

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

Допущено до захисту
“___” _____ 2023р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене
звання)
А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

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

тема роботи **«Підвищення довговічності культиваторних лап для
передпосівного обробітку ґрунту методом технологічної конвергенції»**

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

Керівник к.т.н. доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ І ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ.....	6
1.1 Конструкційні особливості та умови експлуатації культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту.....	6
1.2 Аналіз характерних дефектів культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту	9
1.3 Матеріали для зміцнення робочих поверхонь культиваторних лап	12
1.4 Висновки за розділом	17
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Зміна сили опору при об’ємному зміцненні лез робочих органів	18
2.2 Зміна сили опору при поверхневому зміцненні лез робочих органів	23
2.3 Дослідження дефектів культиваторних лап, що виникають в процесі їх експлуатації	26
2.4 Методика проведення експлуатаційних випробувань з визначення витрат пального під час експлуатації культиваторних лап, зміцнених методом технологічної конвергенції	28
2.5 Випробування культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту, зміцнених методом технологічної конвергенції	30
2.6 Залежність витрати пального при експлуатації культиваторних лап, зміцнених методом технологічної конвергенції	36
Висновки за розділом	39
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ	40
3.1 Організація умов та заходів з охорони праці в господарстві.....	40

3.2 Аналіз умов та заходів з охорони праці під час роботи грунтообробними машинами	41
3.3 Висновки по розділу	42
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	43
4.1 Економічний ефект від підвищення довговічності культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту та зменшенню витрат пального завдяки їх зміцненню методом технологічної конвергенції	43
4.2 Висновки за розділом	46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48

РЕФЕРАТ

Галайчук Д.В. Підвищення довговічності культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту методом технологічної конвергенції (Кваліфікаційна робота, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 54 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 25 рисунки, 6 таблиць, 36 джерела літератури).

Кваліфікаційна робота присвячена покращенню експлуатаційних характеристик культиваторних лап за допомогою метода технологічної конвергенції, суть якого заключається в об'єднанні декількох технологій зміцнення робочих органів, що забезпечить підвищення ресурсних показників лап та їх самозагострювання під час експлуатації, наприклад, застосування електроконтактного методу загострення та додаткового дискретного зміцнення робочої поверхні з використанням порошкових матеріалів.

Мета роботи - є підвищення довговічності культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту завдяки самозагострюванню шляхом підвищення їх зносостійкості методом технологічної конвергенції.

Об'єкт досліджень. процес зміцнення лез культиваторних лап методом технологічної конвергенції.

Предмет досліджень. вплив параметрів і режимів процесу зміцнення робочих поверхонь культиваторних лап методом технологічної конвергенції на динаміку їх зношування і ресурс.

Ключові слова: КУЛЬТИВАТОРНІ ЛАПИ, ПЕРЕДПОСІВНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ, ЗМІЦНЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА КОНВЕРГЕНЦІЯ, РІЖУЧА КРОМКА, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, АБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ, НАРОБІТОК, ПРОГНОЗУВАННЯ, РЕСУРС, ДОВГОВІЧНІСТЬ, САМОЗАГОСТРЮВАННЯ.

ВСТУП

Актуальність теми. Від якісного передпосівного обробітку ґрунту в значній мірі залежить урожайність сільськогосподарських культур. Зокрема під час формування ложе для насіннєвого матеріалу лапи культиватора за агротехнічними вимогами повинні забезпечувати вирівняну розрихлену поверхню, задану глибину обробітку.

Вирішення цього питання ускладняється за забур'яненості поверхні, або наявності сидератів, що зумовлює необхідність якісного підрізання кореневої системи на глибині висіву насіння. Тому такі лапи повинні бути постійно гострими під час експлуатації, що забезпечить якісне підрізання кореневої системи, зменшення сили опору культиватора, а відповідно пального на виконання передпосівного обробітку ґрунту [1–3].

Лапи культиваторів зарубіжного виробництва таких фірм, як Lemken, Frank, Kverneland, Rabewerk та ін. мають достатньо високий наробіток, але об'ємно загартовані деталі неефективні під час передпосівного обробітку ґрунту, оскільки швидко затуплюються, не забезпечують підрізання кореневої системи бур'янів та сидеральних культур в системі органічного землеробства. Такий недолік ще в більшій мірі притаманний культиваторним лапам вітчизняного виробництва. Тому актуальним є підвищення зносостійкості і довговічності культиваторних лап вітчизняного виробництва [4, 5].

В сільськогосподарському виробництві України накопичена значна кількість ґрунтообробної техніки зарубіжного виробництва, яка широко використовується. Досвід використання цієї техніки вказує на її переваги в надійності та довговічності порівняно з вітчизняною, зокрема це стосується експлуатації робочих органів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ І ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ

1.5 Конструкційні особливості та умови експлуатації культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту

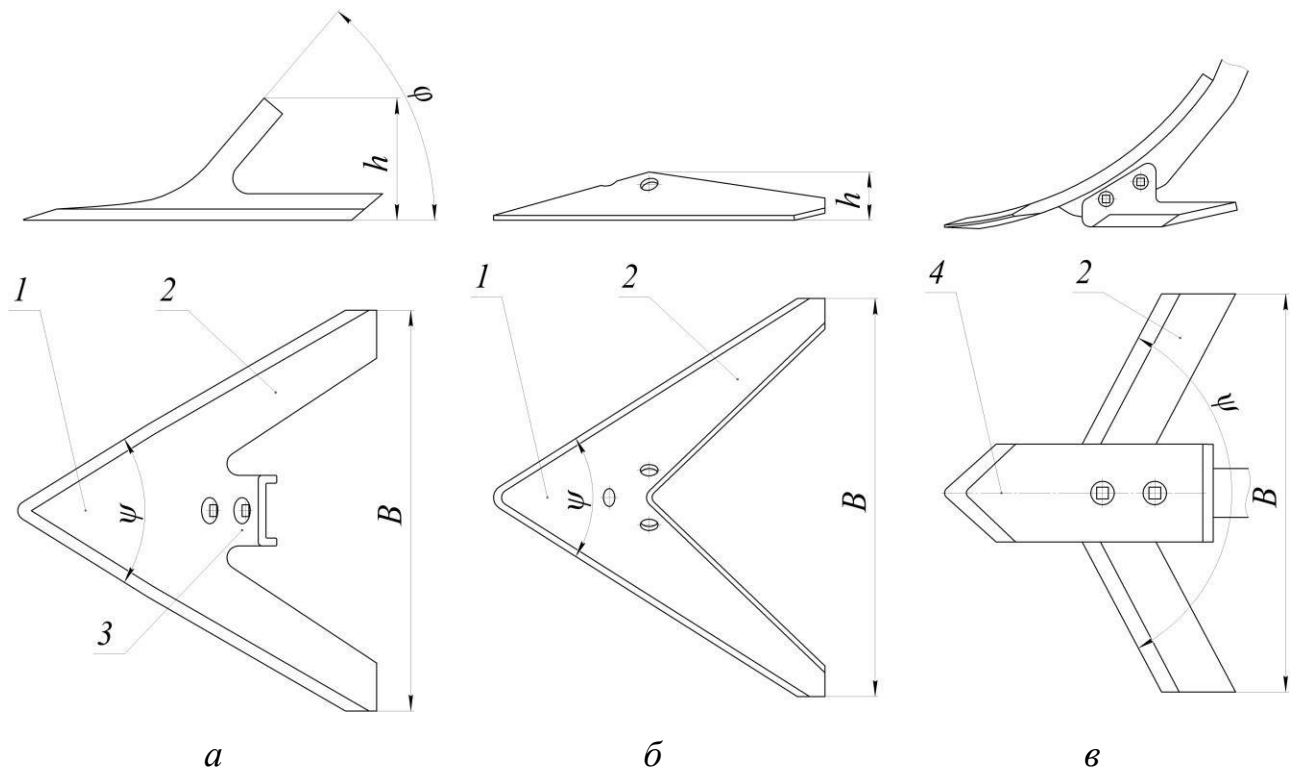
Стрілчасті робочі органи використовуються для безвідвального кришення шару ґрунту і знищених бур'янів при передпосівному та міжрядному обробітках ґрунту. В залежності від кута кришення ґрунту α та свого функціонального призначення вони поділяються на: плоскорізні $\alpha = 10\text{--}18^\circ$, універсальні $\alpha = 25\text{--}30^\circ$ і розпушувальні $\alpha > 30^\circ$ [1.42, 1.43]. Спосіб кріплення робочого органу зі стійкою відбувається за двома варіантами: хвостовиком стрілчастої лапи (різьбове або швидкокороз'ємне з'єднання) та безхвостовикове кріплення (різьбове або заклепкове з'єднання).

У процесі експлуатації робочі органи зношуються, що призводить до підвищення сили опору МТА. При загострюванні лез застосовують три варіанти, а саме, верхнє, нижнє і комбіноване. Для забезпечення стабільного руху за глибиною обробітку ґрунту рекомендується за кута кришення $\alpha < 15^\circ$ застосовувати верхнє загострення, за $\alpha > 25^\circ$ нижнє, якщо $15^\circ < \alpha < 25^\circ$ то застосовується комбіноване загострення. При визначенні варіанту загострення леза слід відзначити, що задній кут різання повинен становити $\varepsilon \geq 10^\circ$ [1.44, 1.45]

Стрілчасті робочі органи характеризуються кутом розхилу крил ψ , шириною захвату лапи B , шириною крила та товщиною матеріалу з якого виготовлено робочий орган δ . (рис. 1.1).

Передові зарубіжні фірми ґрунтообробної техніки: Lemken, Kverneland, Horsch, Bellota, Gaspardo, Gascon та інші для підвищення ресурсних показників

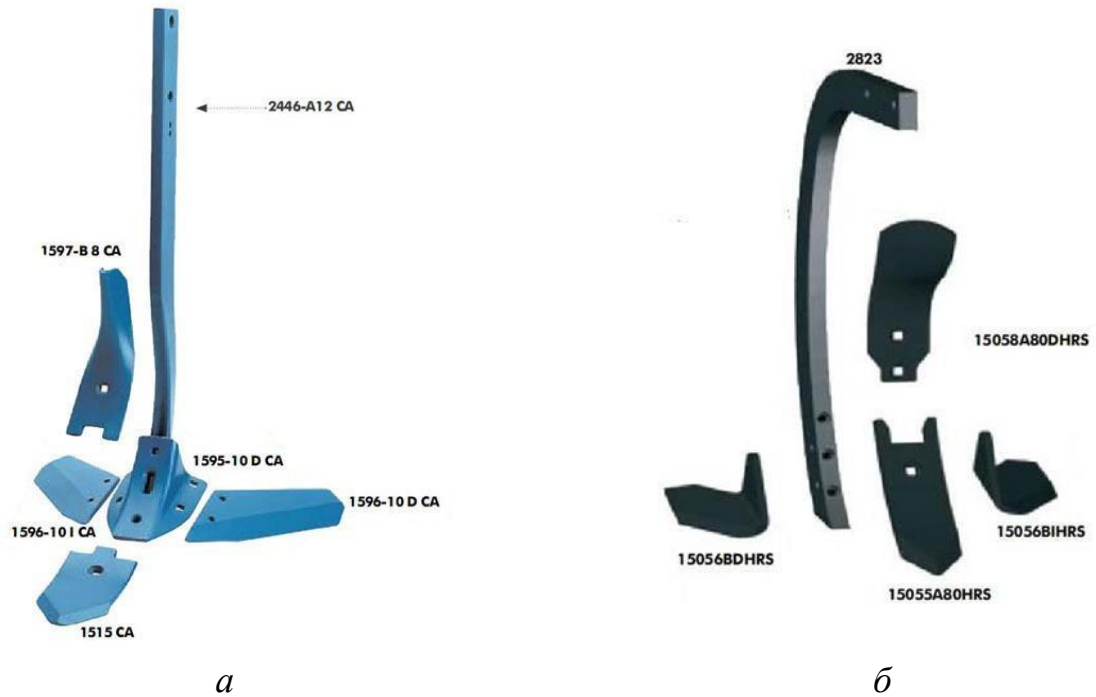
робочих органів використовують зміцнення гартуванням або нанесенням зносостійкого матеріалу.



