

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Порівняльна характеристика ресурсу робочих органів плугів»

Виконав: студент VI курсу групи Аін-61

Спеціальності 208 «Агроінженерія»
(шифр і назва)

Роман ЛІТОВЧУК
(Ім'я та прізвище)

Керівник: д.ф., доцент Оксана БЕРЕЗОВЕЦЬКА
(Ім'я та прізвище)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
 КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
 ІМ. ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

Освітній Ступінь «Магістр»
 Спеціальність 208 «Агроінженерія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Завідувач кафедри
агроінженерії та технічного сервісу
ім. Олександра Семковича

 (підпис)

к.т.н., доцент Андрій ШАРИБУРА
 “ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Роману Анатолійовичу ЛІТОВЧУКУ

1. Тема роботи: «Порівняльна характеристика ресурсу робочих органів плугів»
 Керівник роботи: Березовецька Оксана Георгіївна, д. ф., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджена наказом по університету від «28» лютого 2025 р. №140/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.12.2025 року

3. Вихідні дані до роботи: агротехнічні вимоги, нормативно-довідкова література і стандарти з експлуатації та випробувань ґрунтообробних машин, каталоги, каталоги та технічна документація виробників плугів і запасних частин, технічні характеристики орного машинно-тракторного агрегату, методики лабораторно-польових випробувань, інструкції з охорони праці.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

4.1. Стан питання і завдання досліджень

4.2. Обґрунтування експлуатаційних характеристик орного МТА

4.3. Результати експериментальних досліджень зносу та ресурсу робочих органів плугів

4.4. Техніко-економічна оцінка

4.5. Охорона праці та захист довкілля

Висновки і пропозиції

5. Перелік графічного ілюстраційного матеріалу:

Графічна частина до кваліфікаційної роботи оформляється у вигляді презентації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 4	<i>Березовецька О.Г., д.ф., доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича</i>			
5	<i>Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва</i>			

7. Дата видачі завдання «28» лютого 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	<i>Стан питання і завдання досліджень</i>	22.02.25-22.04.25	
2	<i>Обґрунтування техніко-технологічних експлуатаційних характеристик орного МТА</i>	23.04.25-23.06.25	
3	<i>Результати експериментальних досліджень зносу та ресурсу робочих органів плугів</i>	24.06.25-24.08.25	
4	<i>Техніко-економічна оцінка</i>	29.08.25-31.10.25	
5	<i>Охорона праці та захист довкілля</i>	09.11.25-20.11.25	
6	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	23.11.25-27.11.25	
7	<i>Оформлення графічної частини</i>	30.12.25-10.12.25	

Студент _____ Роман ЛІТОВЧУК
(підпис)

Керівник роботи _____ Оксана БЕРЕЗОВЕЦЬКА
(підпис)

УДК 631.312:631.3:620.178

Порівняльна характеристика ресурсу робочих органів плугів. Літовчук Р. А. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича. Дубляни, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025.

59 с. текст. част., 18 рис., 5 табл., 17 літературних джерел.

У кваліфікаційній роботі виконано порівняльну характеристику ресурсу робочих органів плугів з урахуванням їх конструктивного виконання, матеріалу та умов експлуатації в складі орного машинно-тракторного агрегату. У процесі досліджень експериментально визначено інтенсивність лінійного зношування лемешів, полиць і польових дощок у функції напруцювання, проведено тензометричні вимірювання тягового опору та проаналізовано зміну силового режиму роботи плуга залежно від стану робочих поверхонь. На основі лабораторно-польових випробувань встановлено взаємозв'язок між тяговим опором, силовими навантаженнями і довговічністю плужних корпусів.

