваторної лапи залежить як від властивостей оброблюваного ґрунту, так і властивостей конструкційного матеріалу її різальних елементів [6, 22]. Інтенсивне абразивне зношування суттєво знижує надійність ґрунтообробних агрегатів та приводить до великих енергетичних витрат у процесі обробітку ґрунту.

Відомо [19], що в процесі абразивного зношування культиваторних лап велику роль відіграють тверді мінерали, твердість яких вища за твердість сталей основи культиваторної лапи і становить 8...22 МПа.

Важливу роль відіграє також форма абразиву. Чим гостріші грані абразивних частинок у ґрунті, тим інтенсивніше абразивне зношування різальних елементів. Велике значення має міцність фіксування (закріплення) зерен піску в ґрунтовому середовищі [9, 10]. У сухому ґрунті піщинки міцно закріплені, тут відбувається найінтенсивніше абразивне зношування. Зі зміною вологості ґрунту змінюється і його абразивний вплив на культиваторну лапу.

У процесі вивчення абразивної здатності ґрунтів Л. С. Єрмолов виявив, що з підвищенням у ґрунті кількості фракцій дрібного (частинки 0,025...0,05 мм), середнього (0,5...0,025 мм) та великого (1...0,5 мм) піску абразивна здатність його зростає.

За здатністю до зношування матеріалів деталей ґрунти поділяють на три групи. До першої групи з малою абразивністю належать ґрунти, які мають у своєму складі до 80% фізичного піску; до другої — ґрунти із середньою абразивністю – супіщані і піщані, які містять 80...95% фізичного піску; до третьої групи – ґрунти з високою абразивністю, до складу яких входить 95...100% фізичного піску і велика кількість камінців [9,23].

У разі абразивного зношування різальних елементів культиваторних лап на піщаних ґрунтах відбуваються процеси самозагострювання, а на глинистих – утворюється тупа фаска. Ці процеси потребують ретельних досліджень.

1.2. Аналіз умов роботи та причин зношування культиваторних лап

При виконанні технологічних операцій обробітку ґрунту відбувається взаємодія різальних елементів культиваторної лапи з абразивним середовищем ґрунту. Швидкість переміщення різальних елементів у ґрунті становить 1,25...3,30 м/с, а глибина обробітку може коливатися від 40 до 350 мм [3,22].

При зазначеній взаємодії спостерігається зменшення різальних елементів за розміром Δl (рис.1.3) і затуплення його різальної кромки, що є основними параметрами зміни геометрії культиваторної лапи.

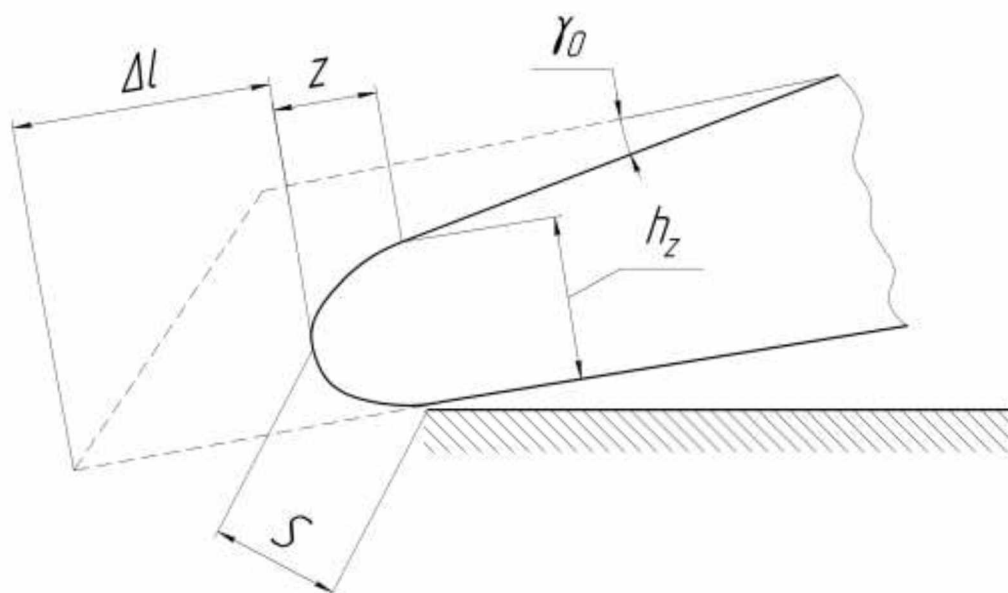


Рисунок 1.3. – Схема характеру зношування різального елементу культиваторної лапи.

Критичні значення є легко контрольованими і достатньо об'єктивними критеріями вибракування та підставами для оцінки зносостійкості матеріалу різального елементу в конкретних умовах експлуатації.

Практика показує, що в більшості випадків вибракування деталей з різальними елементами відбувається за рахунок затуплення різальної кромки (збільшення її радіусу) до граничних значень [5,24]. Для контролю ступеню затуплення різальних елементів культиваторної лапи використовують параметри (рис.1.3): ширину затилкової фаски S та товщину різальної кромки h_z на відстані z , за якими можна опосередковано оцінити радіус різальної кромки. Характер зношування передньої грані різального елемента визначають по величині кута клину γ_0 .

Характерним є те, що збільшення твердості матеріалу не змінює картини процесу затуплення монометалевого різального елемента, а лише подовжує тривалість формування його геометрії.

Не менш важливим параметром різального елемента є його геометрія по довжині різальної кромки, характер зміни якої у випадку стрілкової лапи культиватора наведено на рис. 1.4.

Негативний вплив інтенсивного абразивного зношування приводить до зміни ширини захвату лапи з L до L_1 та до зменшення і навіть від'ємних значень коефіцієнта перекриття робочих органів на ґрунтообробному агрегаті [4].

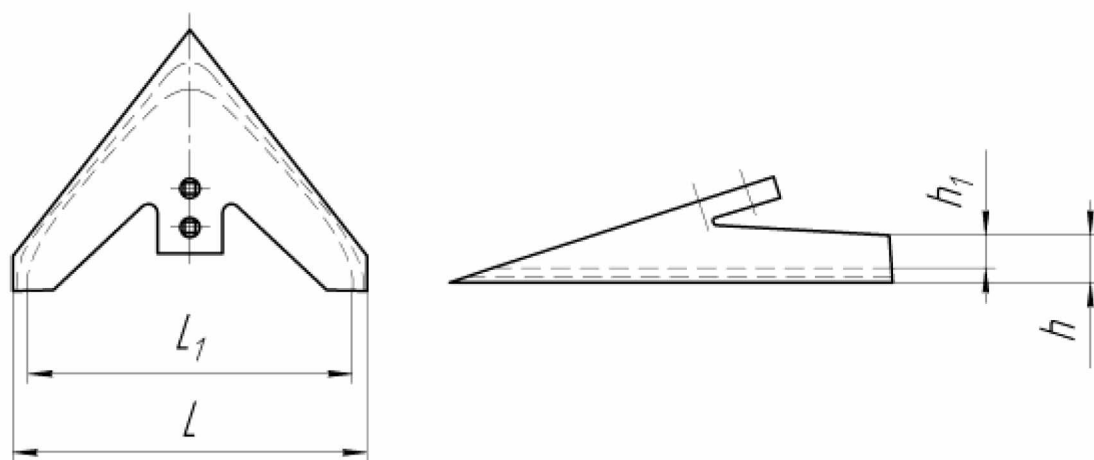


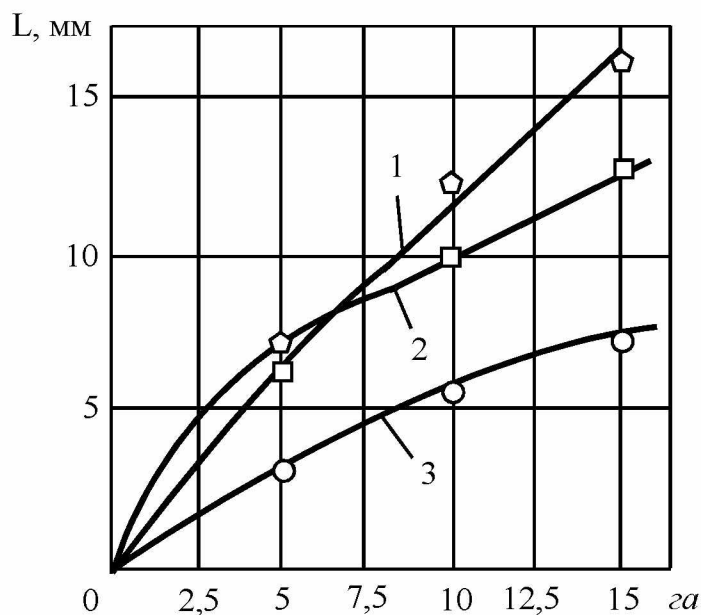
Рисунок 1.4. – Зміна геометричних параметрів стрілкової лапи культиватора в процесі роботи.

При цьому також відбувається і зменшення висоти підйому шару ґрунту за рахунок зменшення висоти крила лапи з початкової h до h_1 , яке знижує якість кришення ґрунту. Збільшення радіуса заокруглення вістря лапи в процесі експлуатації є наслідком максимального значення тиску ґрунту в даній області та істотно підвищує тяговий опір робочих органів [25-27].

Картина наростання лінійного зношування вістря культиваторної лапи для ґрунтів різних типів подана на рис. 1.5 [22].

Інтенсивність зношування області вістря стрічастих лап культиваторів на різних ґрунтах у 2,2...2,5 рази вище, ніж крил лап [28].

Процес зношування стрічастих культиваторних лап має дві умовні стадії. В першій спостерігається криволінійна залежність, при якій інтенсивність зношування у міру збільшення, а напрацювання зменшується. Це пов'язано зі зміною конфігурації попередньо загостреного різального елементу в процесі різання ґрунту. На другій стадії зношування характеризується лінійною залежністю від напрацювання.

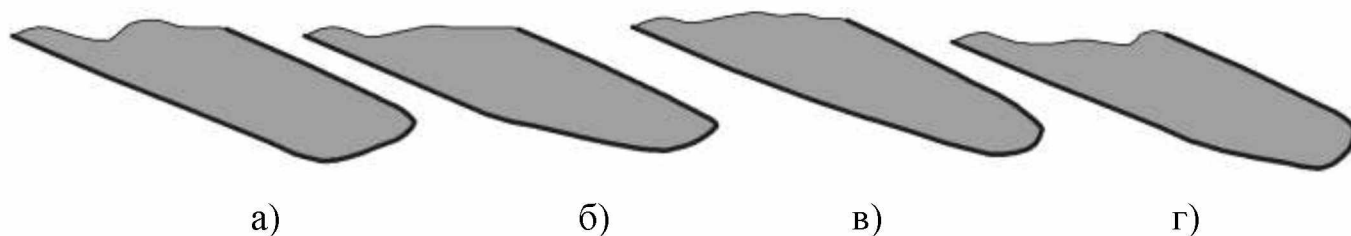


1 – на піщано-щебеністих; 2 – на важких суглиністих; 3 – на середньо суглиністих.

Рисунок 1.6. – Залежність лінійного зношування області вістря стрілкової лапи культиватора від напрацювання (га) на різних ґрунтах

Культивація являє собою процес обробітку більш пухкого ґрунту, що впливатиме на характер зміни інтенсивності зношування лап культиваторів. Найбільша інтенсивність зношування характерна для вістря лапи, у міру віддалення від вістря інтенсивність зношування кромки лапи знижується [6,14,29].

Різальна кромка лап зношується також нерівномірно. Найбільш активне зношування спостерігається в області вістря. Типові профілі різальних елементів лап культиваторів, що працювали в різних ґрунтових умовах наведені на рис.1.7.



а, б – суглинних; в, г – глинистих.

Рисунок 1.7. – Профілі різальних елементів стрічастих лап після напрацювання 10 та 25 га на різних ґрунтах

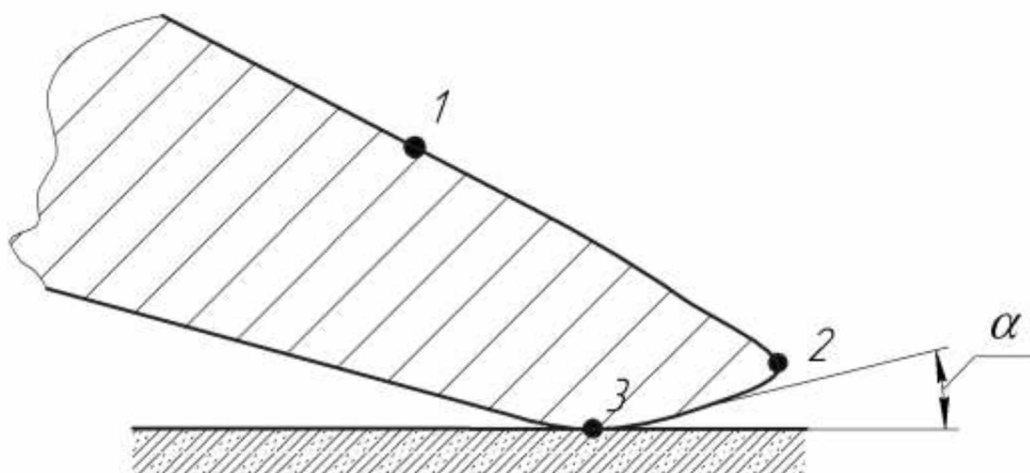
Порівняння профілів різальних елементів лап культиваторів, зношених у різних ґрунтових умовах, показує, що в більшості випадків різальна кромка має округлу форму. Це можна пояснити тим, що удари грудок ґрунту об різальну кромку і ковзання абразивних частинок вздовж різальних елементів сприяють його затупленню.