а – культиваторна лапа з хвостовиком; *б* – культиваторна лапа без хвостовика;
в – культиваторна лапа для глибокого розпушування ґрунту; 1 – передня частина; 2 – крило; 3 – хвостовик; 4 – долото; φ – кут хвостовика; h – висота лапи; ψ – кут розхилу крил; B – ширина захвату лапи

Рисунок 1.1 – Конструкційні параметри стрілчатих робочих органів

Враховуючи те, що при експлуатації робочих органів в найважчих умовах працює його передня частина, що має підвищену інтенсивність до зношування. Його конструкційно розділяють на дві частини, а саме, долото, яке піддається термічній обробці і нанесенню на тильну сторону зносостійкого матеріалу та леза (рис. 1.2) які гартуються до твердості 50–60 HRC [1.7, 1.46] і кріпляться різьбовими з'єднаннями із стійкою. Такі розбірні стрілчасті лапи застосовуються для глибокого рихлення ґрунту на глибину до 18 см [1.47]



a – лапа для культиватора Lemken Smaragd; *б* – лапа для культиватора HORSCH MULCH-MIX

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд лап для глибокого рихлення ґрунту

На основі аналізу конструкційних особливостей культиваторних лап їх можна класифікувати за чотирьома ознаками, а саме, за функціональним призначення, за способом кріплення зі стійкою, за способом загострення леза та за конструкцією (рис. 1.3)



Рисунок 1.3 – Класифікація культиваторних лап

Аналіз умов експлуатації ґрунтообробної техніки показує, що її робочі органи в процесі експлуатації мають різний характер зношування в залежності від способу їх зміцнення та типу ґрунтів. При роботі на тяжких ґрунтах робочі органи зношуються в основному, в передній його частині та за шириною, а робочі органи, які працюють на пісчанних ґрунтах, зношуються за товщиною, зберігаючи при цьому свою конфігурацію по контуру [1.48]. Тому було поставлено завдання першочергово провести дослідження в напрямку визначення величини та характеру зношення культиваторних лап, визначити зони локального зміцнення робочих органів при їх відновленні та виготовленні, обґрунтування матеріалів для зміцнення з метою підвищення довговічності.

Дослідженнями авторів [1.4, 1.5, 1.49–1.52] встановлено, що на різні частини леза діє різний тиск. За даними [1.11, 1.53] $P_3=3,8P_2=8,2P_1$, а за даними [1.5] $P_3=2,3P_2=4,2P_1$. (рис. 1.4)

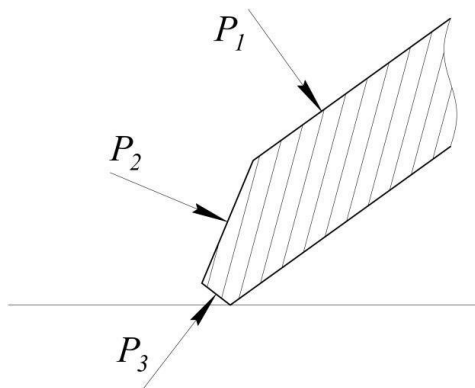


Рисунок 1.4 – Схема леза робочого органа та сил, що діють на нього в процесі виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту

Встановлено, що визначальним для зменшення сили опору робочого органа є стан ріжучої кромки, який в 4–8 разів є більш значимим, ніж стан інших робочих поверхонь [1.11].

Дослідженнями [1.54] з розроблення нових технологій виготовлення та відновлення робочих органів ґрунтообробної техніки з використанням вуглецевих сталей (вміст вуглецю 0,6–0,7%) та застосуванням для їх зміцнення електроерозійної обробки, встановлено, що зміцнення робочих поверхонь є перспективними і позитивно зарекомендував себе при відновленні зношених культиваторних лап, лемешів плугів та дисків важких борін.

Проте на сьогодні розроблено ряд інших матеріалів, призначених для зміцнення деталей, що працюють в абразивному середовищі. Зокрема, дослідним заводом зварювальних матеріалів Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ для зміцнення робочих органів випускаються електроди марок Т–590 та Т–620. Такі матеріали доцільно наносити на поверхні робочих органів локально, в місцях найінтенсивнішого зношення з метою зменшення їх витрат. При такому способі зміцнення на одну деталь витрачається приблизно 0,1 кг зміцнюючого матеріалу, а зносостійкість деталі збільшується в 2,0–2,5 рази порівняно з серійним робочим органом [1.7, 1.58].

Тому одним із основних напрямків досліджень було дослідження закономірностей зношування, обґрунтування зміцнюючих матеріалів, визначення способів зміцнення та встановлення раціональних режимів зміцнення з метою підвищення довговічності робочих органів.

1.6 Аналіз характерних дефектів культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту

Складні експлуатаційні умови роботи ґрунтообробних машин призводять до інтенсивного зношування їх робочих органів. У процесі експлуатації культиваторів змінюються розміри і форма лап, що призводить до збільшення величини сили опору, а також зниження якості обробітку ґрунту [1.55, 1.56].

Характер і величина зносу культиваторних лап впливають на стійкість роботи культиватора на заданій глибині обробітку ґрунту. Утворена затилкова фаска сприяє виникненню вертикальної складової реакції ґрунту, яка впливає на рівномірність глибини суцільного обробітку, призводить до виглиблення культиваторних лап [1.57].

За даними авторів [1.49, 1.59–1.64] зношення робочих органів ґрунтообробних машин залежить від кількості фізичного піску в ґрунті розміром частинок більше 0,01 мм. Найшвидше зношуються робочі органи, які працюють на піщано-щебневих ґрунтах, а найнижча інтенсивність зношування спостерігається на чорноземних та глинистих ґрунтах [1.61, 1.65–1.70].

Інтенсивність зношення носової частини культиваторних лап в декілька разів вища, ніж крил тому, що питоме навантаження на лезо культиваторних лап збільшується в напрямку до носка. Такий характер та інтенсивність зношення під час експлуатації мають культиваторні лапи КПЕ-410 (рис. 1.5); Bourgault (рис. 1.6); Kockerling Allrounder-10 (рис. 1.7); КРН, КПС 330 (рис. 1.8).



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд нової (*a*) та зношеної (*б*) культиваторної лапи КПЕ-410 в умовах піщаних ґрунтів

За ширини крил культиваторної лапи КПЕ-410 величиною 65 мм ця величина, залежно від наробітку, досягає 10–15 мм. При цьому товщина з 8 мм зменшується на 1–2 мм, а в хвостовій частині зношування досягає 5–6 мм. Маса деталі з 3,5 кг зменшується до 1,4–1,8 кг.

Аналогічна картина – на культиваторних лапах Bourgault, Kockerling Allrounder-10. За номінальної ширини леза 50 мм величина зношування досягає 35–40 мм. При цьому залишкова товщина в хвостовій частині становить від 2 до 3 мм.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд нової (*a*) та зношеної (*б*) культиваторної лапи Bourgault 310 мм в умовах глинистих ґрунтів

*a**б*

Рисунок 1.7 – Загальний вигляд нової (*a*) та зношеної (*б*) культиваторної лапи Kockerling Allrounder-10 в умовах піщаних ґрунтів

Культиваторні лапи КПС-330, КПЕ-410 зношуються за подібними епюрами, а саме: передня частина зношується найбільш інтенсивно, середня частина має рівномірне зношування, і в задній частині крил лап спостерігається збільшене зношування.

*a**б*

Рисунок 1.8 – Загальний вигляд нової (*a*) та зношеної (*б*) культиваторної лапи КПС 330мм в умовах чорноземних ґрунтів

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.

Характер та величини зношень лап, які пройшли певний період експлуатації (рис. 1.9), підтверджують робочу гіпотезу, згідно якої зміцнення

доцільно проводити першочергово в місцях з найбільшою ймовірністю зношення з урахуванням умов роботи, а саме, щільності, складу ґрунтів та його вологості.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд нової (а) та зношеної (б) лап культиватора КВАНТ–12 в умовах чорноземних ґрунтів

Характер та величини зношень робочих органів, дозволяють визначити раціональний спосіб локального зміцнення конкретного виду робочого органу, з урахуванням їх геометричних форм та розмірів. Локальне зміцнення дозволяє з мінімальними витратами порівняно дорогих зміцнюючих матеріалів збільшити ресурс нової чи відновленої деталі в декілька разів [1.7, 1.81, 1.82].

1.7 Матеріали для зміцнення робочих поверхонь культиваторних лап

Типи і марки матеріалів, що застосовуються для зміцнення деталей ґрунтообробних машин, повинні бути адаптовані до вибраних способів нанесення на поверхню деталі, а нанесений шар за своїми властивостями, виходячи з умов роботи робочих органів, бути стійким до абразивного зношення.

Для електродугового наплавлення можливо використання таких матеріалів, як зварювально-наплавлювальні порошкові дроти, стрічки, сталеві зварювально-наплавлювальні дроти, штучні електроди для ручного наплавлення [1.115, 1.116].

Для ручного дугового наплавлення зміцнюючих покриттів широко застосовують електроди в складі яких використовують легуючі елементи. Для наплавлення деталей, які працюють в умовах абразивного зношення, застосовуються електроди типу Э-95Х7Г5С марки 12АН-ЛИВТ, та типу Э-30Х5В2Г2СМ, марки ТКЗ-Н ГОСТ 9466-75 [1.117].

Для наплавлення деталей, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношення з ударними навантаженнями, рекомендується застосовувати електроди типу Э-300Х28НЧСЧ марки ЦС1, типу Э-225Х10Г10С марки ЦН11, типу Э-110Х14В12Ф2 марки ВСН6 та типу Э-175В8Х6СТ марки ЦН16 ГОСТ 9466-75, ГОСТ 10051-75 [1.118].

Для зміцнення деталей застосовують також трубчаті електроди, так звані реліти: ТЗ-1, ТЗ-2, ТЗ-3 та ТЗ-4. Трубчатий електрод - це трубка зігнута зі сталеної стрічки товщиною 0,65-0,80 мм, наповнена порошковою сумішшю зі сталініту, феромарганцю або інших матеріалів. В наплавлений такими електродами метал з порошкової суміші переходить 80-85 % марганцю, 90 % вуглецю, 90 % хрому [1.119].

Для зміцнення деталей шляхом наплавлення сталевим наплавлювальним дротом що виготовляється згідно з ДСТУ 3671-97, доцільно застосовувати легований або високолегований дріт, а саме Нп-40Х2Г2М, що дає твердість наплавленого шару 54-56HRC після гартування, Нп-50ХФА та Нп-40Х13 з твердістю наплавленого шару відповідно 43-50 HRC та 42-52 HRC [1.120].

Для наплавлення деталей з метою зміцнення їх поверхні відкритою дугою, широке застосування отримали порошкові дроти. Властивість наплавленого порошковими дротами шару визначається хімічним складом наповнювача. Вміст легуючих домішок в наплавленому металі може досягати до 35 % [1.121, 1.122].

Для наплавлення робочих органів ґрунтообробної техніки з метою їх зміцнення найбільш підходять порошкові дроти марок ПП-АН122, ПП-АН128, ПП-АН124, ПП-АН125, ПП-АН170.

Матеріали, які за властивостями наплавленого шару та можливістю їх застосування відповідно до вибраних способів нанесення рекомендуються для локального зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, приведених в таблицях 1.1 [1.15].