У роботі проведено техніко-економічну оцінку ефективності підвищення ресурсу робочих органів, яка показала зниження експлуатаційних витрат, скорочення простоїв та стабілізацію енергетичних показників процесу оранки. У розділі з охорони праці та захисту довкілля проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі чинники і обґрунтовано заходи щодо зменшення шуму, вібрації, запиленості та негативного впливу на ґрунтове середовище. Отримані результати мають практичне значення для агроінженерії та можуть бути використані для удосконалення конструкцій плугів і підвищення ефективності їх експлуатації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1. Головні вимоги до проведення основного обробітку ґрунту	9
1.2. Конструкції робочих органів плугів та умови їх зношування.....	12
1.3. Методи підвищення зносостійкості робочих органів плугів.....	13
1.4. Аналіз існуючих досліджень ресурсу робочих органів плугів.....	15
Висновок до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРНОГО МТА	18
2.1. Техніко - технологічні умови експлуатації орного машинно-тракторного агрегату.....	18
2.2. Методика експериментального дослідження орного МТА	25
2.3. Методика визначення зносу та ресурсу робочих органів плугів	28
Висновки до розділу 2	29
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОСУ ТА РЕСУРСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ	31
3.1. Лабораторно-польові випробування запропонованої розробки.....	31
3.2. Результати тензометричних вимірювань тягового опору плуга	39
3.3. Вплив матеріалу робочих органів на показники зносу та ресурс	41
Висновки до розділу 3	43
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА	45
4.1 Доцільність застосування композитних робочих органів плугів.....	45
4.2. Прогнозний розрахунок ресурсу лемешів плуга	46
4.3. Економічний ефект від застосування текронових лемешів	47
Висновки до розділу 4	49

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	50
5.1. Загальні положення та небезпечні/шкідливі виробничі чинники	50
5.2. Вимоги безпеки під час підготовки, агрегування та регулювання плуга	51
5.3. Безпека під час проведення тензометричних вимірювань та роботи з електрообладнанням	52
5.4. Вимоги до мікроклімату, пилу, шуму та засобів індивідуального захисту	52
5.5. Пожежна безпека та поводження з ПММ.....	53
5.6. Заходи захисту довкілля під час оранки та експлуатації плугів	54
Висновки до розділу 5	55
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	58

ВСТУП

Актуальність досліджень. Сучасне сільськогосподарське виробництво України перебуває в умовах зростаючого техногенного навантаження, інтенсифікації технологічних процесів та постійного підвищення вимог до надійності і довговічності сільськогосподарських машин. Особливо важливе місце у структурі ґрунтообробного комплексу займають плуги, ефективність роботи яких значною мірою визначається ресурсом та зносостійкістю їхніх робочих органів. В умовах різкої мінливості ґрунтово-кліматичних умов, зростання частки важких механізованих агрегатів, підвищення швидкостей обробітку та використання агресивних середовищ (мінеральні добрива, волога, абразивні включення ґрунту) спостерігається інтенсивне спрацювання лемішів, полиць, стояків та інших елементів плужних корпусів. Передчасний вихід з ладу робочих органів плугів призводить до зниження якості оранки, зростання витрат пального, підвищення тягового опору та збільшення експлуатаційних витрат.

Для агроінженерії особливо актуальним є завдання обґрунтованого вибору матеріалів, технологій відновлення та зміцнення робочих органів плугів, а також оцінювання їх ресурсу за реальних умов експлуатації. Саме тому дослідження, спрямовані на порівняльну характеристику довговічності робочих органів плугів різних конструкцій та матеріального виконання, мають важливе прикладне значення для підвищення ефективності ґрунтообробних процесів, зниження собівартості польових робіт і ресурсозбереження в аграрному виробництві.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є порівняльна оцінка ресурсу робочих органів плугів різних конструктивних рішень і матеріального виконання з обґрунтуванням шляхів підвищення їх зносостійкості та експлуатаційної надійності в умовах реального сільськогосподарського виробництва.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі завдання: провести аналіз сучасних конструкцій

плужних робочих органів та умов їх експлуатації в агроекосистемах України; дослідити вплив властивостей ґрунту, абразивного середовища та навантажень на інтенсивність зношування робочих органів плугів; здійснити порівняльну оцінку ресурсу лемішів та інших елементів плужних корпусів, виготовлених з різних матеріалів або з використанням зміцнювальних технологій; експериментально визначити показники довговічності та зносостійкості робочих органів плугів; обґрунтувати технічні рекомендації щодо підвищення ресурсу робочих органів плугів у виробничих умовах.

Об'єкт досліджень. Робочі органи плугів, що застосовуються для основного обробітку ґрунту.

Предмет досліджень. Процеси зношування, довговічності та втрати працездатності робочих органів плугів під дією механічних і абразивних навантажень.