Затуплення різальних елементів стрілочастих культиваторних лап впливає на стійкість їх ходу по глибині та на підвищення енергетичних характеристик технологічного процесу обробітку ґрунту [30,31]. Вертикальна реакція ґрунту направлена у нових лап вниз, а в процесі затуплення різальних елементів змінює свій напрямок [25,18]. Збільшення товщини різальної кромки від 0,2...0,3 мм до 0,8...1,2 мм підвищує тяговий опір культиватора в межах 7...14 % до 2 мм на 34 %.

Згідно роботи [22], гранична товщина різальної кромки стрілочастих лап культиваторів для чорноземів центрального степової зони при швидкості руху агрегату до 2,7 м/с, не повинна перевищувати 0,8 мм, а при більш високих швидкостях може бути в межах 0,8...1,0 мм. В тих випадках, коли основною метою обробки є підтримка верхнього шару ґрунту в розпушеному стані при малій кількості бур'янів, ці значення можуть бути підвищені до 1,4 мм.

Аналіз результатів польових випробувань свідчить, що строк служби стрілочастих лап культиваторів залежно від умов експлуатації до вибракування складає 15...30 га на одну деталь. Граничне лінійне зношування до наступного загострювання в середньому складає 2...5 мм [22,32].

Ознакою для вибракування стрілочастих лап також є зменшення ширини крила в середній частині до 36...38 мм. При подальшому зменшенні цих розмірів відбувається різке зниження міцності і деформація культиваторної лапи. При досягненні лінійного зношування вістря близько 30 мм, інтенсивно зношується стійка і кріпильні деталі. Лапи культиватора можуть мати також непрацездатний стан також і через зменшення ширини захвату, зношування хвостовика і поломок, але частка відмов із цих причин порівняно невелика [4]. В процесі роботи різальних елементів лап культиваторів на легких піщаних ґрунтах характерною є гостра та плоска затилкова фаска, нахилена під кутом $\alpha=10^0$ (рис.1.8).



1-2 – лицьова сторона; 2-3 – затилкова фаска

Рисунок 1.8. – Профіль зношеного РЕ.

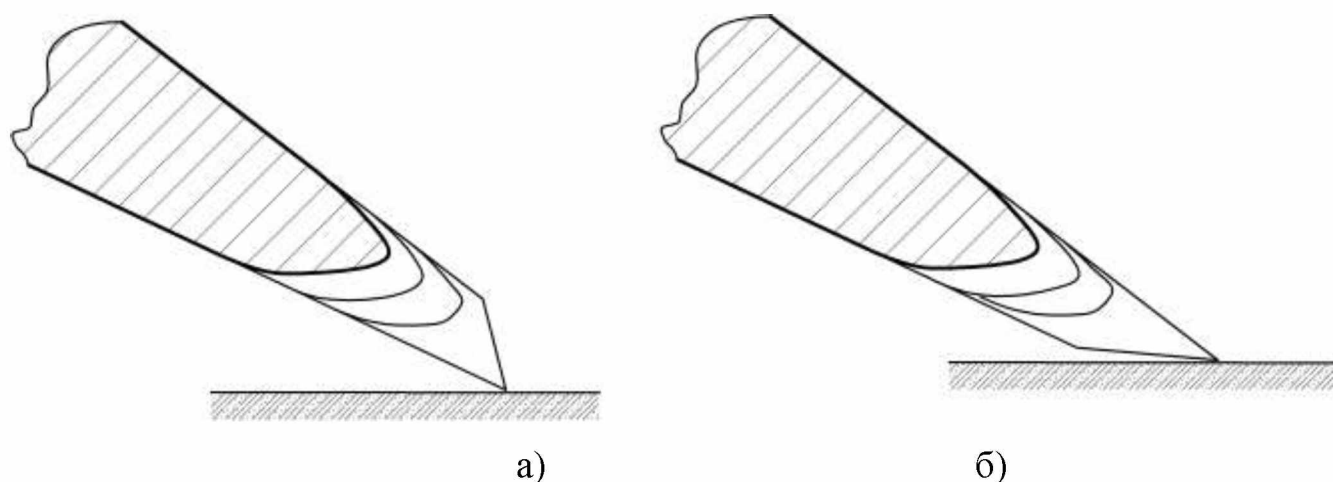
Цей факт можна трактувати як своєрідне самозагострювання. В той же час зв'язані глинисті ґрунти сприяють утворенню більшого радіусу заокруглення різальної кромки, яка нахилена до дна борозни під кутом $\alpha = 20 \dots 25^\circ$ [32-34].

По мірі зношування ширина затилкової фаски зростає через клиновидний переріз різального елемента. Одночасно спостерігається повільний поворот фаски в бік збільшення від'ємного кута нахилу до дна борозни з одночасним підвищенням тягового опору. Зі збільшенням кута затилкової фаски і її ширини спостерігається підймання або заглиблення ґрунтообробного агрегату і нерівномірність його ходу. Це суттєво впливає на працездатність культиваторних лап.

На твердих ґрунтах заглиблення ґрунтообробних агрегатів при менших значеннях затилкової фаски починається раніше, ніж при обробі ґрунтів меншої твердості [9,14,35].

Профіль різальних елементів можна умовно поділити на дві основні зони (рис.1.8). По лицьовій стороні (лінія 1-2) відбувається контакт з відрізанним шаром ґрунту. В точці 2 спостерігається відрив шару ґрунту, а затилкова фаска (лінія 2-3) переміщується по дну борозни. При відриві шару ґрунту, кожна з двох зон контактує з певною кількістю абразивних частинок, які притиснені до різального елемента, і в процесі переміщення обумовлюють зношування поверхонь.

Умови роботи різальних елементів культиваторної лапи визначають її профіль, який має певну форму і стабілізується зі збільшенням напрацювання [22] (рис. 1.9).



а) різальний елемент загострений зверху; б) різальний елемент загострений знизу.

Рисунок 1.9. – Стабілізація профілю різального елемента культиваторної лапи.

На різальний елемент, загострений знизу (рис.1.9, а), стабілізація профілю відбувається швидше з початку роботи і сповільнюється з певним напрацюванням, ніж для загострених зверху (рис.1.9, б).

З рис.1.9 видно, що форма профілю різального елемента після зношування стає однаковою, незалежно від виду його загострювання і товщини. Отже в процесі роботи відбувається стабілізація профілю різального елемента культиваторної лапи.

Динаміка зміни геометрії різальних елементів стрілкової культиваторної лапи в процесі їх взаємодії з таким абразивним середовищем, як ґрунт, на сьогодні не достатньо вивчена. Відсутній єдиний погляд на процеси затуплення і самозагострювання, не визначено чітких умов прояву останнього процесу, його зв'язок з технологічними методами зміцнення.

1.3 Аналіз методів підвищення зносостійкості різальних елементів стрілочастих культиваторних лап

Як показує практика, підвищення довговічності стрілочастих культиваторних лап досягається за рахунок подовження їх ресурсу, безпосередній вплив на який здійснює зносостійкість різального елементу. Відомо [36-39], що висока зносостійкість є результатом впровадження конструкторських і технологічних методів при виготовленні деталей з урахуванням умов їх експлуатації.

Отже існуючі методи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин [40,41] можна поділити на три групи: конструкторські, технологічні, експлуатаційні, які в свою чергу поділяються на декілька підгруп. Класифікація цих методів наведена на рис.1.10.

При виготовленні деталей стрілочастих культиваторних лап застосування конструкторських методів підвищення довговічності [3,4] дозволяє оптимізувати геометрію самої деталі та геометрію її різальних елементів, ввести в конструкцію (якщо це можливо) легко змінні елементи, передбачити резервування зносостійкості в симетричних стрілочастих культиваторних лапах, розробити систему контролю зношування і найголовніше забезпечити самозагострювання різального елементу шляхом спрямованого зношування.

Аналіз перелічених методів свідчить, що ефективність конструкторських заходів доцільно забезпечити на стадії виготовлення деталей технологічними методами їх зміцнення, які дають можливість керувати зносостійкістю різальних елементів стрілочастих культиваторних лап.

На сьогодні застосовується багато способів підвищення зносостійкості різальних елементів стрілочастих культиваторних лап [39,42-45].

Деякі автори [46-54] пропонують застосовувати матеріали з високою твердістю – сталі карбідних класів, сталі зміцнені методами термообробки, холодної термообробки, термомеханічної обробки, спеціальні чавуни леговані хромом, марганцем, вольфрамом, нікелем, наплавочними композиціями.

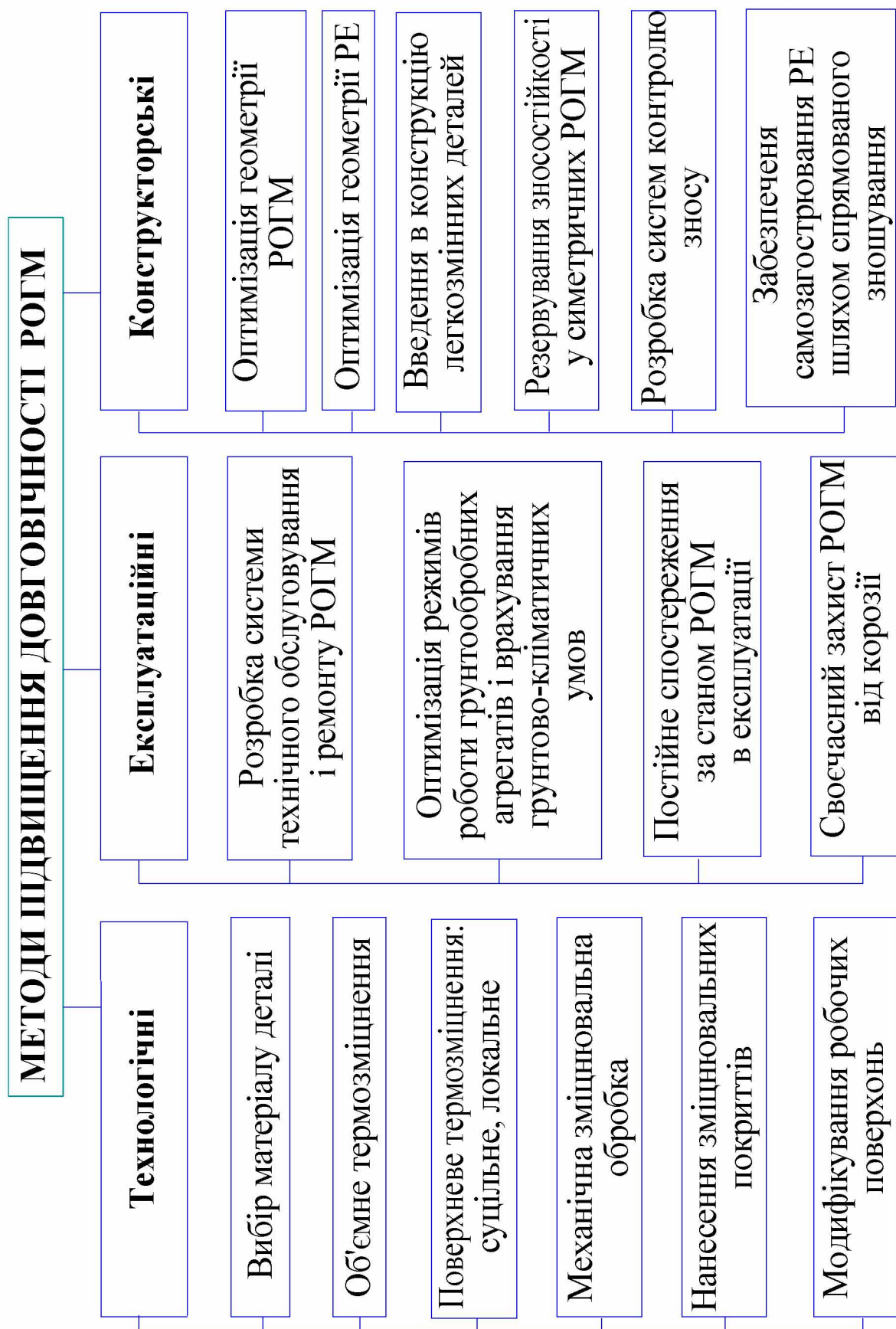


Рис.1.11. Методи підвищення довговічності РОГМ

Інші автори пропонують застосовування сталей, чавунів з аустенітно-карбідною структурою, в яких аустеніт нестабільний і здатний до мартенситного перетворення в процесі тертя. Але відомо, що чим вища твердість матеріалу, тим більша його крихкість, тому використання таких матеріалів обмежується умовами експлуатації ґрунтообробних робочих органів машин. Особливо це стосується умов динамічних навантажень, які викликають об'ємне руйнування [27,35].