Таблиця 1.1 – Наплавлювальні дроти, що рекомендуються для нанесення зміцнюючих покриттів на робочі органи ґрунтообробних машин

Марка	Хімічний склад, %									Твердість наплавленого шару, HRC
	Вуглець	Марганець	Кремній	Хром	Нікель	Вольфрам	Моібден	Ванадій	Титан	
Легована сталь суцільний переріз										
НП-40Х2Г2М	0,35-043	1,8-2,3	0,4-0,7	1,8-2,3	≤0,4	-	0,8-1,2	-		54-56
НП-50ХФА	0,46-0,54	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	≤0,4	-	-	0,1-0,2		43-50
Порошковий дріт										
ПП-АН124	2,8	1	0,6	17	-	-	-	-	0,3	42-48
ПП-АН125	2	1	1,5	15	-	0,7	-	-	0,3	50-58
ПП-АН170	0,7	0,6	0,6	20	-	3	-	-	0,2	60-65
ПП-АН-122	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50-56
ПП-АН-128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48-52

При виборі матеріалів для нанесення зміцнюючих покриттів на робочі органи ґрунтообробних машин виходили з умов найменших витрат та досягнення необхідних якісних показників, а саме, адгезії, твердості, стійкості до абразивного зношення.

Для відновлення зношених поверхонь деталей широке застосування отримали порошкові самофлюсуючі сплави Ni–Cr–B–Si, в які додають карбіди,

бориди тугоплавких металів (вольфрам, ванадій, хром, молібден) для утворення композиційних сплавів з більш високими фізико - механічними властивостями.

Перспективним методом зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин є нанесення зносостійких гранульованих порошків методом газоплазмового, плазмового, детонаційного напилення та порошкового наплавлення. Порошки розміром 40–100 мкм використовують для газоплазмового і плазмового напилення, до 200 мкм для газопорошкового наплавлення, 20-60 мкм для детонаційного напилення. Порошки марок ПГ–10Н–01, ПГ–10Н–04, та ПГ–10К–01 застосовують для порошкового наплавлення, високолеговану порошкову суміш ПС–12НВК–01, гранульовані порошки ПГ–12Н–01 і ПН–12Н–02 для газотермічного напилення з наступним оплавленням. Марки порошків і твердість покриття приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Марки порошкових матеріалів та твердість їх покриття

Марка порошку	Склад компонентів, % (мас. доля)							Твердість покриття 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
ПГ-10Н-04	-	1,2-1,8	2,3-2,8	До 2	-	До 0,2	Основа	20-32
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
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
Сормайт - 1	25-31		2,8-4,2	54-66	-	2,5-3,5	3-5	48-52
ФХБ-1	43	19	3	Осно- ва	-	0,8	-	-

Для нанесення зміцнюючих покриттів на робочі органи ґрунтообробних машин з метою визначення раціональних режимів нанесення, вибрано матеріали (порошки), які задовольняють вимоги до нанесених покриттів за твердістю та зносостійкістю:

- **ПГ-10К-01** – застосовується для зміцнення і відновлення деталей, які працюють в корозійних середовищах у поєднанні з абразивним зносом. Наплавлений шар характеризується високою абразивною стійкістю, високою міцністю при контактних навантаженнях. Твердість наплавленого шару від 45 до 50 HRC;

- **ПС-12НВК-01** – (HRC 57-64) складається з композиції: порошок ПГ-10Н-01 (65%) + порошок карбіду вольфраму WC (35%). Покриття цієї композиції мають високу зносостійкість;

- **ФХБ-1** – призначений для легування сталей, а також при виробництві зварювальних і наплавлювальних електродів. Застосування ферохромобора підвищує твердість і зносостійкість;

- **сормайт** – призначений для наплавлення деталей металургійного та енергетичного обладнання, сільськогосподарських машин тощо, які працюють в умовах абразивного зношування при температурі до 500 °С з помірними ударними навантаженнями.

Зварювальні електроди Э-320Х25С2ГР-Т-590 наплавлювальні – призначені для наплавлення деталей, які працюють в умовах переважно абразивного зношування з помірними ударними навантаженнями (HRC 58-64).

Вугільні електроди ОК Carbon ESAB 8.0x305 – застосовуються для різання, стругання, пробивання отворів у вуглецевих, низьковуглецевих і легованих сталях.

1.8 Висновки за розділом

1. В процесі експлуатації зношуються поверхні культиваторних лап, що негативно впливає на товщину ріжучої кромки леза. Із збільшенням наробітку товщина ріжучої кромки збільшується за рахунок цього відбувається збільшення сили опору до значень, які приводять до перевитрат пального. Це означає, що визначальним для зменшення сили опору робочого органу є стан ріжучої кромки, який є більш значимим, ніж стан інших робочих поверхонь.

2. Перспективним способом зміцнення робочих органів є застосування порошкових матеріалів, які мають складові частинки з розмірами близько 0,1 мкм, що дозволяє підвищити фізико-механічні властивості нанесених шарів, а саме, межу міцності в 1,5–2,5 рази при збереженні достатньої пластичності. Завдяки застосуванню порошкових матеріалів можна значно (до 1,5–4 разів) збільшити ресурс, а також знизити експлуатаційні витрати.

3. Використання локального зміцнення порошковими матеріалами дозволить з мінімальними витратами порівняно дорогих зміцнюючих матеріалів збільшити ресурс нової чи відновленої деталі в декілька разів.

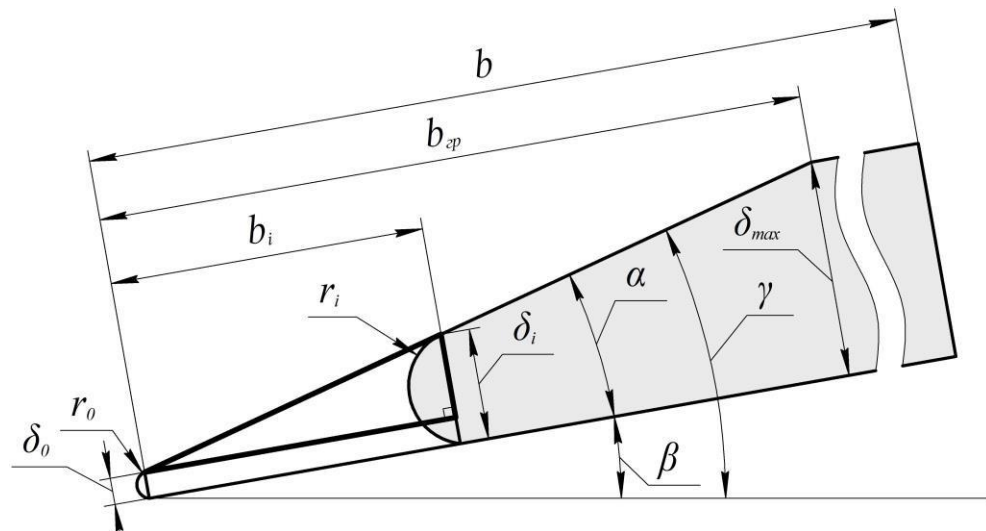
4. На підставі проведеного огляду й аналізу характерних дефектів та відомих методів зміцнення культиваторних лап встановлено, що одним із основних напрямків досліджень є визначення способів, дослідження закономірностей і встановлення раціональних режимів зміцнення та обґрунтування зміцнюючих матеріалів з метою підвищення зносостійкості і довговічності культиваторних лап.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

2.6.1 Зміна сили опору при об'ємному зміцненні лез робочих органів

Під час експлуатації внаслідок абразивної дії та тиску ґрунту в першу чергу зношується ріжуча кромка робочих органів ґрунтообробних знарядь. Спостерігається її затуплення та подальша зміна геометрії, а саме, збільшення товщини ріжучої кромки (рис. 2.1). Особливо це характерно для робочих органів з об'ємним загартуванням окремих ділянок робочих органів, зокрема крил стрілочастих лап культиваторів [2.1–2.3].



b – ширина леза культиваторної лапи; b_i , b_{zp} – відповідно значення i -го та граничного зношення леза за шириною; δ_0 , δ_i , δ_{zp} – відповідно значення початкової, i -тої та граничної товщини ріжучої кромки; α – кут загострення леза; β – задній кут різання; γ – кут різання

Рисунок 2.1 – Графічне відображення процесу зміни геометричних параметрів ріжучої кромки робочих органів з об'ємним загартуванням на i -тих стадіях зношення

Лезо нової культиваторної лапи характеризується певною товщиною різальної кромки δ_0 та кутом загострення леза α . В залежності від призначення лапи – полольна чи розпушувальна, змінюються кут різання γ та задній кут β [2.4, 2.5]:

Зношення деталі супроводжується зміною товщини δ_i ріжучої кромки, від δ_0 до δ_{gr} , де δ_i – будь яке проміжне значення. Із збільшенням величини зношення b_i збільшується δ_i . За умови досягнення граничного значення величини зношення леза за шириною b_{gr} , товщина ріжучої кромки не змінюється і дорівнює величині δ_{gr} .

В результаті аналізу характеру зношування лап культиваторів з об'ємним загартуванням (рис. 2.1) встановлено взаємозв'язок між геометричними параметрами леза культиваторної лапи та товщиною ріжучої кромки δ_0 і δ_i , який описується виразом:

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

Цей вираз дозволяє прогнозувати товщину ріжучої кромки δ_i в процесі експлуатації та прогнозувати збільшення сили опору робочого органа в залежності від величини зношення леза за шириною b_i . Збільшення величини b_i призводить до збільшення радіуса заокруглення ріжучих кромки і підвищення сили опору культиватора та витрати палива при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту

На практиці згідно технічних вимог та в залежності від призначення культиваторних лап при їх виготовленні використовують кути загострення леза від 12° до 30° [2.6, 2.7].

Враховуючи вираз (2.1) теоретично змодельовано процес взаємозв'язку між величиною лінійного зношення b_i , кутом загострення леза α та товщиною ріжучої кромки δ_i (рис. 2.2).

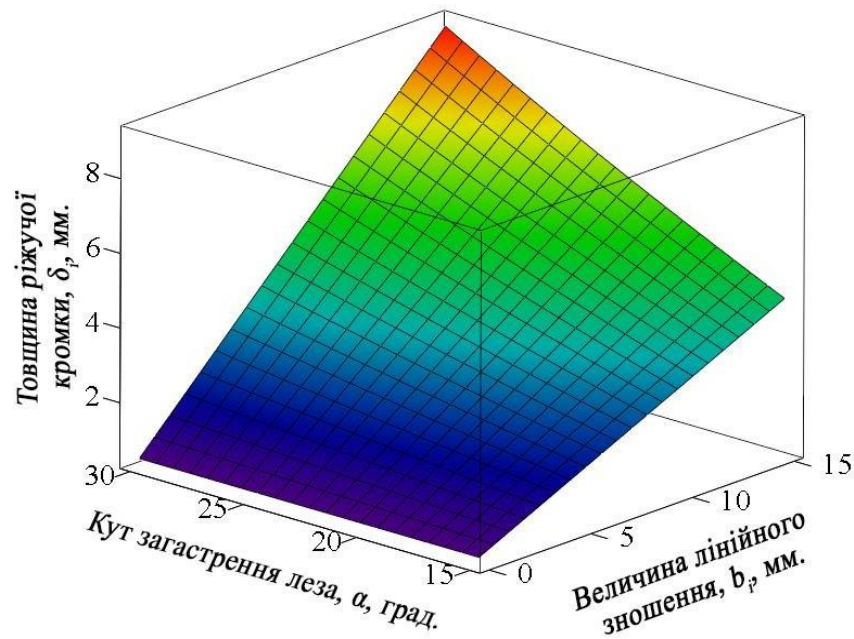


Рисунок 2.2 – Залежність впливу величини зношення леза за шириною b_i і кута загострення леза α на зміну товщини різучої кромки δ_i

Згідно теоретичних досліджень взаємозв'язку між величиною зношення, кутом загострення та товщиною різальної кромки культиваторних лап з об'ємним загартуванням, встановлено, що в процесі експлуатації за рахунок лінійного зношення леза відбувається поступове збільшення радіусу різальної кромки. Зменшення δ_i , а в ідеальному випадку доведення його до початкового значення δ_0 і забезпечення його постійної величини в процесі експлуатації, можливе шляхом зміцнення поверхні леза культиваторної лапи методом нанесення зміцнюючи покриттів, або поверхневого загартування робочої поверхні леза на глибину 0,5–2,0 мм.