Методи дослідження. У роботі використано лабораторні та виробничі методи досліджень, стандартні методики оцінювання зносу та довговічності деталей, методи статистичної обробки експериментальних даних, а також елементи комп'ютерного моделювання.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати досліджень можуть бути використані в умовах сільськогосподарського виробництва для вибору плугів із підвищеним ресурсом робочих органів, удосконалення технологій їх експлуатації, відновлення та зміцнення, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців з агроінженерії та технічного сервісу.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Головні вимоги до проведення основного обробітку ґрунту

Розвиток сучасного аграрного виробництва супроводжується активним упровадженням засобів механізації, підвищенням енергонасиченості машинно-тракторного парку, що забезпечує зростання продуктивності польових робіт. Водночас важливою складовою технічного переоснащення сільськогосподарських підприємств є застосування ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють зменшити витрати пального, скоротити непродуктивні енерговитрати та підвищити ефективність використання технічних засобів.

Знаряддя для обробітку ґрунту за своїм функціональним призначенням виконують різні технологічні операції, які безпосередньо впливають на фізичні властивості орного шару, водно-повітряний режим, структурно-агрегатний стан та рівень забур'яненості поля. Від правильного вибору типу знаряддя, режимів його роботи та технічного стану робочих органів значною мірою залежить урожайність сільськогосподарських культур [1].

Основний обробіток ґрунту, зокрема оранка, залишається одним із найважливіших і найпоширеніших способів підготовки поля під посів. У багатьох ґрунтово-кліматичних зонах України саме оранка забезпечує ефективне загортання рослинних решток, знищення бур'янів, поліпшення повітряно-водного режиму та створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин. Залежно від глибини, основний обробіток ґрунту поділяють на неглибокий, середній та глибокий, що визначається біологічними особливостями культури, станом ґрунту та технологією вирощування. У сучасних умовах господарювання вимоги до основного обробітку ґрунту значно посилюються. Він повинен забезпечувати оптимальну глибину розпушування, мінімальні енергетичні витрати, рівномірність обробленого шару та стійкий агрофізичний стан ґрунту

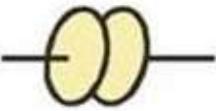
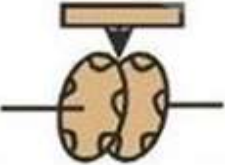
протягом усього вегетаційного періоду. Особливого значення набуває також зменшення негативного впливу важких ґрунтообробних агрегатів на стан орного шару, зокрема запобігання надмірному ущільненню та руйнуванню ґрунтової структури [1].

Для різних груп культур встановлені оптимальні глибини основного обробітку. Так, для зернових культур вона, як правило, становить 20 ... 22 см, для зернобобових та круп'яних – 23 ... 25 см, для кукурудзи та соняшника – 25...27 см, а для коренеплодів – до 28 ... 30 см. Відхилення від цих параметрів, особливо надмірне зменшення глибини, у ряді випадків призводить до погіршення умов накопичення ґрунтової вологи, зниження водопроникності орного шару та, як наслідок, до втрат урожаю [2].

Разом з тим у сучасному землеробстві дедалі ширше застосовуються елементи мінімізації обробітку ґрунту. Прихильники мілкового обробітку вказують на його енергетичну доцільність та зниження витрат на виконання технологічних операцій. Проте в умовах підвищених механічних навантажень та складного абразивного середовища зростають вимоги до надійності та ресурсу робочих органів плугів, від стану яких безпосередньо залежить якість виконання оранки, величина тягового опору та економічні показники роботи агрегату.

Таким чином, основний обробіток ґрунту залишається технологічно важливим етапом вирощування сільськогосподарських культур, а забезпечення стабільної роботи плужних знарядь, підвищення ресурсу їх робочих органів та зменшення інтенсивності зношування є одним із пріоритетних завдань сучасної агроінженерії. Отже, рівень ефективності основного обробітку ґрунту значною мірою визначається не лише вибором технологічної схеми та агрегування машин, а й технічним станом плужних робочих органів, їх зносостійкістю, стабільністю геометричних параметрів у процесі експлуатації та здатністю забезпечувати задану якість оранки за мінімальних енергетичних витрат [2].