Для різальних елементів стрілчастих культиваторних лап в якості технологічних методів зміцнення найчастіше використовують наплавлення наступних видів [43,55-58]: ручне газове твердими сплавами; дугове порошковою стрічкою; багато електродне електрошлакове; плазмове; індукційне та інші.

Технологія наплавлення повинна забезпечувати рівномірність шару твердого сплаву по товщині і властивостям (зносостійкість, міцність), рівномірність розподілення пор і тріщин, що переходять із твердого сплаву в основний метал [41,59].

При виробництві стрілчастих лап культиваторів більше 90 % усіх наплавлювальних робіт виконуються при індукційному нагріванні по методу НПАО РостНИИТМ [22,60]. Це пояснюється тим, що наплавлення твердих сплавів при нагріванні різальних елементів стрілчастих культиваторних лап струмами високої частоти має ряд переваг перед іншими методами:

- висока продуктивність процесу;
- достатня якість наплавленого шару по хімічному складі, щільності, структурній однорідності і шорсткості поверхні;
- можливість отримання тонких шарів наплавленого металу (до 0,3 мм)

Застосовувані для індукційного наплавлення сплави повинні мати мінімальну магнітну проникність і температуру плавлення на 150...200 °С нижче температури плавлення основного металу. До таких сплавів відносяться сормайт №1 у виді гранульованого порошку (ПГ-С27), ФБХ-6-2, псевдосплави типу ПС із високими наплавлювальними властивостями і зносостійкістю [22,50,51,57,58].

Поряд з перевагами спосіб індукційного наплавлення має також і недоліки. Об'ємний термічний вплив на різальні елементи стрілчастої культиваторної лапи

може викликати знеміцнення матеріалу основи. Спосіб не дає можливості зміцнювати локальні ділянки деталей, що піддаються найбільшому зношуванню, а отже геометричні параметри культиваторної лапи в процесі зношування будуть змінюватися. Номенклатура зміцнюваних деталей в основному залежить від геометричної конфігурації індукторів. Крім того слід зазначити високу енергоємність індукційного наплавлення.

Останнім часом більш широке застосування знаходять технологічні термомеханічного зміцнення.

Термомеханічна обробка – процес зміцнення сталі за рахунок зміни структури і властивостей у поєднанні з пластичними деформаціями і термічною обробкою (гартуванням і відпусканням).

При термомеханічній обробці крім збільшення міцності виробу підвищується пластичність, усувається крихкість і зменшується здатність до утворення тріщин.

Процеси термомеханічної обробки – поєднання наклепу сталі, яка перебуває в аустенітному стані, і швидкого охолодження для отримання структури загартованої сталі – мартенситу.

Пластичне деформування при термомеханічній обробці можна проводити будь-якою обробкою тиском: прокатуванням, штампуванням, пресуванням, куванням та ін.

Залежно від температури, за якої деформується деталь, розрізняють два види термомеханічної обробки: високотемпературна механічна обробка і низькотемпературна механічна обробка.

Високотемпературна термомеханічна обробка пов'язана з наклепом деталі, яку нагрівають до аустенітного стану, потім охолоджують для отримання структури мартенситу з наступним низьким відпусканням. При цьому ступінь деформації (обтискування) становить 30...40 %.

При низькотемпературній термомеханічній обробці сталь також нагрівають до аустенітного стану, потім охолоджують її до 450...550 °С і пластично

деформують за цієї температури з обтискуванням 75...95 %, після чого проводять гартування і низьке відпускання.

Високотемпературної механічної обробки зазнають будь-які сталі, а низькотемпературної – тільки леговані конструкційні. Ці види зміцнення застосовують як заключні операції, оскільки після них механічна обробка неможлива.

Безумовно перелічені можливості вигідно відрізняють термомеханічне зміцнення дозволяють отримати широкий спектр технологічних схем зміцнення деталей робочих органів ґрунтообробних машин.

Разом з тим вплив термомеханічного зміцнення на робочі поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, використання локального характеру обробки у відповідності до характеру зношування та створення умов самозагострювання різальних елементів потребує ретельних експериментальних і теоретичних досліджень.

1.4. Висновки за розділом 1

Аналіз умов роботи, величини характеру спрацювання різальних елементів культиваторних лап дає можливість зробити наступні висновки:

1. Різноманіття факторів та їх сукупності викликає необхідність підсилити увагу до розвитку фундаментальних і прикладних досліджень з метою відшукування новітніх методів керування абразивною зносостійкістю культиваторних лап.

2. Механізм абразивного зношування досить складний. Уявлення про нього, як про просте дряпання металу абразивними частинками, веде до помилкових конструктивних і технологічних рішень у частині вибору матеріалу і методів його зміцнення.

3. Процеси взаємодії абразивного технологічного середовища і різальних елементів стрілчастих культиваторних лап потребують подальших досліджень. Особливо це стосується закономірностей спрацювання різальних елементів, їх

затуплення і самозагострювання, що обумовлює використання сучасних методів і методик дослідження.

4. Зношування різальних елементів у реальних умовах експлуатації стрілчастих культиваторних лап є величиною перемінною по товщині, ширині і довжині, тобто має локальний характер, а отже потребує диференціального підходу при використанні технологій зміцнення.

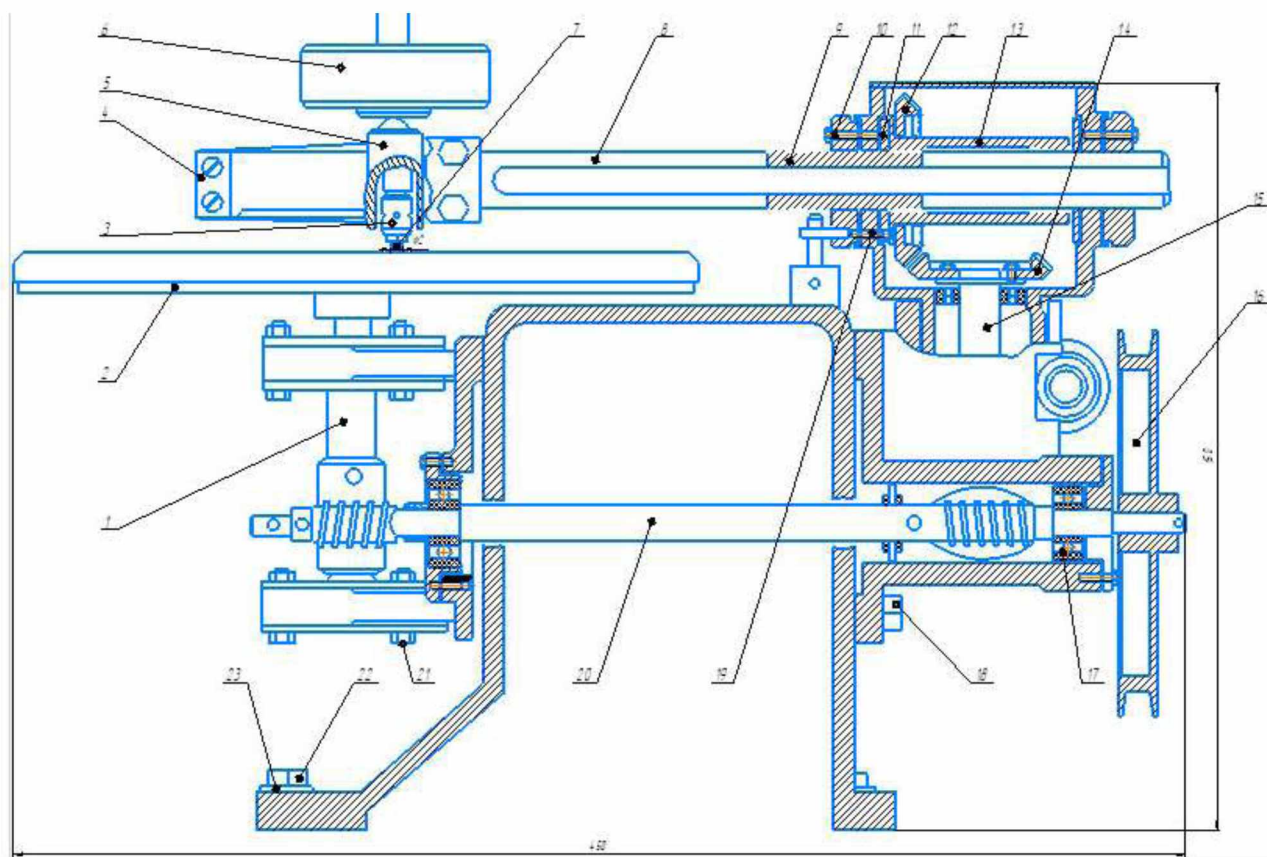
5. При проведенні досліджень зразків різальних елементів стрілчастих культиваторних лап на зношування в абразивному середовищі необхідно забезпечити повну відповідність основних параметрів процесу зношування експлуатаційним умовам. Такими параметрами є твердість, геометричні характеристики абразивних частинок, швидкість переміщення по робочим поверхням, щільність їх в ґрунті й тиск ґрунту на поверхню тертя.

6. Метод зміцнення різальних елементів варто обирати з урахуванням основних закономірностей механізму зношування в умовах експлуатації стрілчастих культиваторних лап. Найбільш перспективним є термомеханічне зміцнення.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

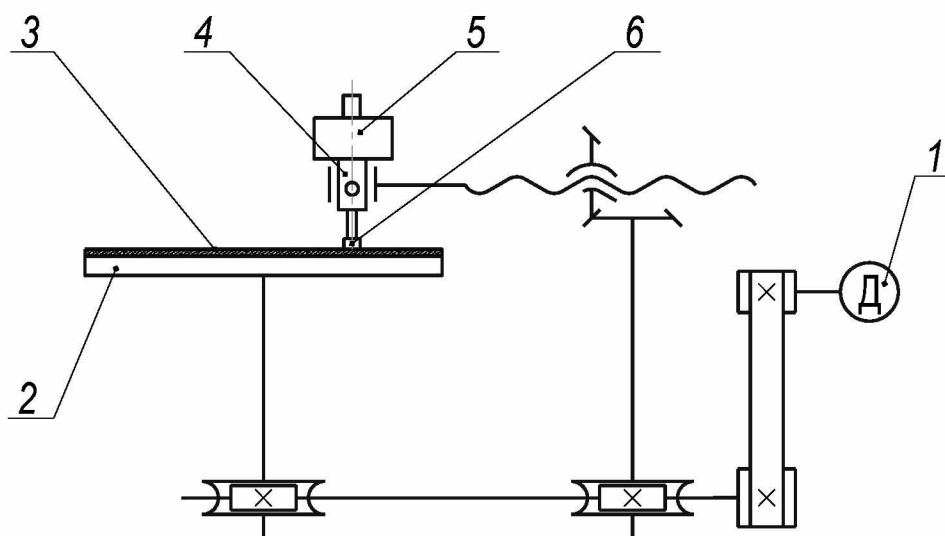
2.1. Методика дослідження абразивного зношування зразків на машині тертя Х4-Б

Випробування зразків зі стандартних матеріалів РОГМ і зміцнених за запропонованими технологіями проводили на машині тертя Х4-Б (Рис.2.1), схема якої наведена на рис.2.2, за методом дослідження металів на абразивне зношування по закріплених абразивних частинках (ГОСТ 17367-71).



1 – вертикальний вал; 2 – металевий диск; 3 – цанга; 4 – головка; 5 – тримач; 6 – вантаж; 7 – досліджуваний зразок; 8 – шток; 9 – різьбова частина; 10 – муфта; 11 – шайба; 12 – ведена конічна шестерня; 13 – гайка; 14 – ведуча конічна шестерня; 15 – вал ведучий; 16 – шків; 17 – опорний підшипник; 18 – болт; 19 – фіксатор; 20 – горизонтальний вал; 21 – болтове з'єднання; 22 – болт основи; 23 – шайба.

Рисунок 2.1. – Схематичний розріз лабораторної установки Х4-Б для випробування на зношування при терті по абразивному матеріалу



1 – електродвигун; 2 – обертовий диск; 3 – абразивна тканина, 4 – затискний патрон, 5 – вантаж; 6 – дослідний зразок

Рисунок 2.2. Схема машини тертя Х4-Б.

Сутність методу полягає в тому, що досліджуваний та еталонний зразки випробовують тертям по поверхні абразивної тканини по спіралі Архімеда в напрямку від центра диска до його периферії при статичному навантаженні і відсутності нагрівання [61]. Отримані результати порівнюють.