Для прогнозування зміни сили опору культиватора в процесі експлуатації, вирішено розширити відому залежність (1.1), а саме, запропоновано розраховувати складову $kabn$, що визначає опір відрізання і деформацію пласта ґрунту за формулою (1.2). Враховуючи доповнення залежність (1.1) набуде вигляду:

$$P_{\kappa} = fG + \left(\tau a B \frac{\cos \varphi \sin(\gamma + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cos^2 \left(\frac{\gamma + \varphi + \varphi'}{2} \right)} + \delta_i B \sigma_{\text{сод}} \right) n + \varepsilon a B n V^2. \quad (2.2)$$

Отриманий вираз (2.2) щодо визначення сили опору культиватора, дозволяє розширити раціональну формула В.П. Горячкіна шляхом врахування опору стиснення і сколювання шару ґрунту а також опору ґрунту вдавлюванню товщиною ріжучої кромки. Для прогнозування зміни сили опору культиватора було використано наступні дані: $f = 0,5$; $G = 80000$ Н; $\tau = 11768$ Н/м²; $a = 0,05$ м; $B = 0,4$ м; $\varphi = 39^\circ$; $\varphi' = 31^\circ$; $\gamma = 30^\circ$; $\sigma_{\text{сод}} = 378820$ Н/м²; $n = 38$ шт.; $\varepsilon = 1500$ Н·с²/м⁴; $V = 2,22$ м/с. Це дало змогу аналітично встановити вплив товщини ріжучої кромки на зміну сили опору культиватора (рис. 2.3).

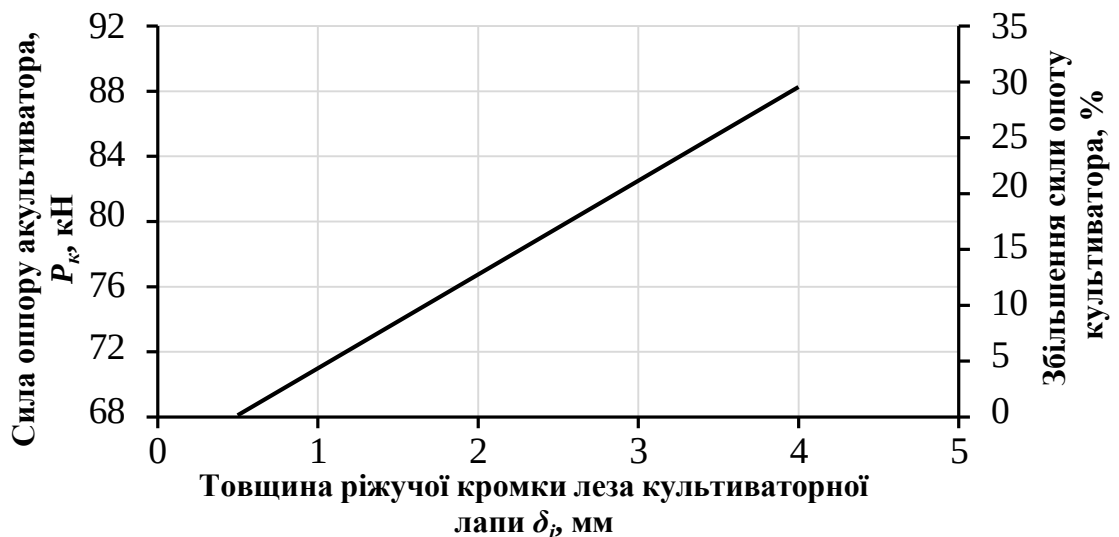


Рисунок 2.3 – Залежність сили опору культиватора КВАНТ–12 від товщини ріжучої кромки

Аналіз графічної залежності (рис. 2.3) показує, що збільшення товщини різальної кромки культиваторної лапи з 0,5 мм до 4 мм призводить до зростання сили опору культиватора на 29,6 %.

Вираз визначення сили опору агрегату (2.2) доповнюємо з урахуванням залежності зміни товщини ріжучої кромки леза культиваторної лапи з об'ємним загартуванням (2.1), в результаті чого отримуємо залежність:

$$P_k = fG + \left(\tau a B \frac{\cos \varphi \sin(\gamma + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cos^2 \left(\frac{\gamma + \varphi + \varphi'}{2} \right)} + (\delta_0 + b_i \cdot \operatorname{tg} \alpha) B \sigma_{\text{ср}} \right) n + \varepsilon a B n V^2. \quad (2.3)$$

Графічна інтерпретація отриманого виразу (2.3) приведена у вигляді поверхні відгуку (рис. 2.4).

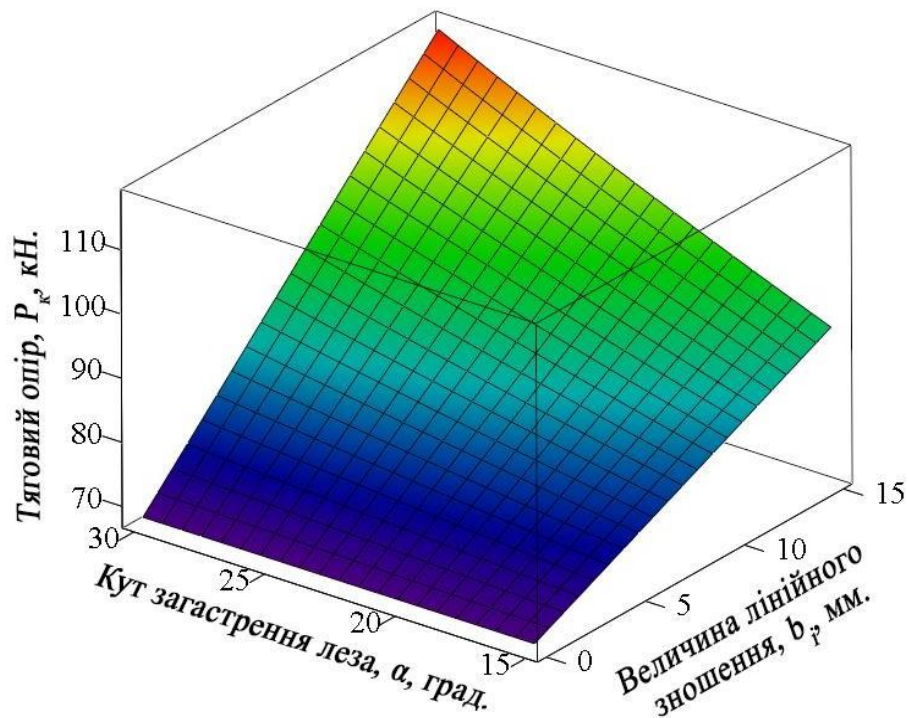


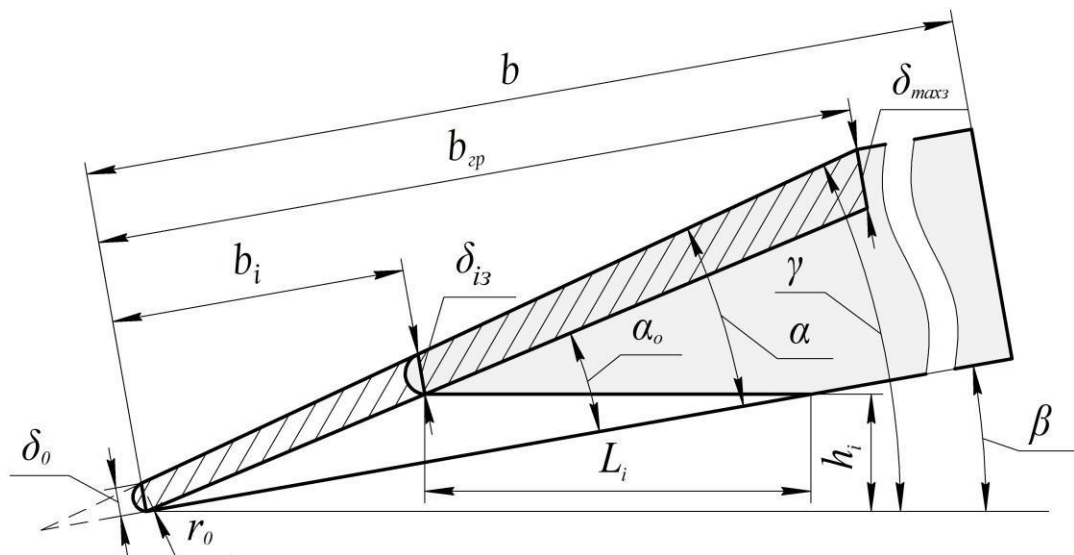
Рисунок 2.4 – Залежність сили опору культиватора від величини лінійного зношення за леза шириною b_i і кута загострення леза α

Приведені математична модель (2.3) та графічна залежність (рис. 2.4) сили опору культиватора P_k від величини лінійного зношення леза за шириною b_i і кута загострення леза культиваторної лапи α дозволяє відслідковувати та впливати на величину сили опору культиватора використовуючи механічні прийоми, наприклад, при підвищенні сили опору до значень, які приводять до перевитрат пального на 10 – 15 % проводити заточування культиваторних лап, що є приводом для підвищення собівартості сільськогосподарської продукції.

Це питання можна вирішити забезпечуючи самозагострювання робочих органів в процесі виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту.

2.7 Зміна сили опору при поверхневому зміцненні лез робочих органів

В результаті досліджень встановлено, що на відміну від процесу формування ріжучої кромки при i – тих стадіях, зношення з об'ємним загартуванням, яка представлена на рисунку 2.1, процес формування ріжучої кромки на i – тих стадіях зношення з поверхневим зміцненням має вигляд, представлений на рисунку 2.5.



b – ширина леза культиваторної лапи; b_i , $b_{сп}$ – відповідно значення i -го та граничного зношення леза за шириною; δ_0 , $\delta_{із}$ – відповідно значення початкової та i -тої товщини різальної кромки; L_i – величина площини утвореної паралельно напрямку руху робочого органу при i -му зношенні леза; h_i – величина зменшення глибини обробітку ґрунту при i -му зношенні леза від початкового значення; γ – кут різання; β – задній кут різання; α – кут загострення леза.

Рисунок 2.5 – Графічне відображення процесу зміни геометричних параметрів ріжучої кромки робочих органів з поверхневим зміцненням на i -тих стадіях зношення

Під час поверхневого зміцнення леза робочого органу зносостійкими матеріалами або поверхневим зміцненням робочої поверхні леза, на початку експлуатації кут γ , який є кутом різання дорівнює сумі кутів $\alpha + \beta$. В процесі зношення леза культиваторної лапи за такого зміцнення, утворюється затилкова фаска довжиною L_i на висоті h_i від початкового значення. При цьому кут різання становить $\gamma = \text{Const}$.

Геометричні параметри ріжучої кромки робочих органів з поверхневим зміцненням на відміну від об'ємного загартування, залежать від товщини зміцненої робочої поверхні леза δ_{i3} . Враховуючи те, що зміцнений шар зношується менш інтенсивно, ніж основний метал, прогнозується, що в процесі експлуатації на робочому органі буде утворюватися площа розташована паралельно руху робочого органу з розміром за шириною L_i . Така умова сприяє виникненню процесу самозагострювання леза. При цьому нижня площа робочого органу, що відрегульована на певну глибину обробітку ґрунту, піднімається на висоту h_i , яка дорівнює:

$$h_i = (\delta_0 - \delta_{i3} + b_i \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)) \cdot \cos \beta. \quad (2.4)$$

Це означає, що в процесі експлуатації шляхом вимірювань зношення лапи за шириною, можливо встановити висоту h_i під час зміни глибини обробітку ґрунту відповідно попередніх регулювань.