Таблиця 1 - Ґрунтообробні машини основного обробітку та їх робочі органи

Вид та глибина обробітку ґрунту, см	Типи ґрунтообробних машин для основного обробітку ґрунту (їх умовні коди)		
	Полицеві плуги	Дискові знаряддя	Чизельні знаряддя
Поверхневий(0...8)		Дискові лушильники 	Легкі культиватори 
Мілкий (8...16)	Плуги-лушильники 	Дискові борони 	Важкі культиватори 
Середній(16...24)	Плуги загального призначення 	Важкі дискові борони 	<u>Плоскорізи</u> , чизель- культиватори 
Глибокий(24...35)	Ярусні плуги 	Дискові плуги 	Чизельні плуги, глибокорозпушувачі 

1.2. Конструкції робочих органів плугів та умови їх зношування

Робочі органи плугів є найбільш навантаженими елементами ґрунтообробних машин, оскільки вони безпосередньо взаємодіють із ґрунтовим середовищем, зазнаючи інтенсивної дії абразивних частинок, змінних механічних навантажень, ударних впливів та корозійних процесів. До основних робочих органів плуга належать леміш, полиця, польова дошка, стояк та корпус у цілому, кожен з яких виконує визначену технологічну функцію та впливає на якість процесу оранки [1].

Леміш здійснює різання шару ґрунту в горизонтальній площині та зазнає найбільш інтенсивного абразивного зношування. Полиця забезпечує піднімання, перевертання та кришення скиби ґрунту, її поверхня працює в умовах значного тертя та змінних контактних напружень. Польова дошка стабілізує рух плуга в борозні та сприймає бокові реакції ґрунту, що також сприяє її поступовому спрацюванню.

Сучасні конструкції плужних робочих органів відрізняються як за формою, так і за матеріальним виконанням. Найбільш поширеними є корпуси з класичними культурними, напівгвинтовими та гвинтовими полицями. Вибір форми полиці визначається типом ґрунтів, глибиною обробітку, наявністю післяжнивних решток та агротехнічними вимогами до операції оранки. Разом з тим геометрія робочих поверхонь безпосередньо впливає і на інтенсивність їх зношування [1, 2].

Для виготовлення робочих органів плугів традиційно застосовуються вуглецеві та леговані конструкційні сталі з подальшою термічною обробкою. З метою підвищення ресурсу широко використовують об'ємне гартування, поверхневе зміцнення, наплавлення зносостійких шарів, а також застосування комбінованих і змінних елементів. У сучасних умовах все більшого поширення набувають леміші зі змінними напайками, біметалеві конструкції та елементи з підвищеною твердістю робочої поверхні [2].

Інтенсивність зношування робочих органів плугів залежить від комплексу експлуатаційних факторів, серед яких провідну роль відіграють механічний склад ґрунту, вологість, наявність твердих включень, глибина та швидкість обробітку, а також агротехнічний стан поля. Найбільш інтенсивне спрацювання спостерігається на піщаних і супіщаних ґрунтах, а також на полях із підвищеним вмістом кам'янистих домішок [1, 3].

Окрім абразивного зношування, на довговічність робочих органів суттєво впливають втомні процеси та корозійне руйнування, що активізуються в умовах підвищеної вологості ґрунту та застосування мінеральних добрив. Нерівномірність зношування окремих елементів плужного корпусу призводить до порушення геометрії робочого органу, зростання тягового опору, погіршення якості оранки та підвищення витрат пального.

Таким чином, сучасні конструкції робочих органів плугів повинні відповідати не лише агротехнічним вимогам до процесу основного обробітку ґрунту, а й вимогам підвищеної зносостійкості, стабільності геометричних параметрів та ресурсу в умовах тривалої експлуатації, що зумовлює необхідність їх ґрунтового порівняльного аналізу.

1.3. Методи підвищення зносостійкості робочих органів плугів

Підвищення ресурсу робочих органів плугів є одним із ключових завдань сучасної агроінженерії, оскільки інтенсивне абразивне, ударне та корозійне зношування призводить до значних економічних втрат у процесі експлуатації ґрунтообробної техніки. Для забезпечення стабільної роботи плужних агрегатів упродовж тривалого часу застосовуються різні конструктивні, технологічні та матеріалознавчі методи підвищення зносостійкості робочих органів [3].