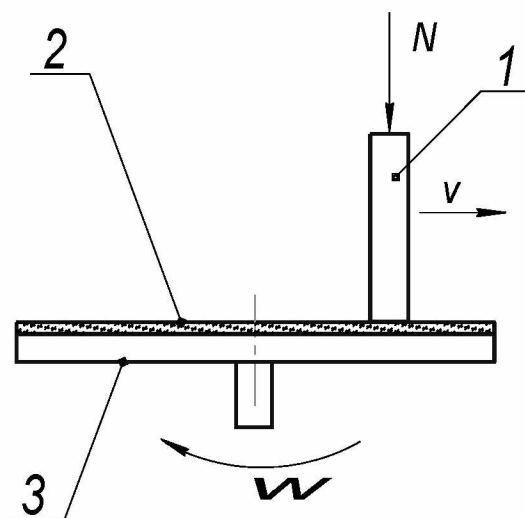
Технічна характеристика машини тертя Х4-Б представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика машини тертя Х4-Б

Параметр	Значення
Швидкість обертання диску, об/хв	60
Діаметр диску, мм	250
Шлях тертя, м	15
Питоме навантаження на зразок, МПа	1

Схема випробувань зразків наведена на рис. 2.3

Випробувальний зразок 1 навантаженням вантажем N притискається до абразивної тканини 2, закріпленої на обертовому диску 3. Диск обертається з частотою ω . При цьому зразок здійснює поступальний рух від центра диска до його периферії зі швидкістю v .



1 – зразок, 2 – абразивна тканина, 3 – обертовий диск.

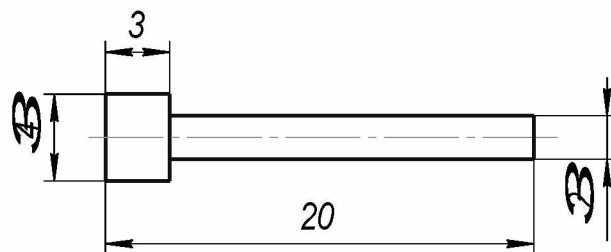
Рисунок 2.3. – Схема випробування зразків на абразивне зношування

В процесі випробування на машині тертя Х4-Б дотримувалися наступних вимог: радіальна подача зразків на кожний оберт диска складає 1 мм; швидкість тертя зразків по абразивній тканині була такою, при якій відсутнє нагрівання матеріалу зразка; статичне навантаження становило 1 МПа, відносна похибка навантаження не перевищувала 1%.

Дослідженню підлягали торці зразків, загальний вигляд і розміри яких наведені на рис 2.4.



а)



б)

Рисунок 2.4. – Зразок для дослідження: а – загальний вигляд; б – геометричні розміри.

Досліджували зразки сталей 45, Л53, 65Г, хімічний склад яких наведено в таблиці 2.2.

Торці зразків зміцнювали термомеханічним зміцненням, індукційним наплавленням сплаву ПС-14-60 та термообробкою.

Таблиця 2.2. – Хімічний склад досліджуваних матеріалів зразків

Матеріал	Вміст елементів, %					
	C	Mn	Si	Cr	P	S
Сталь Л53	0,47...0,57	0,50...0,80	0,15...0,35	-	≤0,04	≤0,05
Сталь 65Г	0,62...0,70	0,90...1,20	0,17...0,37	≤0,25	≤0,02	≤0,04
Сталь 45	0,44	0,58	0,22	-	0,025	0,03

В якості еталонних зразків були вибрані матеріали, що підлягали об'ємному гартуванню: сталь 45 – $t_{\text{гарт}} = 840^{\circ}\text{C}$ (вода), $t_{\text{відп}} = 400^{\circ}\text{C}$ (повітря); сталь Л53 – $t_{\text{гарт}} = 810^{\circ}\text{C}$ (масло), $t_{\text{відп}} = 180^{\circ}\text{C}$ (повітря); сталь 65Г – $t_{\text{гарт}} = 810^{\circ}\text{C}$ (масло), $t_{\text{відп}} = 360^{\circ}\text{C}$ (повітря).

Функцію абразивного матеріалу виконували абразивні тканини СФЖ 1УС (ГОСТ 13344-79), зернистістю – 4Н...12Н (40...160 мкм), що закріплювалися на обертовому диску. В процесі випробувань вимірювали зміну розмірів зразків до і після випробувань.

Величину лінійного зношування визначали за виразом:

$$\Delta h = h_0 - h, \quad (2.1)$$

де h_0 , h – відповідно довжина зразка до і після випробування.

Відносну зносостійкість оцінювали за виразом:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_e}{\Delta h_i} \left(\frac{d_e}{d_i} \right)^2, \quad (2.2)$$

де Δh_e , Δh_i – відповідно абсолютне лінійне зношування еталонного та і-го зразку; d_e , d_i – відповідно їх діаметри.

2.2. Методика визначення твердості та мікротвердості зразків

Твердість зміцнених поверхонь визначали за шкалою Роквела на приладі ТК-2М (ГОСТ 13407-67) рис. 2.5. Зразок або деталь встановлювали на спеціальну підставку для деталей циліндричної форми і проводили заміри.



Рисунок 2.5. – Прилад для вимірювання твердості HRC по Роквелу

Мікротвердість по глибині зміцненого шару після термомеханічної обробки вимірювали на металографічних шліфах за допомогою приладу ПМТ-3 при збільшенні $\times 487$ у відповідності з ГОСТ 9450-76 рис. 2.6..



Рисунок 2.6. – Прилад для вимірювання мікротвердості ПМТ-3

Навантаження на індентор складало 0,98 Н. Опрацювання результатів вимірювання проводили методами математичної статистики запропонованими у роботі [40] з використанням пакетів прикладних програм на компютері. Похибка у визначенні мікротвердості не перевищувала 8%.

2.3. Методика випробувань зразків стрілочастих культиваторних лап на лабораторній установці по моделюванні руху робочих органів ґрунтообробних машин

Стендові випробування зразків стрілочастих культиваторних лап на лабораторній установці по моделюванні руху робочих органів ґрунтообробних машин, загальний вигляд та кріплення культиваторної лапи на рис.2.7-2.8. [62]



Рисунок 2.7. – Лабораторна установка по моделюванні руху робочих органів ґрунтообробних машин

Лабораторна установка по моделюванні руху робочих органів ґрунтообробних машин (рис. 2.7.-2.8), яка забезпечує рух ґрунту відносно робочого органу (стрілчаста культиваторна лапа), та має можливість змінювати швидкість обертання лотка під час проведення дослідження.



Рисунок 2.8. – Фото кріплення стійки на лабораторній установці

Лабораторна установка має вигляд зрізаного циліндра 1 (з коловидною формою лотка) виконана з внутрішнім діаметром – 2,6 м., зовнішнім діаметром – 3,6 м., та висотою – 0,5 м., яка заповнена ґрунтом 2 та обертається навколо вертикальної вісі 3. Ґрунт обертається, а моделі робочих органів та вимірювальна апаратура, залишаються нерухомими. Модель робочого органу (стрілчаста культиваторна лапа) закріплюється на стійці (див. рис. 2.8), яка регулює глибину заглиблення у ґрунт. Ущільнювальні котки використовуються, для покращення копіювання рельєфу ґрунту та його ущільнення. Котки встановлені на рамці візка, яка шарнірно прикріплена до стійки. Канал отримує обертовий рух від ведучого валу, якому, механічний варіатор передає обертовий рух від мотор – редуктора. Механічний варіатор забезпечує можливість, в процесі роботи, плавно змінювати швидкість обертання каналу в діапазоні від 0.01 до 333 м/хв [62].

Технічна характеристика лабораторної установки по моделюванні руху робочих органів ґрунтообробних машин наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика лабораторної установки по моделюванні руху робочих органів ґрунтообробних машин

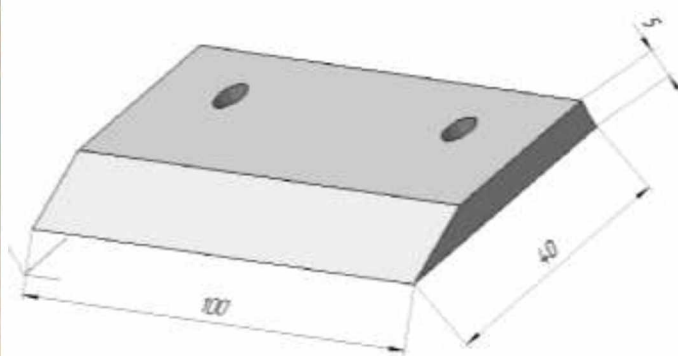
№ п/п	Параметр	Значення
1	Зовнішній діаметр ґрунтового каналу, м	3,6
2	Глибина шару насипаного ґрунту в ґрунтовому каналі, м	0,3
3	Швидкість руху візка, м/с	1,0...3,0
4	Потужність електродвигуна, кВт	3,0
5	Число обертів двигуна, об/хв.	1440

Вологість ґрунту підтримували в межах 10...16 % за допомогою спеціального зволожувального пристрою, закріпленого на рамі.

Рух стрілкової культиваторної лапи із закріпленими зразками здійснювався по колу в діапазоні швидкостей від 1,0 м/с до 3,0 м/с. В якості робочого середовища, застосовувався звичайний чорнозем (20% глини, 80% піску) грудкуватої структури. Дослідження зразків різальних елементів (рис.2.9) зі сталей 45, Л53 та 65Г термомеханічно зміцнених проводили для відстані тертя до 150 км.



а)



б)

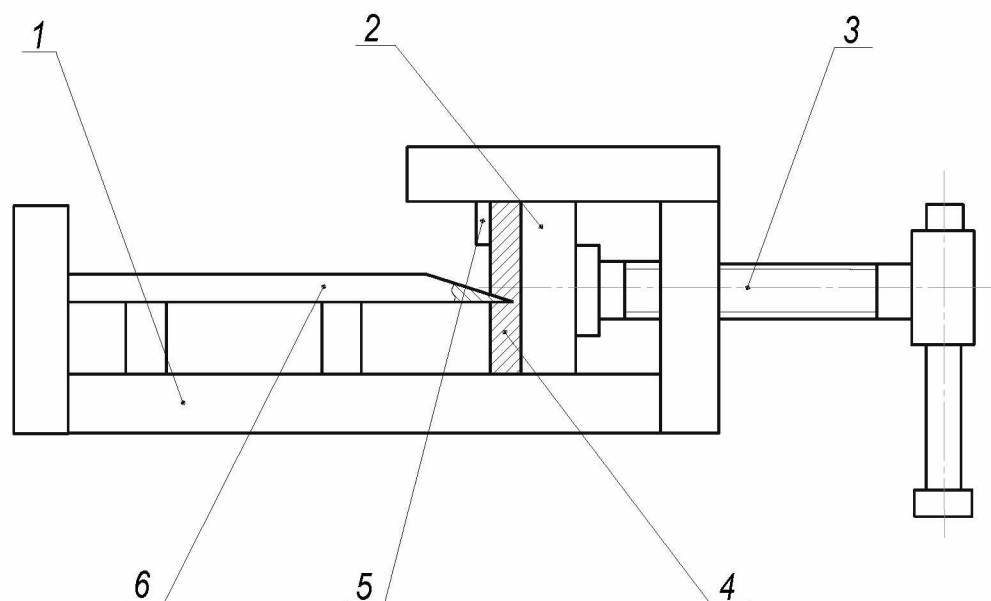
а) матриця із закріпленими зразками; б) зразок різального елементу вирізаний з відповідної частини стрілкової культиваторної лапи

Рисунок 2.9. – Обладнання для випробування на лабораторній установці.

Перед випробуваннями зразків різальних елементів та стрілчастих культиваторних лап була проведена їх технічна експертиза, зняті шаблони та виміряні товщини їх різальних елементів. Ці вимірювання проводилися через кожні 10 км шляху тертя. Крім цього фіксували появу ефекту затуплення або самозагострювання та визначали величину зношування.

2.4. Методика дослідження профілів різальних елементів стрілчастих культиваторних лап

Вивчення характеру формування профілів різальних елементів стрілчастих культиваторних лап виконували методом зняття відбитків з досліджуваних ділянок різальної кромки [6]. Для цього використовували пристосування, схема якого представлена на рис. 2.10.



1 – корпус; 2 – повзун; 3 – гвинт; 4 – свинцева пластина; 5 – скоба; 6 – різальний елемент.

Рисунок 2.10. – Схема пристосування для зняття відбитків з різальних елементів стрілчастих культиваторних лап

Пристосування складається з корпусу і повзуна, який переміщується за допомогою гвинта. До повзуна кріпиться спеціальна свинцева пластина. Правильна орієнтація свинцевої пластини відносно повзуна забезпечується скобою.

Зняття відбитків досліджуваних різальних елементів здійснюється наступним чином. До повзуна кріпиться заздалегідь підготовлена свинцева пластина, на якій отримують відбитки. Різальний елемент фіксується в пристосуванні і за допомогою гвинта повзун разом з пластиною подається до різальної кромки.