Вплив кута електроконтактного загострення α на формування кута основи (не зміцненого шару металу) α_o залежить від початкової товщини зміцнення δ_{03} , максимальної $\delta_{\max 3}$ і визначається за виразом:

$$\alpha_o = \arctg \frac{(\delta_{\max} - \delta_{\max 3} - \delta_0 + \delta_{03}) \operatorname{tg} \alpha}{\delta_{\max} - \delta_0}, \quad (2.5)$$

де $\delta_{\max}$ – максимальна товщина ріжучої кромки, що дорівнює товщині матеріалу, з якого виготовлена культиваторна лапа, мм;

$\delta_{\max 3}$ – максимальна товщина електроконтактного зміцнення, мм;

δ_0 – початкова товщина ріжучої кромки культиваторної лапи, мм;

$\delta_{0з}$ – початкова товщина електроконтактного зміцнення, мм;

α – кут загострення леза, град.

Вираз (2.5) дозволяє прогнозувати кут формування основи (не зміцненого шару металу) α_o в залежності від кута електроконтактного загострення α , початкової δ_0 і максимальної $\delta_{\max}$ товщини ріжучої кромки та максимальної товщини електроконтактного зміцнення $\delta_{\maxз}$.

Враховуючи геометричні параметри ріжучої кромки робочих органів з поверхневим зміцненням (рис. 2.5) та отриманий вираз (2.5) зміна товщини ріжучої кромки $\delta_{із}$ при поверхневому зміцненні леза описується виразом:

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

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.

Отриманий вираз (2.6) дозволяє визначати товщину зміцненого шару δ_i електроконтактним обробленням під час експлуатації в залежності від кута загострення леза α і величини лінійного зношення леза b_i (рис. 2.6)

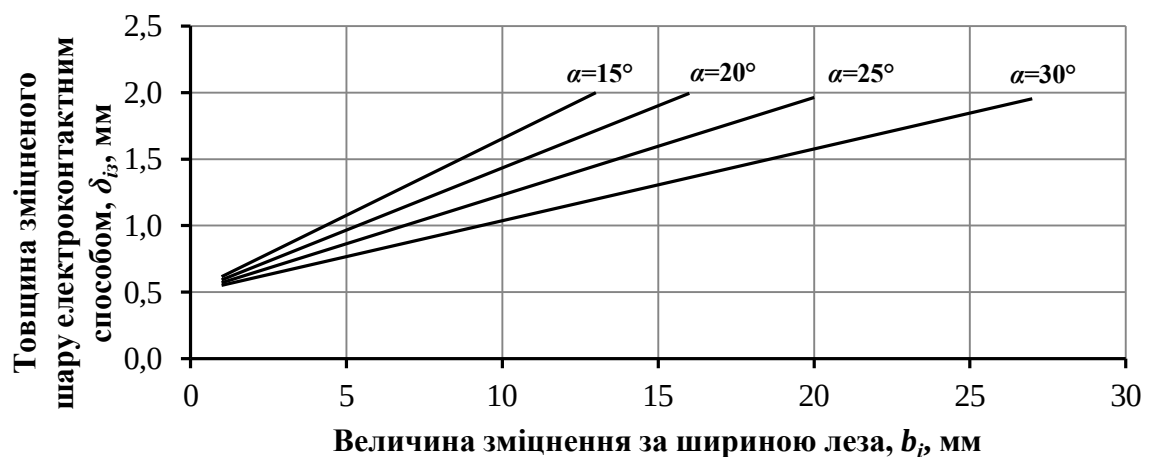


Рисунок 2.6 – Залежність товщини зміцненого шару електроконтактним обробленням від впливу величини лінійного зношення леза за шириною.

В результаті аналізу математичного виразу (2.6) і графічної інтерпретації (рис. 2.6) можна зробити висновок, що товщина зміцненого шару δ_i електроконтактним обробленням змінюється від $\delta_{03} = 0,5$ мм (на початку ріжучої кромки) до $\delta_{\max} = 2$ мм (на кінці ріжучої кромки) а інтенсивність його зміни за шириною леза залежить від кута загострення α .

2.8 Дослідження дефектів культиваторних лап, що виникають в процесі їх експлуатації

Робочі органи зберігають роботоздатний стан до тих пір, поки значення їх конструктивних параметрів забезпечують виконання функціонального призначення в допустимих межах відхилень, відповідно до вимог нормативно-технічної та конструкторської документації. Кожний робочий орган має декілька критеріїв граничного стану.

Деформація або руйнування робочих органів відбувається внаслідок недостатньої міцності деталі або при аварійному випадку (порушенні правил та умов експлуатації, наїзди на сторонні предмети і т.д.) (рис. 7). Такі робочі органи замінюються на нові і відлік наробітку ведеться з початку.

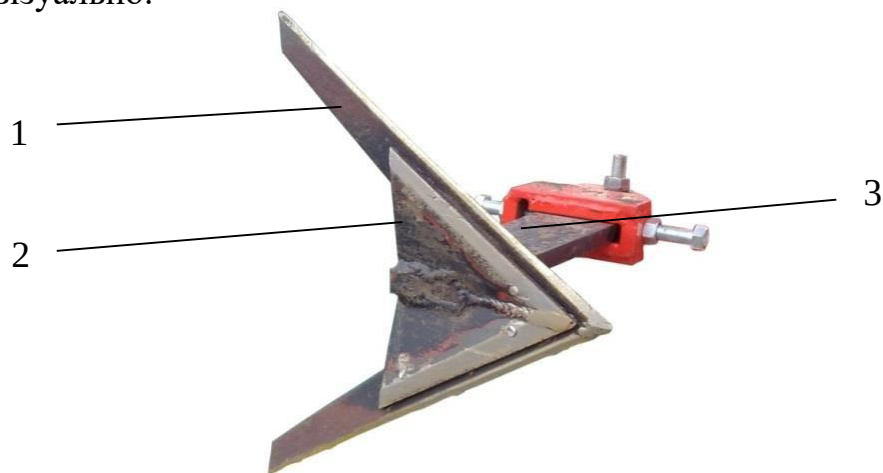


а – відлом крила культиваторної лапи КПС-270; *б* – відлом крила в місці кріплення лапи культиватора КВАНТ-12; *в* – протирання місця кріплення відновленої культиваторної лапи КПС-330

Рисунок 2.7 – Загальний вигляд деформованих (руйнованих) культиваторних лап

Ступінь підрізання кореневищ бур'янів культиваторними лапами залежить від радіусу різальної кромки леза. В свою чергу зміна цього параметру робочих органів призводить до збільшення сили опору та до перевитрат пального.

Зміна глибини обробітку ґрунту призводить до невідповідності агротехнічним вимогам та неякісного підрізання та подрібнювання рослинних решток, в тому числі і при зношенні робочих органів до величин, при яких можливий контакт з ґрунтом корпусних деталей (рис. 3.2). Такий стан оцінюється візуально.



1 – культиваторна лапа КВАНТ-12; 2 – нижня частина культиваторної стійки;
3 – стійка культиваторної лапи

Рисунок 2.8 – Загальний вигляд культиваторних лап КВАНТ-12 зношених до величин, при яких відбувається контакт з ґрунтом корпусної деталі – нижньої частини стійки

Зменшення ширини захвату при лінійному зносі деталей за довжиною та шириною призводить до виконання додаткових технологічних операцій.

Для визначення доцільності відновлення робочих органів при експлуатації їх на різних ґрунтах першочергово проводиться операція дефектування. При цьому деталі розділяються на такі, що придатні до подальшої експлуатації, придатні до ремонту (рис.2.9 б, в) та такі, що підлягають вибракуванню (рис. 2.9 а).



a – наскрізне протирання у місці кріплення (підлягає вибракуванню);

б, в – мають граничне зношення крил (придатні для відновлення)

Рисунок 2.9 – Загальний вигляд гранично зношених робочих органів з вибракувальними ознаками за шириною захвату, товщиною та шириною

Відновленню підлягають деталі, що досягли граничних меж зношення і не придатні для подальшої експлуатації за якого їх відновлення буде технічно можливим.

Дотримання цих умов експлуатування робочих органів дозволить своєчасно замінювати зношені деталі на нові або відновлені, що зведе до мінімуму відсоток вибракування зношених робочих органів та знизить витрати на придбання нових запасних частин.

2.9 Методика проведення експлуатаційних випробувань з визначення витрат пального під час експлуатації культиваторних лап, зміцнених методом технологічної конвергенції

Дослідження витрати пального при експлуатації культиваторних лап, зміцнених методом технологічної конвергенції проводили під час виконання технологічної операції «культивація на глибину 5 см» колісним трактором Fendt 936 Vario з культиватором КВАНТ– 12.



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд культиватора КВАНТ–12 загрегатованого з трактором Fendt 936 Vario

Під час проведення експериментальних досліджень з визначення витрати пального при експлуатації серійних культиваторних лап та лап, зміцнених методом технологічної конвергенції використовували трактор Fendt 936 Vario, який оснащений двигуном внутрішнього згорання потужністю 360 к.с. Робоча швидкість руху трактора Fendt 936 Vario загрегатованого з культиватором КВАНТ–12 становила 8 км/год. В процесі дослідження за допомогою бортового комп'ютера вмонтованого в трактор Fendt 936 Vario фіксували наробіток за зміну, який розподілявся на кількість культиваторних лап та питому витрату пального при цьому проводили вимірювання товщини ріжучих кромek лез культиваторних лап.

Обробка дослідних даних проводилась в програмах Microsoft Excel 2010, StatSoft STATISTICA, MathCAD V15, КОМПАС-3D V16.

2.10 Випробування культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту, зміцнених методом технологічної конвергенції

Виготовлені та зміцненні на експериментальній ділянці лабораторії культиваторні лапи з шириною захвату 420 мм (рис. 2.11) проходили випробування в польових умовах.



Рисунок 2.11 – Загальний вигляд комплекту виготовлених робочих органів і зміцнених стрічастих лап до культиватора КВАНТ-12

Виготовлені та зміцненні культиваторні лапи були встановлені на культиватор з шириною захвату 12 м, (рис. 2.12).