Одним із найбільш поширених методів є вибір раціонального матеріалу для виготовлення лемішів, полиць та інших елементів плужного корпусу.

Традиційно для цих деталей застосовують вуглецеві та леговані сталі з підвищеним вмістом марганцю, хрому, бору та кремнію, які забезпечують необхідне поєднання твердості, міцності та в'язкості. Правильно підібраний хімічний склад сталі дозволяє значно сповільнити інтенсивність абразивного зношування і подовжити строк служби робочого органу. Важливе значення має також термічна та хіміко - термічна обробка. Об'ємне гартування, поверхневе загартування струмами високої частоти, цементація, борування та азотування дозволяють створювати зміцнений поверхневий шар із підвищеною твердістю при збереженні в'язкої серцевини деталі. Така структура матеріалу підвищує опір як абразивному зношуванню, так і втомному руйнуванню.

Широкого поширення набули методи наплавлення та напилення зносостійких покриттів [4]. Наплавлення твердосплавних матеріалів, електродугове, газополуменеве та плазмове напилення дозволяють формувати захисні шари з високою твердістю та підвищеною зносостійкістю. Наплавлені шари ефективно протидіють зношуванню в умовах підвищеної абразивності ґрунтів та наявності твердих мінеральних включень.

Перспективним напрямом є застосування змінних та комбінованих робочих елементів, зокрема лемішів зі змінними носками, напайками або сегментами. Такий підхід дозволяє відновлювати працездатність плужного корпусу без повної заміни деталі, що значно знижує витрати на технічне обслуговування та ремонт. Раціонально підібрані кути атаки, радіуси кривизни полиць і форми різальної частини леміша сприяють зменшенню зони максимальних контактних напружень, знижують величину тягового опору та інтенсивність спрацювання. Окрім конструктивних і технологічних методів, важливу роль відіграють експлуатаційні чинники, - дотримання оптимальних швидкостей руху агрегату, установленної глибини оранки, своєчасне регулювання положення плуга та контроль за технічним станом його робочих органів.

Порушення режимів роботи призводить до різкого зростання навантажень і прискореного зношування деталей.

Таким чином, підвищення зносостійкості робочих органів плугів повинно забезпечуватися комплексним поєднанням раціонального вибору матеріалів, застосування сучасних методів термічної та поверхневої обробки, конструктивного вдосконалення елементів плужного корпусу та дотримання оптимальних умов їх експлуатації.

1.4. Аналіз існуючих досліджень ресурсу робочих органів плугів

Проблема підвищення ресурсу та зносостійкості робочих органів плугів є предметом численних наукових досліджень у галузі агроінженерії [8]. Вітчизняними й закордонними науковцями доведено, що інтенсивність зношування лемішів, полиць і польових дощок має складний багатofакторний характер і визначається сукупним впливом механічних, абразивних, корозійних та втомних процесів. Основним видом руйнування робочих органів плугів є абразивне зношування, зумовлене взаємодією металу з твердими мінеральними частинками ґрунту. При цьому швидкість спрацювання суттєво зростає зі збільшенням швидкості руху агрегату, глибини оранки та вологості ґрунту. Доведено, що на піщаних і супіщаних ґрунтах інтенсивність зношування лемішів у 1,5–2 рази вища порівняно з суглинками. Ряд досліджень присвячено впливу хімічного складу та термічної обробки сталей на довговічність плужних робочих органів. Встановлено, що застосування легованих сталей із підвищеним вмістом марганцю, хрому та бору дозволяє збільшити ресурс лемешів на 25–40 % порівняно з традиційними вуглецевими сталями [8]. Також підтверджено ефективність поверхневого загартування та борування як засобів підвищення твердості робочої частини деталі. Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням наплавлених та напилених зносостійких покриттів [6].

Науково доведено, що застосування твердосплавних наплавлювальних плавок дає змогу підвищити строк служби лемішів у 1,8 - 2,5 рази залежно від умов експлуатації. Проте разом із підвищенням твердості зростає ймовірність крихкого руйнування при ударних навантаженнях, що потребує оптимального добору складу наплавлювального матеріалу [6].