Після цього свинцеву пластину знімали з повзуна і розрізали перпендикулярно відбитку різальної кромки. Отримані відбитки профілів різальних елементів фотографували на цифрову камеру і досліджували на комп'ютері.

2.5. Методика визначення величини, характеру зношування і геометричної форми зразків різальних елементів

Величину лінійного зношування по ширині різальних елементів при різному шляху тертя L визначали за схемою, представленою на рис.2.11.

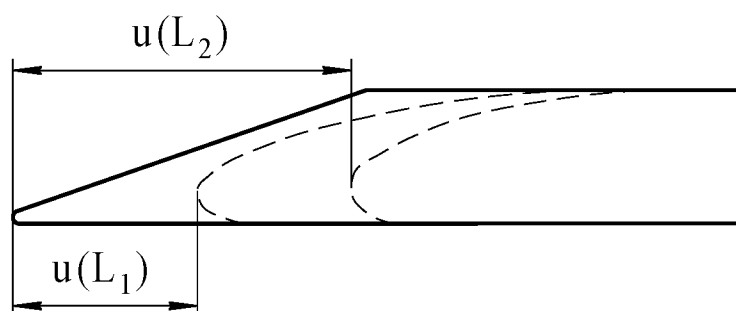


Рисунок 2.11. – Схема визначення лінійного зношування по ширині різальних елементів в залежності від шляху тертя.

Оскільки в процесі абразивного зношування різальних елементів змінюється форма його профілю, то проводили спостереження за характерними точками, які знаходилися на цих профілях (рис. 2.12).

Для визначення величини зношування в цих точках і форми профілю фотографували цифровою камерою перерізи різальних елементів з фіксованою величиною збільшення. Електронну інформацію зображення імпортували в окремий файл програми Компас – 3D V8.

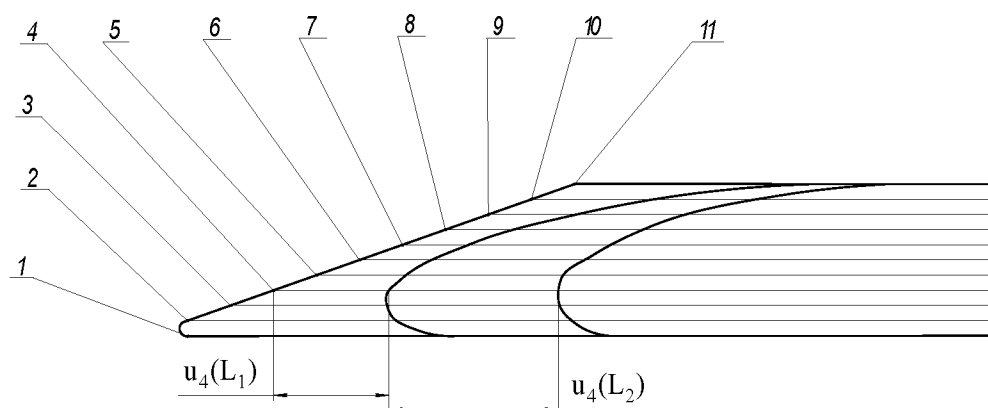


Рисунок 2.12. – Схема спостереження за зміною профілю різальних елементів і визначення їх величини зношування на комп'ютері за певний шлях тертя.

Після створення другого шару поверх першого проводили окреслення профілю різальних елементів стрілкової культиваторної лапи. Після співставлення профілів, отриманих при різних шляхах тертя, автоматизовано визначали величину зношування різальних елементів в характерних точках. Крім цього, за допомогою зазначеної процедури, визначали радіус різальної кромки.

Інтенсивність лінійного зношування оцінювали за виразом:

$$I_u = \frac{u}{L} ; \quad (2.3)$$

де u – величина лінійного зношування різального елемента стрілкової культиваторної лапи, мм;

L – шлях тертя, км.

Поряд з визначенням лінійного зношування і форми профілів, визначали величину вагового зношування за даний проміжок часу випробувань (шляху тертя) ваговим методом. Зважування проводили на аналітичних вагах АДВ-200 з точністю до 0,1 мг. (рис. 2.13.).

Інтенсивність масового зносу оцінювали за виразом:

$$I_m = \frac{m_0 - m_L}{L} ; \quad (2.4)$$

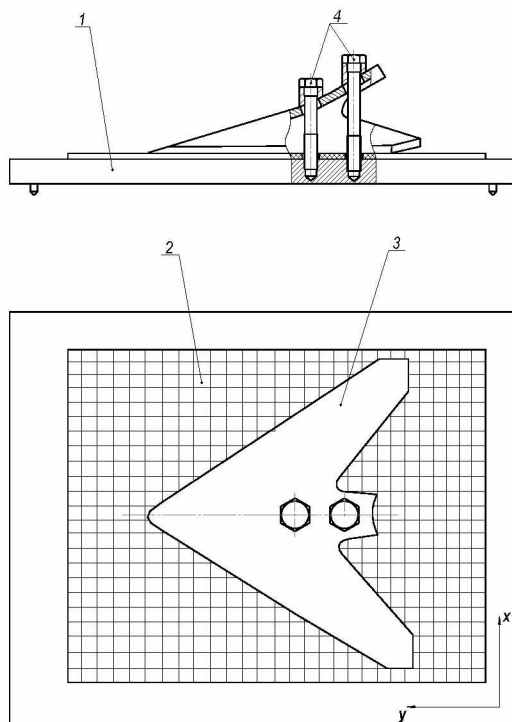
де m_0 , m_L – відповідно початкова вага (г) РЕ та його вага (г) після шляху тертя L , км.



Рисунок 2.13. – Аналітичні ваги типу АДВ-200

2.6. Методика визначення зміни геометричної форми стрілкової культиваторної лапи

Величину зміни геометричної форми стрілчастих лап культиватора визначали за допомогою спеціального пристосування, див. рис. 2.14.

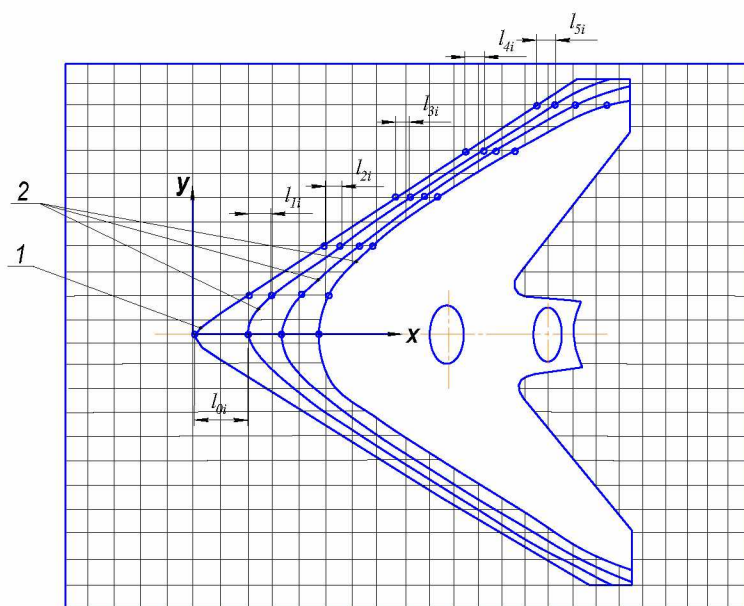


1 – основа; 2 – лист картону з координатною сіткою; 3 – лапа культиватора.

Рисунок 2.14. – Пристосування для визначення зміни геометричної форми

Вимірювання проводили в наступній послідовності:

- нову стрілчасту культиваторну лапу встановлювали на кріпильні гвинти пристосування і міцно затискали, при цьому між лапою і основою пристосування розміщували лист міліметрового паперу з координатною сіткою, одна вісь якої була спрямована у напрямку руху деталі, друга – їй перпендикулярна;
- окреслювали контур стрілчастої культиваторної лапи на папері;
- після певного напрацювання контур стрілчастої культиваторної лапи наносили на лист міліметрового паперу, де відображений контур нової лапи, за викладеною вище послідовністю;
- за різницею відстаней у вибраних напрямках між початковим та кінцевим контурами визначали величину лінійного зношування різальних елементів і її геометрію по довжині, згідно рис. 2.15.



1 – вихідний контур; 2 – контури, що відповідають певному напрацюванню.

Рисунок 2.15. – Схема визначення лінійного зношування стрілчастої культиваторної лапи і змін її геометрії по довжині різального елемента

Зауважимо, що конструкція пристосування передбачала збереження кута нахилу стрілчастої культиваторної лапи згідно умов експлуатації.

Отримані дані обробляли математико-статистичними методами з допомогою програмного забезпечення.

Зазначений метод дозволяє спостерігати за динамікою зміни форми стрілкової культиваторної лапи в процесі її експлуатаційних та стендових випробувань та фіксувати появу стану її стабілізації. За базою даних про величину зношування по фіксованих точках (рис. 2.15) визначали коефіцієнт зміни форми при певному напрацюванні:

$$K_{if} = \frac{\bar{l}_i}{l_{i \max}} = \frac{\sum_{k=1}^n l_{ki}}{n \cdot l_{i \max}}, \quad (2.5)$$

де $\bar{l}_i$, $l_{i \max}$ – відповідно середня та максимальна величини лінійного зношування для i -ої форми стрілкової культиваторної лапи; $l_{ki} = x_{k0} - x_{ki}$, k – фіксована точка ($k = (\overline{1, n})$).

Геометрична форма стрілкової культиваторної лапи в процесі абразивного зношування стабілізується, якщо значення K_{if} наближаються до 1.

2.7. Висновки за розділом 2

Розглянуті в даному розділі питання дозволяють зробити наступні висновки:

1. Розроблена програма і методика проведення експериментів, яка включає лабораторні дослідження впливу термомеханічного зміцнення на зносостійкість різальних елементів стрілкової культиваторної лапи.

2. Для проведення лабораторних досліджень розроблено і виготовлено: Зразки різальних елементів для випробування на лабораторній установці з моделювання руху робочих органів ґрунтообробних машин; пристосування для зняття відбитків з різальних елементів стрілчастих культиваторних лап; пристосування для визначення величини зношування і зміни геометричної форми стрілкової культиваторної лапи.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати дослідження абразивної зносостійкості термомеханічно зміцнених зразків різальних елементів стрілкової культиваторної лапи

Дослідження абразивної зносостійкості термомеханічно зміцнених зразків сталей 45, Л53, 65Г проводили на машині тертя Х4-Б, за методикою, наведеною в п. 2.1.

Результати вимірювань лінійного зношування зразків, що підлягали термомеханічній обробці наведені на рис.3.1.

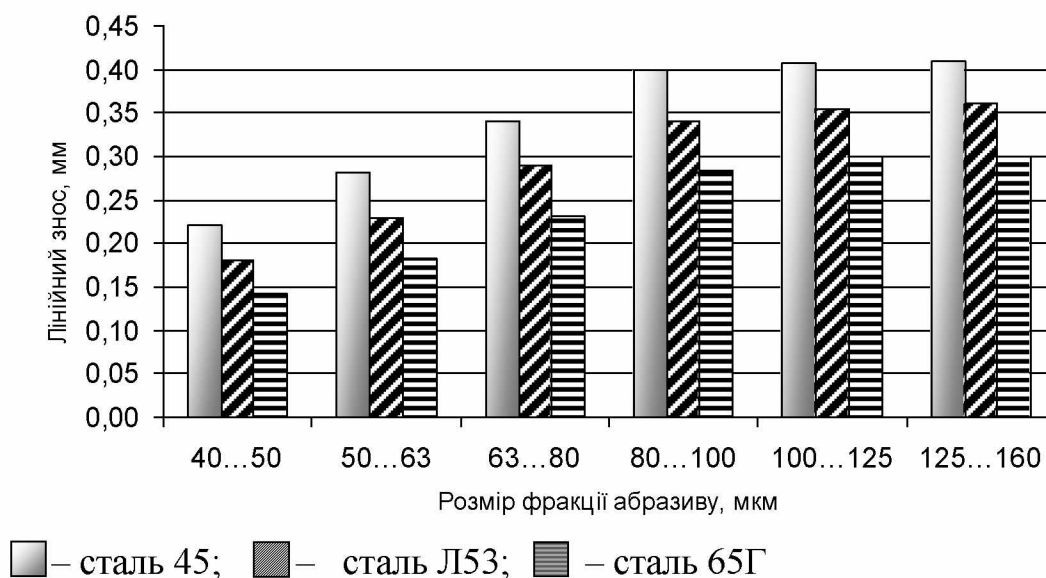


Рисунок 3.1. – Залежність лінійного зношування зразків після термомеханічного зміцнення від розміру фракції абразиву.