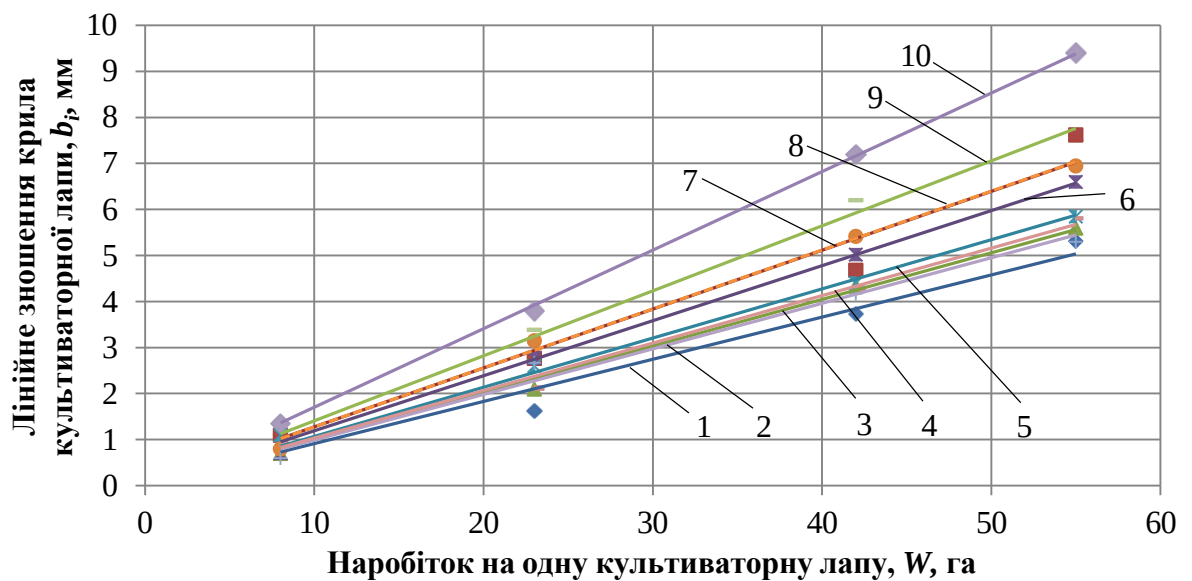


Рисунок 2.12 – Культиватор КВАНТ-12, укомплектований виготовленими і зміцненими робочими органами для проведення випробувань в польових умовах



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд лап культиватора КВАНТ-12 після наробітку 55 га на один робочий орган

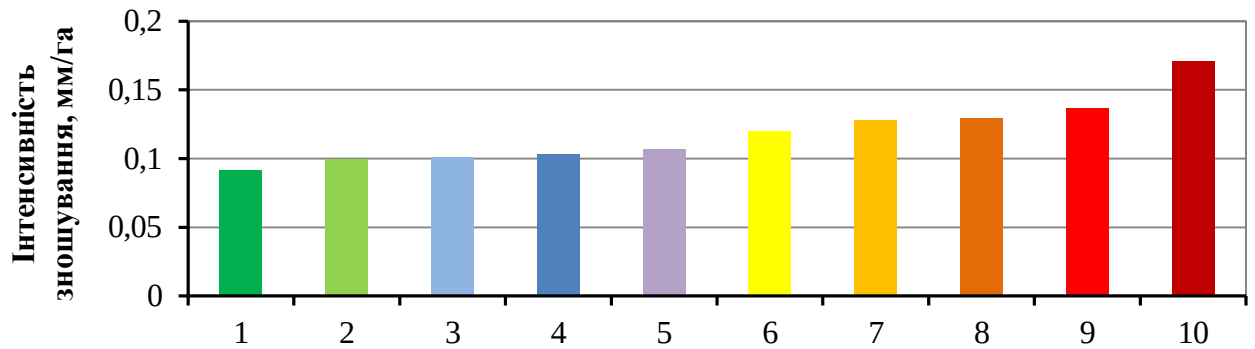
Для визначення зміни лінійного зношення за шириною леза в залежності від зміцнення різними порошковими матеріалами, після виробничих випробувань були відібрані експериментальні культиваторні лапи з наробітком 8, 23, 42, 55 га (рис. 2.14).



- 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 - Серійні культиваторні лапи.

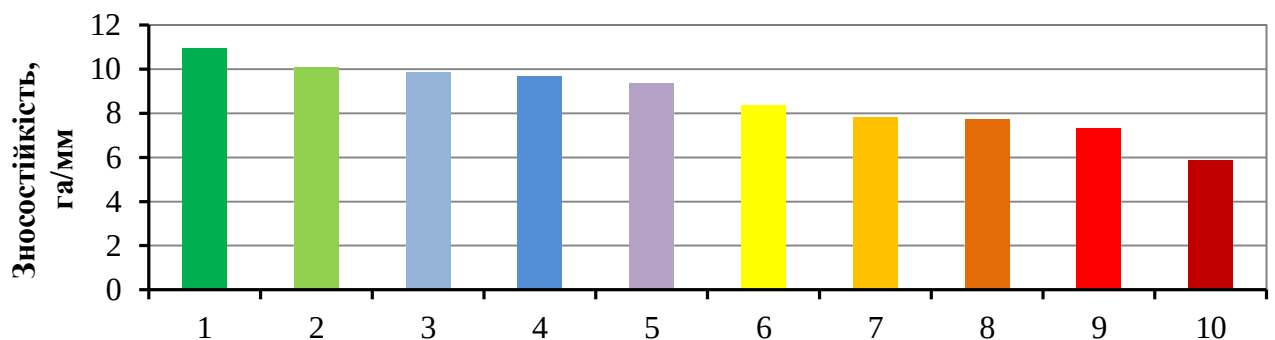
Рисунок 2.14 – Залежність лінійного зношення лез від наробітку лап культиватора КВАНТ-12

З рис. 14 видно, що за наробітку 55 га на один робочий орган культиватора лінійне зношення лез зміцненого порошковим матеріалом ПС-12НВК-01 та електродом Т-590 становить 5,3 мм і має більші ресурсні показники на 43,6% ніж лоп зміцнених електроконтактним способом.



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 - Серійні культиваторні лапи.

Рисунок 2.15 – Залежність інтенсивності зношування лез культиваторних лоп зміцнених методом 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 - Серійні культиваторні лапи.

Рисунок 2.16 – Залежність зносостійкості лез культиваторних лоп зміцнених методом технологічної конвергенції з використанням різних порошкових матеріалів

Встановлено, що найкращі результати зносостійкості показав матеріал ПС-12НВК-01 наплавлений електродом Т-590 Ø5х450 мм (рис. 2.16) і описується наступною залежністю:

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

де b_i – величина лінійного зношення леза культиваторної лапи, мм;

W – наробіток на одну лапу культиватора, га.

Результати проведених лабораторних досліджень зношування маси зміцнених і серійних лап показали, що за наробітку зміцнених лап 55 га, середня маса зношення становить 436 г, що на 40,3 % менше ніж серійних лап (рис. 7).

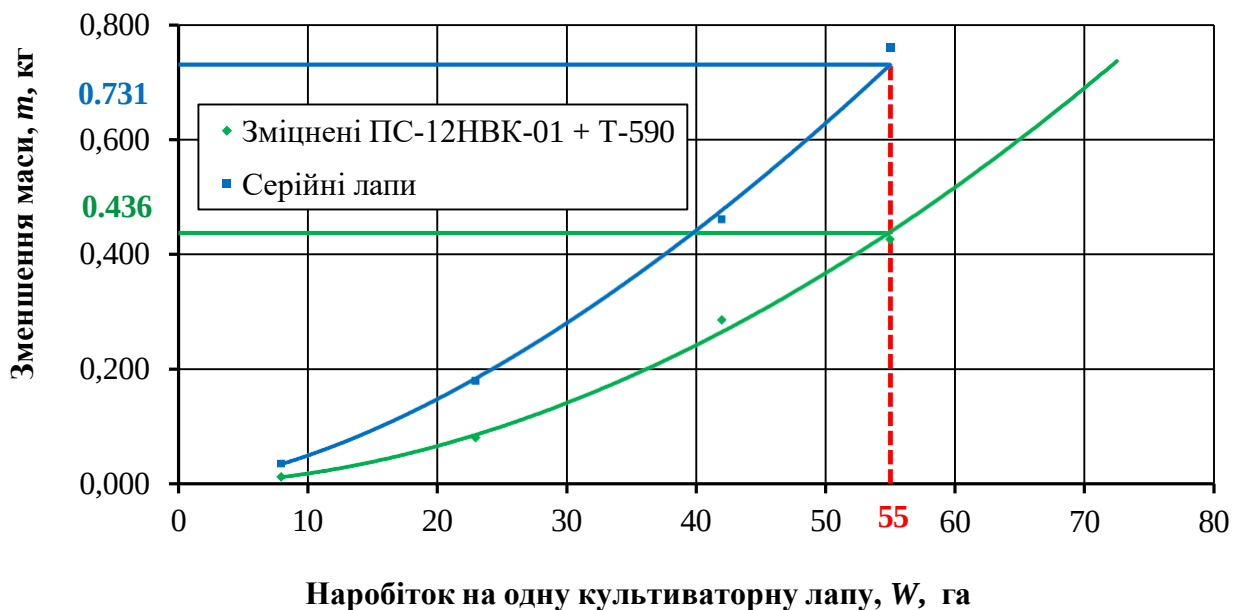


Рисунок 2.17 – Залежність зменшення маси лап культиватора КВАНТ-12 від їх наробітку

Після обробки отриманих результатів лабораторно-польових випробувань лап культиватора КВАНТ-12 отримали математичні моделі процесу вагового зношення серійних m_c і зміцнених m_z лап в залежності від наробітку W :

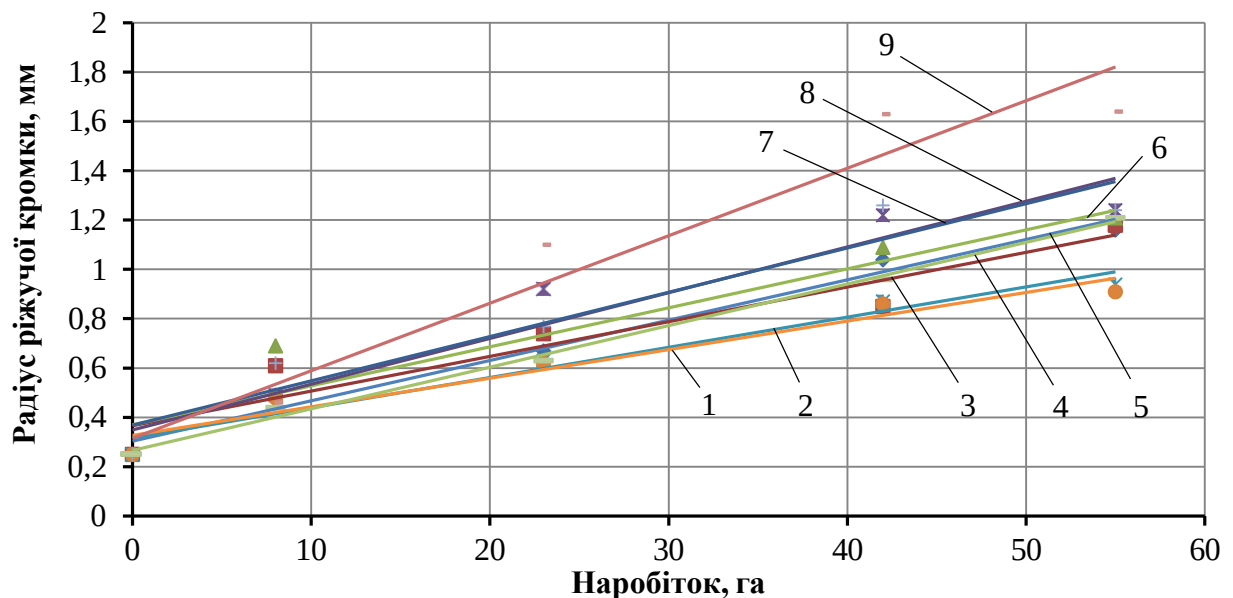
$$m_c = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot W^{1.58} \quad (4.2)$$

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

де m_c , m_z – відповідно вага зношеного матеріалу серійних і зміцнених культиваторних лап, кг;

W – наробіток на одну лапу культиватора, га.

Радіус ріжучої кромки є одним із основних параметрів культиваторних лап, який впливає на витрату пального під час виконання технологічних операцій з обробки ґрунту. В процесі експлуатаційних випробувань визначали вплив зносостійких порошків на зміну радіуса різальної кромки (рис. 2.18). Для забезпечення достовірності експериментальних даних культиваторні лапи експлуатувались весь період 55 га без додаткового загострення.