З рисунку 3.1 можна бачити, що при термомеханічному зміцненні величина зношування для досліджуваних сталей збільшується практично за однаковою закономірністю. Зі збільшенням розміру фракції абразиву понад 80...100 мкм, величина зношування зразків сталі 45 практично не змінилася. Для сталей Л53 і 65Г величина зношування стабілізується починаючи з розміру фракції абразиву в межах 100...125 мкм. Це можна пояснити особливостями зміцнення сталей, що мають легуючі елементи. На вище зазначений ефект впливають і режими термомеханічного зміцнення.

На увагу заслуговує і той факт, що величина і швидкість зношування сталі 45 на 14 % вища від сталі Л53 і на 36% вища від сталі 65Г, тобто залежить від складу сталей. Результати дослідження залежності лінійного зношування зразків зі сталі 65Г, зміцнених різними способами від розміру фракції абразиву представлені в таблиці 3.1.

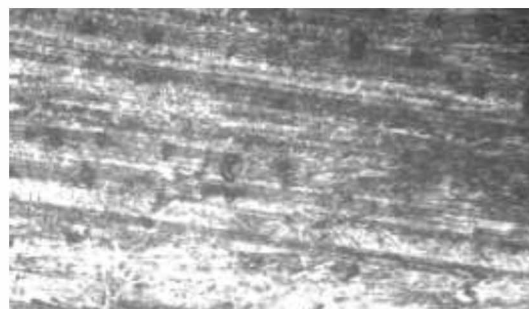
Таблиця 3.1. – Лінійне зношування зразків зміцнених різними способами

Розмір фракції абразиву, мкм	Лінійне зношування, мм	
	Індукційне наплавлення, ПС-14-60	Термомеханічне зміцнення
40...50	0,10	0,07
50...63	0,14	0,11
63...80	0,17	0,14
80...100	0,20	0,17
100...125	0,21	0,18
125...160	0,21	0,18

У порівнянні з індукційним наплавленням сплаву ПС-14-60, його термомеханічне зміцнення збільшує зносостійкість поверхні у 1,15...1,25 рази. Закономірність зношування наплавлених шарів в залежності від розміру фракції абразиву аналогічна термомеханічному зміцненню. Відмінність полягає тільки у більш високій зносостійкості поверхневих шарів. Виявлені закономірності зношування зміцнених зразків підтверджують і фото фрагментів поверхонь тертя зразків (рис. 3.2).



а)



б)

а) термомеханічне зміцнення; б) наплавлення сплаву ПС-14-60; (розмір фракції абразиву абразивної тканини 100...125 мкм)

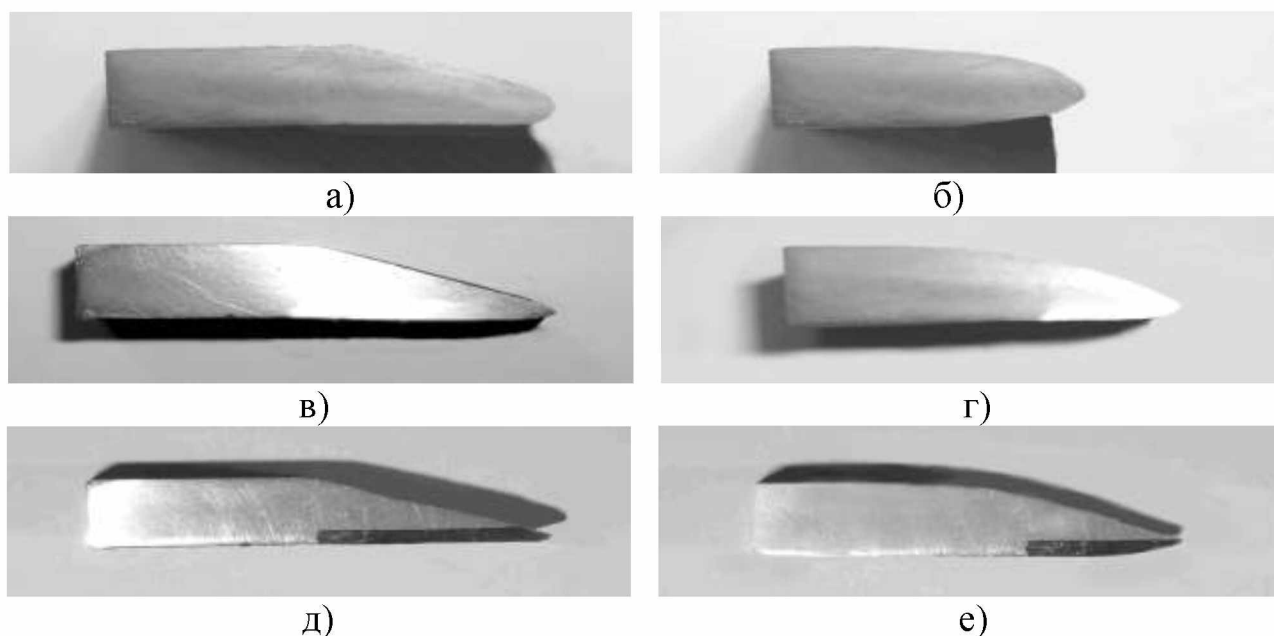
Рисунок 3.2. Фото фрагментів зон тертя зразків зі сталі 65Г при різних видах зміцнення.

Отже, для зразків, зміцнених термомеханічним зміцненням (див. рис. 3.2, а) спостерігається в процесі абразивного зношування переважно мікрорізання, а при наплавленні – пластичне деформування.

Результати дослідження рельєфу поверхонь тертя свідчать про відсутність прямого процесу різання абразивними частинками зразків зміцнених термомеханічною обробкою. Виявляються сліди пластичної деформації і ознаки ковзання матеріалу по напрямку переміщення при терті. На поверхнях тертя зразків спостерігаються ефекти полірування.

3.2. Результати дослідження зміни профілю різальних елементів

Дослідження профілів різальних елементів стрілочастих культиваторних лап проводили за допомогою установки з моделювання руху робочих органів ґрунтообробних машин (п. 2.3), відповідно до методики, описаної в п. 2.4, і п. 2.5. З різальних елементів, зміцнених різними методами через кожні 10 км напрацювання знімали відбитки. Загальний вигляд перерізів різальних елементів до і після випробувань (шлях тертя 60 км) наведений на рис.3.3.



а, б – об'ємно загартовані; в, г – термо-механічно зміцнені; д, е – зміцнені наплавленням сплаву ПС-14-60.

Рисунок 3.3. Загальний вигляд перерізів різальних елементів культиваторних лап з різним видом обробки до (а,в,д) і після (б,г,е) напрацювання 60 км:

Результати дослідження профілів різальних елементів стрілочастих культиваторних лап представлено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2. – Динаміка зміни профілів різальних елементів культиваторних лап зі сталі 65Г в залежності від виду зміцнювальної обробки і шляху тертя

Шлях тертя	Вид зміцнення		
	Об'ємна термічна обробка	Термомеханічне зміцнення	Індукційне наплавлення ПС-14-60
0 км			
30 км			
60 км			
90 км			
120 км			

З таблиці 3.2 видно, що зміцнені об'ємною термічною обробкою різальні елементи вже при шляху тертя 30 км інтенсивно затуплюються. Подальше збільшення напрацювання призводить до збільшення радіусу заокруглення різальної кромки і за певних умов до утворення затилкової фаски. Так, в процесі

досліджень, встановлено, що при напрацюванні 50...60 км такі різальні елементи культиваторної лапи підлягають вибракуванню, тобто мають радіус заокруглення різальної кромки більше 1,2 мм [63,64] (див. додаток Б).

Індукційне наплавлення сплавом ПС-14-60 дозволяє отримати на різальних елементах стрілчастої культиваторної лапи ефект самозагострювання, що стримує утворення затилкової фаски і забезпечує допустимий радіус різальної кромки до напрацювання в межах 100...120 км. При збільшенні напрацювання до 120...150 км відбувається стрімке збільшення радіусу заокруглення різальної кромки з утворенням затилкової фаски. В окремих випадках спостерігалися відшарування частин твердого сплаву.

Застосування термомеханічної обробки поверхні різальних елементів стрілчастої культиваторної лапи на глибину до 1,0 мм сприяє самозагострюванню різальної кромки. Так, при напрацюванні 90...100 км радіус заокруглення різальної кромки знаходився в межах 0,6...0,8 мм, що відповідає допустимим значенням. Зі збільшенням напрацювання до 120 км і зношування зміцненого шару спостерігали картину, подібну до різальних елементів зміцнених об'ємною термічною обробкою при напрацюванні 60 км. Тобто при застосуванні термомеханічного зміцнення можна реалізувати умови виникнення процесу самозагострювання, оскільки зміцнений шар має твердість у 2,0...2,5 рази більшу за твердість несучого шару, а товщиною зміцненого шару можна керувати змінюючи режими обробки від 0,5 до 1,0 мм. Крім цього даний вид обробки дає можливість підвищити напрацювання різальних елементів до вибракування в 1,8...2,3 рази в порівнянні з різальними елементами зміцненими об'ємною термічною обробкою.

3.3. Результати дослідження величини і характеру зношування різальних елементів стрілчастих культиваторних лап

Результати стендових випробувань зразків різальних елементів стрілчастих культиваторних лап на зношування, проведених за методикою, наведеною в п. 2.6, представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. – Залежність лінійного зношування по ширині РЕ від шляху тертя і способу зміцнення

Спосіб зміцнення		Лінійне зношування по ширині, мм Інтенсивність зношування, мм/км при шляху тертя					Середні значення	
		30 км	60 км	90 км	120 км	150 км	інтенсивності зношування $\bar{I}$, мм/км	квадр. відхил. $\sigma_I \cdot 10^{-3}$, мм/км
Об'ємне гартування		<u>2,15</u> 0,0717	<u>4,40</u> 0,0733	<u>6,55</u> 0,0728	<u>8,65</u> 0,0721	<u>10,85</u> 0,0723	0,072	0,574
Термомеханічне зміцнення на глибину, мм	0,50	<u>1,55</u> 0,0517	<u>3,05</u> 0,508	<u>4,55</u> 0,506	<u>6,05</u> 0,500	<u>7,45</u> 0,497	0,051	0,694
	0,75	<u>1,40</u> 0,0467	<u>2,80</u> 0,0467	<u>4,15</u> 0,0461	<u>5,45</u> 0,0454	<u>6,75</u> 0,0450	0,046	0,669
	1,00	<u>1,35</u> 0,0450	<u>2,65</u> 0,0442	<u>3,95</u> 0,0439	<u>5,25</u> 0,0438	<u>6,50</u> 0,0433	0,044	0,555
Індукційне наплавлення ПС-14-60		<u>1,25</u> 0,0417	<u>2,45</u> 0,0408	<u>3,70</u> 0,0411	<u>4,85</u> 0,0404	<u>6,05</u> 0,0403	0,041	0,487

Аналіз отриманих даних показує, що лінійне зношування по ширині культиваторних лап при застосуванні різних видів зміцнення зі збільшенням шляху тертя збільшується, але за різними закономірностями. Передусім це залежить від виду обробки, матеріалу основи деталі, а також технологічних режимів.

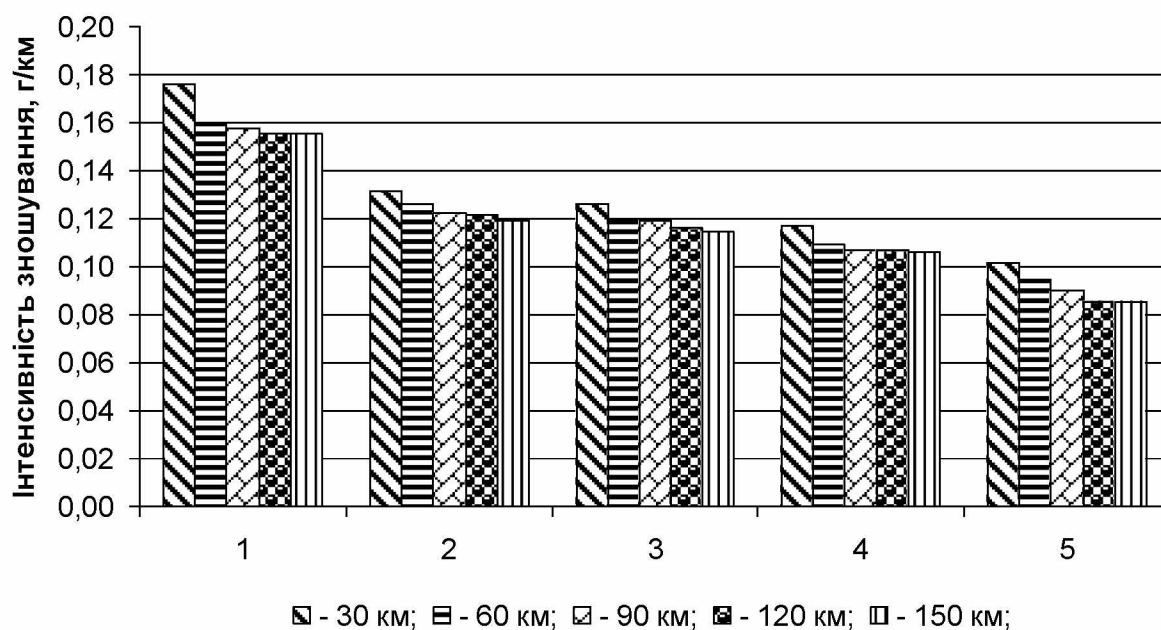
Наприклад, для зразків зі сталі 65Г, що зміцнені за термомеханічною технологією при напрацюванні 30 км лінійне зношування у 1,4...1,6 разів менше у порівнянні зі зразками після об'ємної термообробки, а при напрацюванні 150 км цей показник у 1,5...1,7 разів менший. Це обумовлено подрібненням структури і підвищенням твердості матеріалу зразків при дії на них термомеханічним способом. Крім цього на величину зношування впливає і поява ефекту самозагострювання різальних елементів.

Застосування індукційного наплавлення сплаву ПС-14-60 зменшує інтенсивність лінійного зношування в 1,2 рази у порівнянні з вище згаданими способами зміцнення. Зменшення інтенсивності зношування можна пояснити утворенням ряду карбідів і боридів в зоні індукційного впливу, які мають високу мікротвердість, а отже і зносостійкість. Оскільки в процесі абразивного зношування різальні елементи змінюються як по ширині, так і по товщині, то були

проведені дослідження залежності величини і інтенсивності вагового зношування від способу зміцнення і довжини шляху тертя. Результати досліджень представлені в таблиці 3.4 і на рис. 3.4.

Таблиця 3.4. – Залежність вагового зношування різального елементу від шляху тертя і способу зміцнення

Шлях тертя, км	Вагове зношування, г		
	Об'ємна термообробка	Термомеханічне зміцнення	Індукційне наплавлення ПС-14-60
30	5,296	3,948	3,776
60	9,554	7,576	7,15
90	14,221	10,998	10,706
120	18,675	14,542	13,906
150	23,273	17,924	17,206
Середня початкова вага зразків, г	128,096	128,154	127,206



1 – об'ємна термообробка; 2 – термомеханічне зміцнення; 3 – індукційне наплавлення сплаву ПС-14-60

Рисунок 3.4. – Інтенсивність зношування зразків різальних елементів стрілочастих культиваторних лап зміцнених за різними технологіями.

З представленої вище таблиці 3.4 можна бачити, що при застосуванні термомеханічного зміцнення величина зношування по вазі зразків різальних елементів зменшується на 29...34% у порівнянні з традиційним об'ємним гартуванням. У випадку індукційного наплавлення сплаву ПС-14-60 спостерігали також зменшення величини зношування на 7...10%.

Інтенсивність зношування по вазі різальних елементів в початковий період напрацювання (до 30 км) дещо більша ніж у наступні періоди (рис.3.4). Характерним є те, що при певному напрацюванні спостерігається стабілізація інтенсивності зношування по вазі. Поява цього моменту залежить передусім від способу зміцнення.

Спостереження за динамікою зміни різальної кромки показали, що при збільшенні шляху тертя відбувалися зміни її радіусу. Опрацювання даних з використанням програмного забезпечення дозволила визначити радіус різальної кромки стрілкової культиваторної лапи та його залежність від шляху тертя і способу зміцнення (див. табл. 3.5).

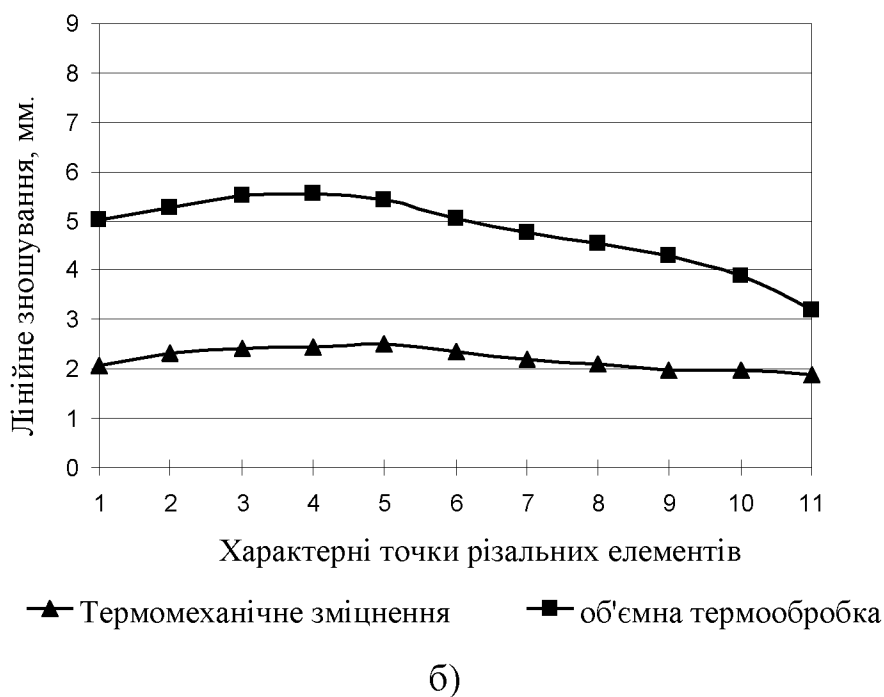
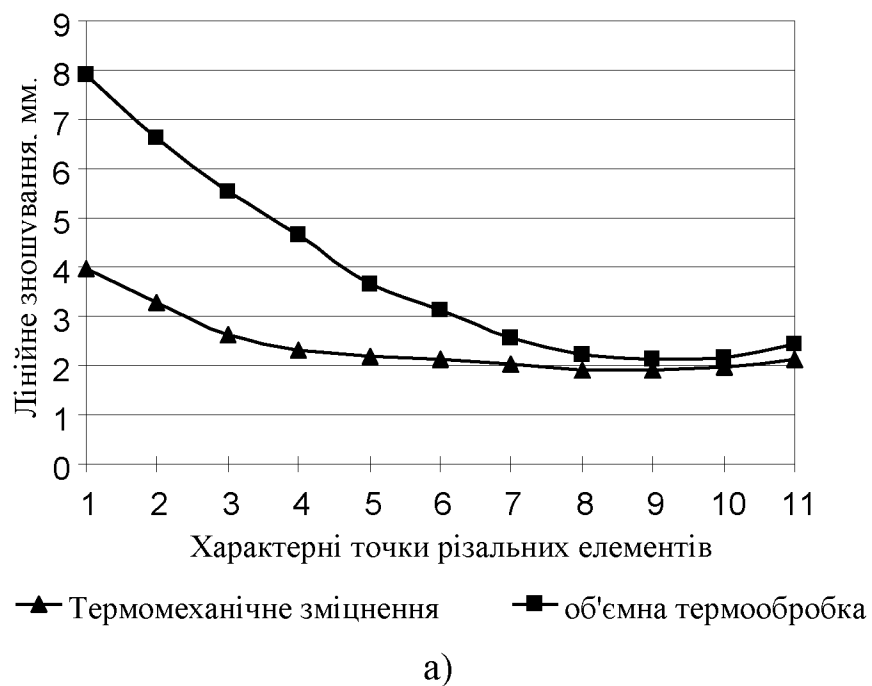
Таблиця 3.5. – Залежність радіусу різальної кромки від шляху тертя і способу зміцнення різального елемента стрілкової культиваторної лапи

Спосіб зміцнення		Радіус різальної кромки, мм				
		30 км	60 км	90 км	120 км	150 км
Об'ємне гартування		0,51	0,76	0,95	1,23	1,34
Термомеханічне зміцнення на глибину, мм	0,50	0,41	0,57	0,68	0,72	0,76
	0,75	0,37	0,52	0,60	0,63	0,64
	1,00	0,34	0,51	0,58	0,59	0,61
Індукційне наплавлення ПС-14-60		0,32	0,39	0,46	0,50	0,52

Аналіз даних показав, що найбільший радіус різальної кромки спостерігається при об'ємному гартуванні різального елемента. При термомеханічному зміцненні величина радіусу різальної кромки залежить від технологічних режимів обробки та матеріалу різального елемента. Виявлено, що

при спостереженні ефекту самозагострювання, оптимальною є товщина зміцненого шару в межах 0,75...1,00 мм.

При індукційному наплавленні сплавів ПС-14-60 товщиною до 1 мм виявлені найкращі умови виникнення і реалізації ефекту самозагострювання. Результати величини зношування в характерних точках профілю наведено на рис. 3.5.



а – 30 км; б – 60 км.

Рисунок 3.5. Залежність лінійного зношування в характерних точках профілю різальних елементів від способів зміцнення для різних шляхів тертя.

З рис. 3.5, а видно, що при шляху тертя 30 км спостерігається максимальне зношування для точок 1-4, що знаходяться на різальній кромці. Увагу привертає той факт, що величина зношування у цих точках при термомеханічному зміцненні у 1,5...2,0 рази менша, а в точках 5-11 спостерігається майже однакове зношування. З подальшим напрацюванням (рис. 3.5, б) для обох профілів спостерігається стабілізація лінійного зношування майже в усіх характерних точках. Разом з тим, величина зношування для різальних елементів термомеханічно зміцнених у 2,0...2,5 рази менша.

Виробничо-експлуатаційну перевірку результатів досліджень величини і характеру зношування різальних елементів стрілчастих культиваторних лап зміцнених за термомеханічною технологією проводили на весні 2021 року на полях СФГ «Відродження» Гребінківського району Полтавської області (рис. 3.6).



Рисунок 3.6. – Виробничо експлуатаційна перевірка культиватора

Результати проведених польових досліджень зразків культиваторних лап показали, що лінійне зношування по ширині леза при застосуванні різних видів зміцнення зі збільшенням шляху тертя збільшуються, але за різними закономірностями. Це обумовлено структурними змінами зміцнених шарів,

підвищенням їх твердості та появою ефекту самозагострювання. Дослідження вагового зношування різальних елементів та його інтенсивності при термомеханічному зміцненні зменшується на 29...34% у порівнянні з традиційним об'ємним загартуванням. Спостерігається при певному напрацюванні деяка стабілізація інтенсивності зношування по вазі. Це передусім обумовлено зміною форми профілю різальних елементів і радіусу різальної кромки в процесі припрацювання.

3.4. Висновки за розділом 3

Результати досліджень, приведені в даному розділі, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Оскільки величина і характер зношування різальних елементів має локальний характер, то доцільно використовувати технології локального зміцнення поверхонь, тобто технології термомеханічного зміцнення. При виборі раціональних режимів термомеханічного зміцнення виходили з того, що характеристики зміцнених шарів на поверхнях різальних елементів повинні бути наближеними до тих, які сприяють реалізації ефекту самозагострювання.

2. Дослідження абразивної зносостійкості на машині тертя Х4-Б зразків зі сталей 45, Л53, 65Г зміцнених за традиційними та досліджуваними технологіями показало, що після термомеханічного зміцнення величина зношування сталей в залежності від розміру фракції абразиву змінюється за однаковою закономірністю. Разом з тим для кожної сталі існує діапазон розміру фракції абразиву, при якому зношування зразків починає стабілізуватися. Величина зношування при термомеханічному зміцненні менша у порівнянні з термообробкою, але закономірність зношування від розміру фракції абразиву аналогічна.

3. Дослідження профілю зразків різальних елементів показали, що при зміцненні об'ємною термічною обробкою вже при шляху тертя 30 км спостерігається інтенсивне затуплення леза лапи. Подальше збільшення напрацювання приводить до збільшення радіусу заокруглення різальної кромки.

Застосування термомеханічного зміцнення нижньої поверхні різального елемента на глибину до 1 мм сприяє його самозагострюванню і при шляху тертя до 90...100 км відповідає допустимим значенням радіусу різальної кромки, тобто дає можливість підвищити ресурс культиваторної лапи до вибракування 1,8...2,3 рази у порівнянні з різальними елементами зміцненими об'ємною термічною обробкою.

4. Результати стендових випробувань зразків різальних елементів показали, що лінійне зношування по ширині леза при застосуванні різних видів зміцнення зі збільшенням шляху тертя збільшується, але за різними закономірностями. Зразки різальних елементів зі сталі 65Г, термомеханічно зміцнені мали при напрацюванні 30 км лінійне зношування у 1,4...1,6 разів менше, ніж зразки після об'ємної термічної обробки, а при напрацюванні 150 км цей показник у 1,5...1,7 разів менше.

5. Вимірювання зношування зразків різальних елементів ваговим методом показало, що при застосуванні термомеханічного зміцнення величина зношування по вазі зразків зменшується на 29...34% у порівнянні з традиційним об'ємним гартуванням. У випадку індукційного наплавлення сплаву ПС-14-60 спостерігали також зменшення цього показника на 7...10%.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩО ДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Екологічна експертиза

Проведення екологічної експертизи передбачено в Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 26 червня 1991р. [65] та Законі України «Про екологічну експертизу» від 03 січня 2003 р. Закон передбачає (розділ 6, стаття 26, 27) обов'язкове проведення екологічної експертизи в процесі господарської, управлінської та іншої діяльності, що впливає на стан природного оточуючого середовища, а також проекти на будівництво, реконструкцію виробництв і об'єктів, які можуть мати негативний вплив на оточуюче середовище.