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

Рисунок 2.18 – Залежність зміни радіуса ріжучої кромки лапи від наробітку

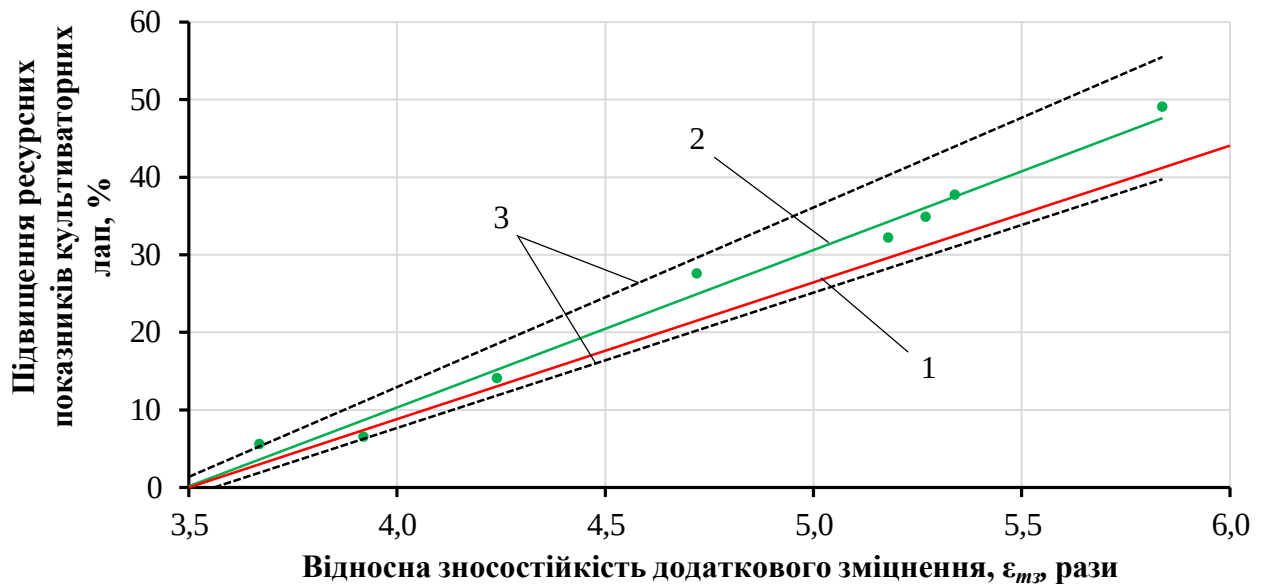
В результаті випробувань встановлено, що серійні лапи мають значне збільшення радіусу різальної кромки до 1,64 мм. При цьому найкращі результати показали лапи, зміцнені порошком ПС-12НВК-01 з використанням електроду Т-590 - 0,91 мм, що на 44% менше ніж серійні.

За результатами прискорених випробувань на абразивне зношування додаткового зміцнення лез культиваторних лап різними порошковими матеріалами та наплавлення їх різними електродами встановлено відносну зносостійкість цих матеріалів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Відносна зносостійкість додаткового зміцнення в залежності від використання порошкових матеріалів

№ п/п	Марка порошкового матеріалу	Марка електрода яким проводили наплавлення порошкового матеріалу	Середня вага зношення покриття після 10 хв. випробування на абразивне зношування, г	Відносна зносостійкість
1	ПС-12НВК-01	Т-590	0,00262	5,04
2	ПС-12НВК-01	Графітовий	0,00311	4,24
3	ПГ-10К-01	Т-590	0,00247	5,34
4	ПГ-10К-01	Графітовий	0,00255	5,18
5	ФХБ-1	Т-590	0,00250	5,27
6	ФХБ-1	Графітовий	0,00337	3,92
7	Сормайт	Т-590	0,00280	4,72
8	Сормайт	Графітовий	0,00360	3,67
9	Електроерозійна обробка	Т-590	0,00294	4,49
10	Електроерозійна обробка	-	0,00379	3,48
11	Еталон – Сталь 65Г		0,01320	1,00

Результати перевірки адекватності теоретичних моделей з прогнозування ресурсних показників культиваторних лап експериментальним даним приведено на графіку з ймовірністю довіри 95 % (рис. 2.19).



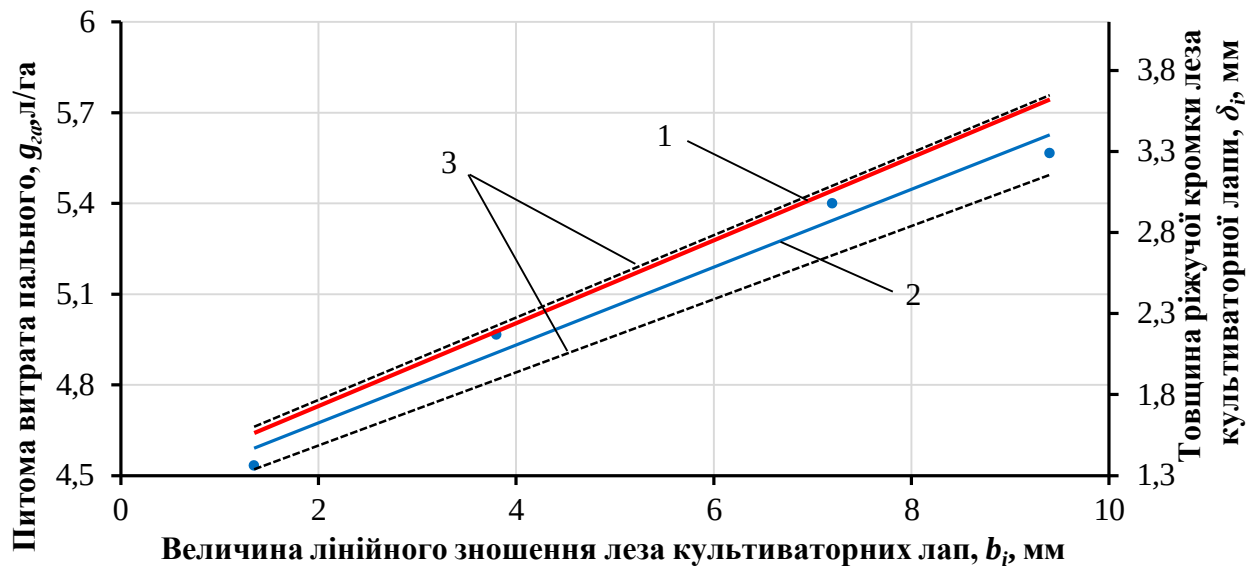
1 – теоретичні дані; 2 – експериментальні дані; 3 – інтервали довіри

Рисунок 2.19 – Вплив відносної зносостійкості точкового зміцнення на підвищення ресурсних показників культиваторних лап

2.11 Залежність витрати пального при експлуатації культиваторних лап, зміцнених методом технологічної конвергенції

За результатами експериментальних досліджень з визначення витрат пального при експлуатації серійних культиваторних лап та лап, зміцнених методом технологічної конвергенції при виконанні технологічної операції – культивація на глибину 5 см, за допомогою колісного трактора Fendt 936 Vario укомплектованого культиватором КВАНТ–12 представлено графічну модель зміни витрат пального при експлуатації культиваторних лап серійного виробництва і лап, зміцнених методом технологічної конвергенції. Результати перевірки адекватності отриманих теоретичних моделей з визначення витрат

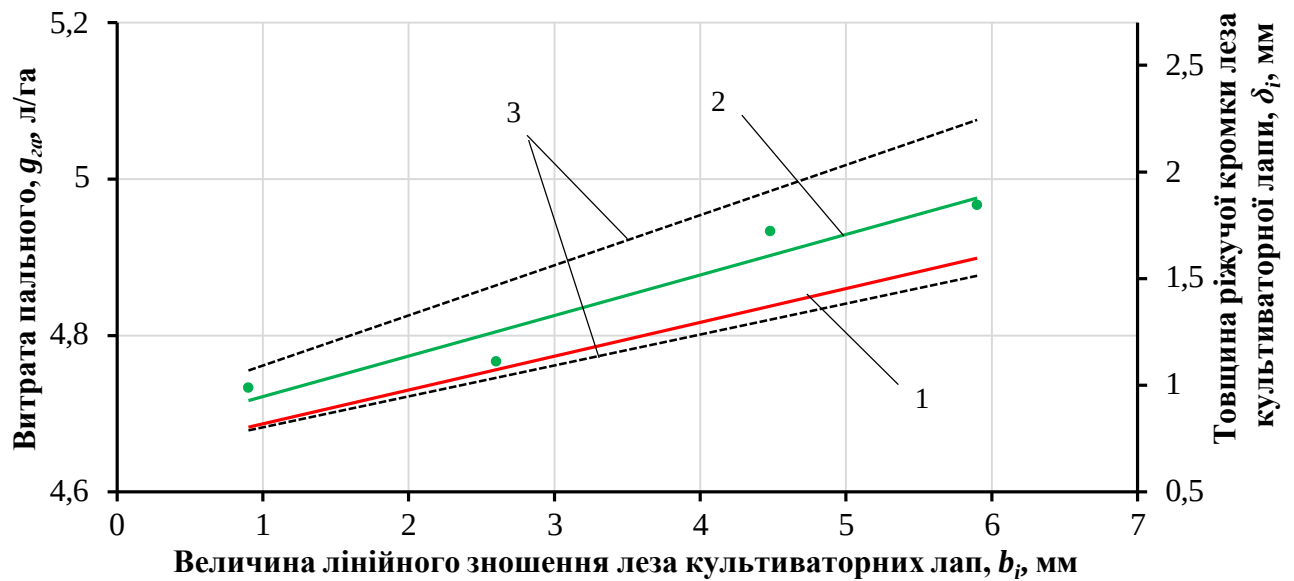
пального із експериментальними даними враховуючи інтервалами довіри з ймовірністю довіри 95 % приведено на графіках (рис.2.20,2.21).



1 – теоретичні дані; 2 – експериментальні дані; 3 – інтервали довіри

Рисунок 2.20 – Залежність питомих витрат пального та товщини ріжучої кромки від величини лінійного зношення серійних культиваторних лап при експлуатації МТА – Fendt 936 Vario + Horsh Агросоюз FG–11.30

За результатами проведених експериментальних досліджень з визначення витрати пального від величини зношення лез серійних культиваторних лап та їх інтервалу довіри встановлено, що експериментальні дані підтверджують теоретичні припущення щодо збільшення товщини ріжучої кромки культиваторних лап в процесі їх експлуатації, що призводить до збільшення витрат пального. При експлуатації серійних культиваторних лап з наробітком 55 га на один робочий орган їх лінійне зношення за шириною леза становить 9,4 мм (рис. 4.14) при цьому питома витрата пального становить 5,6 л/га, що на 27,3 % більше від початкових умов. Середній показник питомої витрати пального за період експлуатації 55 га серійних культиваторних лап становить 5,0 л/га.



1 – теоретичні дані; 2 – експериментальні дані; 3 – інтервали довіри

Рисунок 4.15 – Залежність питомих витрат пального та товщини ріжучої кромки від величини лінійного зношення культиваторних лап зміцнених методом технологічної конвергенції при експлуатації МТА – Fendt 936 Vario + КВАНТ–12

За експлуатації культиваторних лап зміцнених методом технологічної конвергенції з використанням порошкових матеріалів та наробітку 55 га на один робочий орган (рис. 2.21). витрата палива становить 4,9 л/га, що на 5,0 % більше від початкових умов, при цьому середній показник питомої витрати пального становить 4,8 л/га.

В результаті аналізу отриманих експериментальних даних (рис. 2.20,2.21) встановлено, що за однакових експлуатаційних умов та наробітку культиваторних лап 55 га витрата пального при використанні лап зміцнених методом технологічної конвергенції на 4 % менше ніж за використання серійних лап.

Перевірка на адекватність отриманих теоретичних моделей експериментальним даним показала, що теоретичні дані знаходяться в довірчому інтервалі експериментальних даних

Висновки за розділом

1. В результаті аналізу процесів абразивного зношування лез культиваторних лап з різними варіантами зміцнення встановлено взаємозв'язок між лінійним зношенням леза та зміною товщини його ріжучої кромки в процесі експлуатації.

2. Теоретично обґрунтовано вплив товщини ріжучої кромки культиваторної лапи на зміну сили опору культиватора та встановлено, що збільшення товщини ріжучої кромки культиваторної лапи з 0,5 мм до 4 мм призводить до зростання сили опору культиватора на 29,6%.

3. За результатами експериментальних випробувань культиваторних лап серійного виробництва встановлено, що основними дефектами лап є затуплення ріжучих кромки – 72,7%, зношення носка лапи за довжиною – 63,7%, зношення леза за шириною – 36,3%, деформація і руйнування – 9,0% це дозволило обґрунтувати зони зміцнення робочих поверхонь культиваторних лап та застосування поверхневого зміцнення носків та лез, що дозволить підвищити зносостійкість цих поверхонь і, як наслідок, культиваторних лап в цілому.