Оскільки дослідно-виробнича перевірка результатів роботи проводилися безпосередньо з використанням трактора МТЗ-82 та сільськогосподарської машини КПС-4,0, тому дослідження по екологічній експертизі безпосередньо пов'язані з виконаннями операцій технічного обслуговування трактора МТЗ-82.

Для покращення екологічного стану при виконанні технологічної операції культивування ґрунту ми передбачили [65]:

1. Для боротьби з ерозією ґрунту розробити зональні комплекси взаємодоповнюючих агротехнічних, лісомеліоративних, гідротехнічних та організаційно-господарських протиерозійних заходів. Агротехнічні заходи (культивування ділянок впоперек схилів, весняне розпушування зябу культиваторами смугами) сприяють регулюванню стоку талих і дощових вод і значно зменшують змив ґрунту.

2. З метою зменшення поширення вітрової ерозії замість оранки застосовують плоско різальний обробіток ґрунту культиваторами-плоскорізами із збереженням стерні на поверхні (ґрунтозахисна технологія обробітку ґрунту), що зменшує розпорошення і сприяє більшому накопиченню ґрунтової вологи.

3. У районах, схильних до ерозії, рекомендуємо використовувати ґрунтозахисні сівозміни, а також посіви сільськогосподарських культур між куліс з високостеблевих рослин. Корисно також впроваджувати правильне чергування

культур, виконувати нарізання полів перпендикулярно напрямку вітрів, застосовувати смугове розміщення культур.

4. Рекомендовано застосовувати лісомеліоративні заходи в боротьбі проти ерозії ґрунтів. Ефективно себе зарекомендували захисні лісові насадження (полезахисні, прибалкові лісові смуги). У сукупності це дозволить звести до мінімуму руйнування ґрунту, забезпечити раціональне використання землі, підвищити урожай сільгоспкультур.

Дані заходи, які передбачені в до впровадження дозволять зменшити вплив водної та вітрової ерозії ґрунту та шкідливих факторів на оточуюче середовище.

Отже врахувавши запропоновані заходи з екологічної експертизи в даній роботі, можна уникнути виникнення загрози навколишньому середовищу.

Висновком є виконання передбачених заходів які дадуть можливість зберегти навколишнє середовище, зменшивши вплив шкідливих факторів як на організм людини, так і на оточуюче його навколишнє середовище.

4.2. Охорона праці

Відомо, що поліпшення умов праці і підвищення її безпеки безпосередньо впливають на зниження виробничого травматизму, професійних захворювань, збереження здоров'я працюючих з одночасним зниженням витрат на оплату праці і компенсацій за роботу у несприятливих умовах, на оплату наслідків такої роботи (тимчасова і постійна непрацездатність), на перепідготовку працюючих у зв'язку з плинністю кадрів через незадовільність умови праці. [66].

Тому для забезпечення безпечних умов праці в сільськогосподарських підприємствах розглянемо деякі питання стосовно охорони праці

При експлуатації агрегату у складі МТЗ-82+КПС-4,0 для передпосівного обробітку ґрунту необхідно дотримуватись наступних вимог охорони [67, 68]:

- виконувати тільки ту роботу, по якій пройшов навчання, інструктаж з охорони праці і до якої допущений працівник, відповідальним за безпечне виконання робіт;

- не допускати до роботи ненавчених і сторонніх осіб;
- застосовувати необхідне для безпечної роботи справне устаткування, використовувати його тільки для тих робіт, для яких він призначений;
- стежити за роботою культиватора, періодично проводити його візуальний огляд з метою виявлення пошкоджень механізмів, захисних пристроїв, витоку палива і ін.;
- пошкоджені елементи обладнання повинні бути правильно відремонтовані або замінені;
- при виявленні поломки обладнання, інших порушень вимог охорони праці, які не можуть бути усунені власними силами, і можуть викликати загрозу здоров'ю, особистої або колективної безпеки працівникові слід повідомити про це керівника. Не приступати до роботи до усунення виявлених порушень;
- при роботі з культиватором (мотоблоком) необхідно дотримуватися правил його експлуатації відповідно до інструкцій з охорони праці;
- правильно застосовувати засоби індивідуального захисту (беруші, окуляри, рукавиці);
- займати стійку позицію, при русі перевіряти надійність опори під ногами;
- здійснювати обробіток ґрунту при швидкості, що зазначена в керівництві по експлуатації заводу-виготовлювача;
- при культивації обирати підвищену передачу;
- після проходження першої смуги перевірити глибину обробітку ґрунту, при необхідності провести регулювання культиваторних лап. Регулювання слід проводити відповідно до інструкції з експлуатації заводу-виготовлювача, при вимкненому двигуні, із застосуванням захисних рукавичок;
- при роботі на схилах обробіток ґрунту проводити тільки в поперек них і ніколи не в гору або зі схилу. Забороняється обробляти ґрунту на схилах крутизною понад 25%;
- при зміні напрямку роботи (повороті, розвороті) переводити ручку перемикачів передач в нейтральне положення;

- експлуатувати обладнання так, щоб не допускати вдихання відпрацьованих вихлопних газів;

- уникати попадання масла і палива на гарячі частини двигуна;
- стежити за тим, щоб двигун трактора не перегріватися. При втраті потужності слід вимкнути двигун і дати йому охолонути протягом 30-40 хвилин;
- зупиняти двигун при: перервах в роботі; технічних оглядах культиватора; заправці трактора паливом; заміні робочих органів культиватора;
- обслуговування, ремонт та очищення виконувати при вимкненому і охолодженому двигуні;
- при обслуговуванні використовувати тільки оригінальні запасні частини.

Використання нестандартних запасних частин і приладдя забороняється;

- при роботі з культиватором ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:
- передавати обладнання стороннім особам;
- використовувати обладнання не за призначенням;
- експлуатувати пристрій без захисних пристосувань;
- експлуатувати двигун з несправним глушником;
- перемикаати передачі при включеному зчепленні;
- працювати з обладнанням босоніж або у відкритих сандалях;
- наближати ноги або руки до рухомих частин;
- щоб уникнути опіків торкатися до глушника і блоку циліндрів;
- допускати підвищені оберти двигуна без навантаження;
- працювати з обладнанням під впливом наркотиків, алкоголю, ліків.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Економічний ефект від впровадження запропонованої технології термомеханічного зміцнення досягається також за рахунок зниження енергоємності та тривалості операції, зниження витрат паливно-мастильних матеріалів при виконанні технологічних операцій обробітку ґрунту, зниження часу на простої сільськогосподарських машин при відновленні робочих органів.

Річний економічний ефект за рахунок зниження собівартості зміцнення лап визначали за виразом [69,70]:

$$E_{p.c} = (C_{in} - C_{mm}) \cdot N - E_n \cdot (K_{mm} - K_{in}) \quad (4.1)$$

де C_{in}, C_{mm} – відповідно собівартості зміцнення індукційним наплавленням та термомеханічним зміцненням, грн.; N – річна програма зміцнення лап, шт.; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E_n = 0,15$); K_{mm}, K_{in} – відповідно капітальні вкладення при термомеханічному зміцненні та індукційному наплавленні, грн. Вихідні дані для порівняльного розрахунку собівартості технологій зміцнення стрілчастих лап культиватора КПС-4,0 представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. – Дані для порівняльного розрахунку варіантів зміцнення стрілчастої лапи культиватора

Показник	Варіанти зміцнення	
	Індукційне наплавлення	Термомеханічне зміцнення
Вартість матеріалів, грн.	21,16	0
Тривалість зміцнення, с	51	46
Споживана потужність устаткування, кВт	105	25
Амортизаційні відрахування, грн/змін	27,19	6,79
Витрата потужності на одну деталь, кВт	1,489	0,321
Вартість електричної енергії для промислових споживачів, грн./кВт·год	2,27	2,27
Вартість енергії для зміцнення 1 деталі, грн.	3,380	0,729
Накладні витрати, грн	6,0	3,4
Заробітна плата (основна і додаткова), грн.	0,58	0,54
Відрахування на соц. страхування, грн.	0,13	0,12
Собівартість, грн.	58,418	11,579

Для умов господарства та одного культиватора КПС-4,0, план на відновлення стрілчастих лап культиватора складе $N = 96$ шт., очікуваний економічний ефект за рахунок впровадження у виробництво технології термомеханічного зміцнення:

$$E_{p.c} = (58,418 - 11,579) \cdot 96 - 0,15 \cdot (63323,70 - 109543,70) = 4496,54 + 6933,00 = 11429,54 \text{ грн.}$$

Застосування запропонованої технології термомеханічного зміцнення стрілчастих лап дозволяє збільшити їх довговічність, що підтверджено

експлуатаційними випробуваннями. Це обумовлює економічний ефект у споживача, що розраховується за виразом [71]:

$$E_{p.e.} = \left[(C_{in} + E_n K_{nut}^{in}) \cdot \frac{P_{in} + E_n}{P_{in} + E_n} - (C_{in} + E_n K_{nut}^{in}) \right] \cdot N, \quad (4.2)$$

де $K_{nut}^{in}, K_{nut}^{in}$ – відповідно питомі капітальні вкладення по базовій і запропонованій технологіям зміцнення; P_{in}, P_{in} – величини зворотні до ресурсу лап зміцнених індукційним наплавленням та термомеханічним методом ($P_{in}=1$; $P_{in}=0,69$).

$$K_{nut}^{in} = \frac{109543,70}{96} = 1141,08 \text{ грн./шт.}; \quad K_{nut}^{in} = \frac{63323,70}{96} = 659,62 \text{ грн./шт.}$$

Отримані значення показників підставимо у вираз (4.2), маємо:

$$E_{p.e.} = \left[(58,418 + 0,15 \cdot 1141,08) \cdot \frac{1 + 0,15}{0,69 + 0,15} - (11,579 + 0,15 \cdot 659,62) \right] \cdot 96 = 19562,21 \text{ грн.}$$

Підвищення ресурсу стрілчастих лап культиваторів обумовлює зменшення тривалості простоїв агрегатів для заміни робочих органів на одиницю оброблюваної площі. Загальний економічний ефект від впровадження технології відновлення методом термомеханічного зміцнення у виробництво взамін індукційному наплавленню та підвищення їх ресурсу при річній програмі ремонту 96 шт. складе: $E_{заг} = E_{p.c.} + E_{p.e.} = 11429,54 + 19562,21 = 30991,75$ грн., а на одну стрілчасту лапу культиватора: $E_{заг} = 30991,75 / 96 = 322,83$ грн. Не зважаючи на те, що традиційно склалася думка про те, що впровадження технології термомеханічного зміцнення надто коштовне і потребує значних капітальних вкладень, проведена оцінка їх техніко-економічної ефективності доводить протилежне.

4.4. Висновки за розділом 4

1. Заходи, які запропоновані до впровадження в розділі дозволяють зменшити вплив шкідливих факторів на оточуюче середовище при використанні культиватора на передпосівному обробітку ґрунту.

2. Річний економічний ефект від модернізації культиватора КПС-4,0 складе – 30991,75 грн..

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу умов роботи, характеру і величини зношування робочих органів ґрунтообробних машин, запропоновано використання технологій термомеханічного зміцнення для підвищення зносостійкості різальних елементів на стадії відновлення стрілчастих культиваторних лап.

2. Дослідження абразивної зносостійкості на машині тертя Х4-Б зразків зі сталей 45, Л53, 65Г, зміцнених за традиційними та запропонованим технологіями, показало, що для кожної сталі існує діапазон розміру фракції абразиву, при якому інтенсивність зношування зразків починає стабілізуватися. Для зразків, зміцнених термомеханічним способом, в процесі абразивного зношування спостерігається перевага складової пластичного деформування, ефектів полірування і відсутність прямого процесу різання абразивними частинками.

3. Виявлено, що термомеханічне зміцнення дозволяє в 1,3...1,4 рази знизити зношування вістря стрілчастої лапи культиватора у порівнянні з об'ємним гартуванням. Дослідження лінійного зношування у характерних точках стрілчастої культиваторної лапи свідчать про локальний характер процесу зношування по довжині різального елемента.

4. Застосування термомеханічного зміцнення у порівнянні з традиційним об'ємним гартуванням підвищує ресурс стрілчастої культиваторної лапи у 1,5...2,2 рази. При цьому спостерігається стабільність тягового опору впродовж тривалого періоду експлуатації.

5. Очікуваний загальний економічний ефект від впровадження технології термомеханічного зміцнення у ремонтному виробництві стрілчастих лап культиваторів при річній програмі 96 шт. складе 30991,75 грн. (322,83 грн на одну культиваторну лапу) за рахунок зменшення енергетичних витрат при зміцненні та підвищення їх ресурсу.