1. В результаті польових випробувань встановлено, що за наробітку 55 га радіус заокруглення ріжучої кромки культиваторних лап з точковим зміцненням порошковим матеріалом ПС–12НВК–01 з використанням електроду Т-590 становить 0,9 мм і на 44% менше, ніж серійних лап.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

В умовах спеціалізації і концентрації сільськогосподарського виробництва на базі міжгосподарської кооперації й агропромислової інтеграції зростає насиченість села різними машинами і разом з тим стає ще більш важливою гарна підготовка сільських трудівників в галузі техніки безпеки і виробничої санітарії.

3.1 Організація умов та заходів з охорони праці в господарстві

Для створення на робочому місці в кожному структурному підрозділі умов праці відповідно до нормативноправових актів, а також забезпечення додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці роботодавець забезпечує функціонування СУОП – частини загальної системи управління організацією, яка сприяє запобіганню нещасним випадкам та професійним захворюванням на виробництві і включає в себе комплекс правових, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних, соціальноекономічних та лікувально-профілактичних заходів для збереження життя, здоров'я та працездатності найманих працівників

СУОП підприємства складається з суб'єкта та об'єкта управління, що інформативно зв'язані між собою, а також, заходів і засобів.

Основні принципи політики у сфері охорони праці До них відносять:

- органічне поєднання з усіма елементами діяльності підприємства;
- визначення загальних завдань та зобов'язань керівництва щодо постійного покращення охорони праці, сприяння формуванню громадських органів, інформування працівників про умови праці;
- формування на основі комплексної оцінки рівня небезпеки виробничих об'єктів;
- відповідність характеру та масштабу ризиків;
- документальне оформлення, доведення до усіх працівників та коригування при змінах у виробничому процесі.

3.2 Аналіз умов та заходів з охорони праці під час роботи грунтообробними машинами

Обробіток ґрунту проводиться колісними і гусеничними тракторами класу 20-30 кН. Виконуючи ці роботи дозволяється трактористам-машиністам, які мають категорію "А" і "В" з талонами попередження та пройшли інструктаж вимог безпеки і не мають медичних протипоказань. Трактористи повинні бути забезпечені спецодягом: костюм з пилонепроникної тканини, рукавиці комбіновані, окуляри захисні. Технічний стан тракторів, сільськогосподарських машин повинен відповідати вимогам інструкції. Під час роботи, переїзду не дозволяється перебувати на тракторах стороннім особам. Тракторист повинен бути навчений прийомам надання долі карської допомоги. На кожному тракторі має бути невеличка аптечка.

Вимоги безпеки до початку роботи

Одягти спецодяг, акуратно його заправити, щоб не було звисаючих кінців. При під'єднанні трактора до причіпної машини людям треба відійти від техніки на відстань не менш як 1,5 м. З'єднання проводити при повній зупинці трактора.

Перед початком запускання двигуна трактора перевірити положення важелів переключення передач та справність блокуючого пристрою.

Починати роботу тільки після ретельної перевірки справності всього агрегату. При запуску пускачем не дозволяється намотувати мотузку на руку.

Перед початком руху трактора з місця необхідно переконатися, що це нікому не загрожує, подати попереджувачий сигнал. Особливо бути обережним при навішуванні на трактор навісних машин.

Вимоги безпеки під час роботи

При підйманні та опусканні навісного знаряддя, а також при поворотах треба переконатися, що ці дії не створюють небезпеки для інших працівників. Під час руху агрегату сідати, сходити з нього не дозволяється.

Забороняється перебувати під піднятим навісним знаряддям при регулюванні та усуненні неполадок. Не дозволяється залишати навісне знаряддя у піднятому положенні при довгочасних зупинках трактора.

На причіпних знаряддях не дозволяється встановлювати допоміжні сидіння, якщо вони не передбачені заводом-виготівачем. При роботі у нічний час трактор повинен мати справне освітлення.

Заходи безпеки в аварійних ситуаціях

При несправності агрегату негайно його треба зупинити. Якщо стався нещасний випадок, повідомити адміністрацію. Потерпілому надати першу долікарську допомогу. Місце нещасного випадку зберегти без змін до повного розслідування.

Вимоги безпеки після закінчення робіт

Вигнати агрегат із загінки і, по затвердженім у господарстві маршрутам руху, поставити його на місце стоянки. Заглушити двигун, загальмувати трактор, у холодний період року злити воду і впевнитись, що вона повністю витекла з системи охолодження. Очистити агрегат від бруду, пилу, рослинних решток. Оглянути та усунути виявлені недоліки. Зняти одяг, вмитися, по можливості прийняти душ.

3.3 Висновки по розділу

Розроблено організацію умов та заходів з охорони праці в господарстві для працівників при виконанні робіт . Вивчено методику моделювання процесів при роботі дисковими ґрунтообробними машинами, виникнення небезпечних ситуацій, а саме змодельовано процесу виникнення травми при роботі з експериментальною установкою. Проведений аналіз з вимог безпеки ґрунтообробними машинами.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

4.3 Економічний ефект від підвищення довговічності культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту та зменшенню витрат пального завдяки їх зміцненню методом технологічної конвергенції

Економічний ефект від впровадження технології відновлення і зміцнення культиваторних лап досягається за рахунок збільшення ресурсу культиваторних лап на 40,3 % у порівнянні з серійними та зниження витрат паливно-мастильних матеріалів за виконання технологічних операцій обробітку ґрунту. Підвищення ресурсу культиваторних лап зумовлює зменшення тривалості простоїв агрегатів для заміни робочих органів. Розрахунок собівартості зміцнення культиваторних лап за розробленою технологією представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок собівартості зміцнення лап

№ п\п	Найменування	Показник
1	2	3
1 Розрахунок затрат на матеріали для зміцнення культиваторної лапи		
1.1	Кількість точкового зміцнення на культиваторній лапі, шт	20
1.2	Маса порошкового матеріала ПС-12НВК-01 для наплавлення однієї точки, г	2,5
1.3	Маса електрода Т-590 для наплавлення однієї точки, г	3,4
1.4	Ціна порошкового матеріала ПС-12НВК-01, грн/кг	750
1.5	Ціна електродів Т-590, грн/кг	110
1.6	Загальна вартість матеріалів для зміцнення культиваторної лапи, грн.	44,93
1.4	Ціна порошкового матеріала ПС-12НВК-01, грн/кг	750
1.5	Ціна електродів Т-590, грн/кг	110

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
1.6	Загальна вартість матеріалів для зміцнення культиваторної лапи, грн.	44,93
2 Розрахунок затрат на оплату заробітної плати		
2.1	Тривалість наплавлення точкового зміцнення, с	5
2.2	Тривалість підготовчих робіт для наплавлення точкового зміцнення, с	10
2.3	Тривалість зважування порошкових матеріалів для наплавлення точкового зміцнення, с	15
2.4	Питомі витрати заробітної плати зварювальника, грн/лапу	18,94
2.5	Нарахування на заробітну плату, грн	4,17
2.6	Накладні витрати, грн	11,36
2.7	Загальні витрати на заробітну плату для зміцнення однієї культиваторної лапи, грн	34,47
3 Затрати на експлуатацію обладнання і оренду приміщення		
3.1	Ціна зварювального обладнання Патон ВДИ-315S DC, грн	13000
3.2	Норма амортизаційних відрахувань	0,15
3.3	Кількість зміцнених культиваторних лап за рік, шт.	10656
3.4	Річні витрати на експлуатацію зварювального обладнання, грн	1950
3.5	Річні витрати на оренду приміщення, грн	16200
3.6	Питомі витрати на експлуатацію обладнання та оренду приміщення на одну лапу, грн	1,7
4 Затрати на електроенергію		
4.1	Споживана потужність зварювального обладнання, кВт/год	13
4.2	Вартість електричної енергії для промислових споживачів, грн./кВт	2,79
4.3	Час зміцнення однієї культиваторної лапи, год	0,028
4.4	Витрати на електроенергію на одну лапу, грн	1,01
5	Собівартість зміцнення однієї культиваторної лапи, грн	82,11

Для розрахунку економічного ефекту від впровадження запропонованої технології зміцнення взято з площею ріллі 7360 га. Основними ґрунтами є чорноземи типові глибокі середньосуглинкові.

Річний економічний ефект від використання зміцнених методом технологічної конвергенції лап культиватора КВАНТ-12 в представлено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Економічний ефект від зміцнення лап для культиватора КВАНТ-12

№ п/п	Найменування	Зміцнена культиваторна лапа	Нова культиваторна лапа серійного виробництва
1	2	3	4
1 Визначення економічного ефекту від збільшення ресурсних показників			
1.1	Загальна вартість культиваторної лапи, грн	382,11	300
1.2	Кількість лап на культиваторі КВАНТ-12, шт	38	
1.3	Ресурс культиваторної лапи, га	55	40
1.4	Площа розораність сільськогосподарських угідь становить, га	7360	
1.5	Кількість замін лап на культиваторі КВАНТ-12, разів	3,5	4,8
1.6	Кількість лап за рік	134	184
1.7	Економічний ефект від підвищення ресурсу, грн	4618,68	-
2 Економічний ефект від зменшення витрат на пальне			
2.4	Середня витрата пального, л/га	4,8	5,0
2.4	Витрата на пальне за весь період експлуатації культиваторних лап, грн	1083456	1128600
2.5	Економічний ефект від зменшення витрат пального, грн	45144	-
3	Річний економічний ефект від зміцнення культиваторних лап, грн	49762,69	-
4	Економічний ефект від зміцнення на одну культиваторну лапу, грн	371,36	-

Річний економічний ефект від використання зміцнених методом технологічної конвергенції лап культиватора КВАНТ-12 становить 49762,7 грн.

4.4 Висновки за розділом

1. Позитивний економічний ефект запропонованої технології зміцнення культиваторних лап підтверджує доцільність її застосування при виготовленні, відновленні і зміцненні культиваторних лап.

2. Річний економічний ефект від використання зміцнених методом технологічної конвергенції лап культиватора КВАНТ-12 на площі ріллі 7360 га становить 49762,7 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Зношування робочих поверхонь культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту у процесі експлуатації впливає на зміну товщину ріжучої кромки леза. Із збільшенням наробітку товщина ріжучої кромки збільшується, за рахунок цього відбувається збільшення сили опору до значень, які призводять до перевитрат пального. Тому визначальним чинником зменшення сили опору робочого органу є стан ріжучої кромки, який є більш значимим, ніж стан інших робочих поверхонь.

Теоретично обґрунтовано вплив товщини ріжучої кромки культиваторної лапи на зміну сили опору культиватора та встановлено, що збільшення товщини ріжучої кромки культиваторної лапи з 0,5 мм до 4 мм призводить до зростання сили опору культиватора на 29,6%.

За результатами теоретичних досліджень встановлено, що за поверхневого зміцнення культиваторних лап і лінійного зношення ширини леза на 15 мм, сила опору культиватора КВАНТ–12 становитиме близько 81 кН, що на 18,7 % менше, ніж за використання лап з об'ємним зміцненням.

Отримано математичні вирази для прогнозування та порівняння витрат пального на виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту залежно від способу зміцнення леза. В результаті встановлено, що за експлуатації культиватора з лапами, робоча поверхня яких зміцнена за технологічною конвергенцією, витрати пального зменшуються на 10,9 %, при цьому середня витрата пального під час експлуатації культиваторних лап з поверхневим зміцненням становить 4,9 л/га, а об'ємно загартованих 5,5 л/га.

Річний економічний ефект від використання зміцнених методом технологічної конвергенції лап культиватора КВАНТ-12, на площі ріллі 7360 га становить 49762,7 грн.

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.