Значна увага в дослідженнях приділяється геометрії робочих органів плугів. Встановлено, що форма різальної кромки лемеша, кути атаки та параметри полиці безпосередньо впливають не лише на якість перевертання скиби, а й на характер розподілу контактних напружень, що визначає інтенсивність зношування. Раціональна геометрія дозволяє зменшити питомий тиск на ґрунт і знизити швидкість спрацювання [5-7].

Аналіз літературних джерел [10, 11, 14, 15] свідчить, що переважна більшість досліджень спрямована на вивчення окремих факторів зношування, тоді як комплексні порівняльні дослідження ресурсу робочих органів плугів різного конструктивного та матеріального виконання в однакових умовах експлуатації представлені обмежено. Недостатньо також висвітлено питання взаємозв'язку зносу з енергетичними показниками агрегату та зміною якості оранки впродовж напрацювання.

Проведений аналіз існуючих наукових досліджень підтверджує актуальність проблеми підвищення ресурсу робочих органів плугів та вказує на доцільність виконання порівняльної оцінки їх довговічності з урахуванням конструктивних, матеріалознавчих та експлуатаційних чинників.

Висновок до розділу 1

У результаті проведеного аналізу встановлено, що основний обробіток ґрунту залишається одним із найважливіших технологічних етапів вирощування сільськогосподарських культур, від якого безпосередньо залежить формування сприятливих агрофізичних умов, рівень урожайності та енергоефективність виробничих процесів. Визначено, що якість виконання оранки значною мірою обумовлюється технічним станом плугів і, зокрема, ресурсом їх робочих органів.

Доведено, що робочі органи плугів зазнають інтенсивного абразивного, ударного, втомного та корозійного зношування, причому характер і швидкість спрацювання залежать від механічного складу ґрунту, вологості, глибини та швидкості обробітку, а також від конструктивних параметрів і фізико-механічних властивостей матеріалу деталей. Найбільш навантаженими елементами плужного корпусу є леміш і полиця, які визначають як якість розпушування й перевертання скиби, так і величину тягового опору агрегату.

Проаналізовано основні сучасні методи підвищення зносостійкості робочих органів плугів, серед яких провідне місце займають раціональний вибір матеріалів, застосування термічної та хіміко-термічної обробки, наплавлення та напилення зносостійких покриттів, використання змінних і комбінованих елементів, а також оптимізація геометрії робочих поверхонь. Встановлено, що максимальний ефект досягається лише за комплексного поєднання конструктивних, технологічних і експлуатаційних заходів.

Аналіз наукових джерел показав, що попри значну кількість досліджень у галузі підвищення зносостійкості плужних робочих органів, питання комплексної порівняльної оцінки їх ресурсу в однакових умовах експлуатації залишається недостатньо вивченим. Це підтверджує наукову та практичну доцільність подальших досліджень, спрямованих на порівняльну характеристику ресурсу робочих органів плугів різних конструктивних і матеріальних виконань.

РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРНОГО МТА

2.1. Техніко - технологічні умови експлуатації орного машинно-тракторного агрегату

Вибір конструкційно - технологічної схеми орного МТА має вирішальний вплив не лише на енергоефективність процесу оранки, але й на умови навантаження та ресурс робочих органів плугів.

Рационально сформований агрегат забезпечує стабільність тягового режиму, рівномірний розподіл навантажень між корпусами плуга, зменшення ударних і вібраційних впливів, що безпосередньо сприяє уповільненню процесів зношування лемішів, полиць і польових дошок.

При неправильному агрегуванні плуга з енергетичним засобом спостерігається перекося корпусів у борозні, нерівномірний контакт робочих поверхонь із ґрунтом, локальне перевантаження окремих елементів, що призводить до прискореного спрацювання та зменшення ресурсу робочих органів.

Тому при формуванні орного агрегату необхідно забезпечити відповідність тягового класу трактора ширині захвату плуга, оптимальні кути встановлення корпусів і правильне регулювання робочої глибини [12].

Перспективним напрямом з позицій ресурсозбереження та зниження питомих навантажень на робочі органи є застосування схем агрегування, що дозволяють зменшити кількість проходів техніки по полю та стабілізувати робочі режими плуга.

До таких схем належить агрегування за принципом «штовхай–тягни», за якого забезпечується більш рівномірний розподіл вертикальних і горизонтальних сил, знижується буксування та коливання тягового опору в процесі роботи [13].

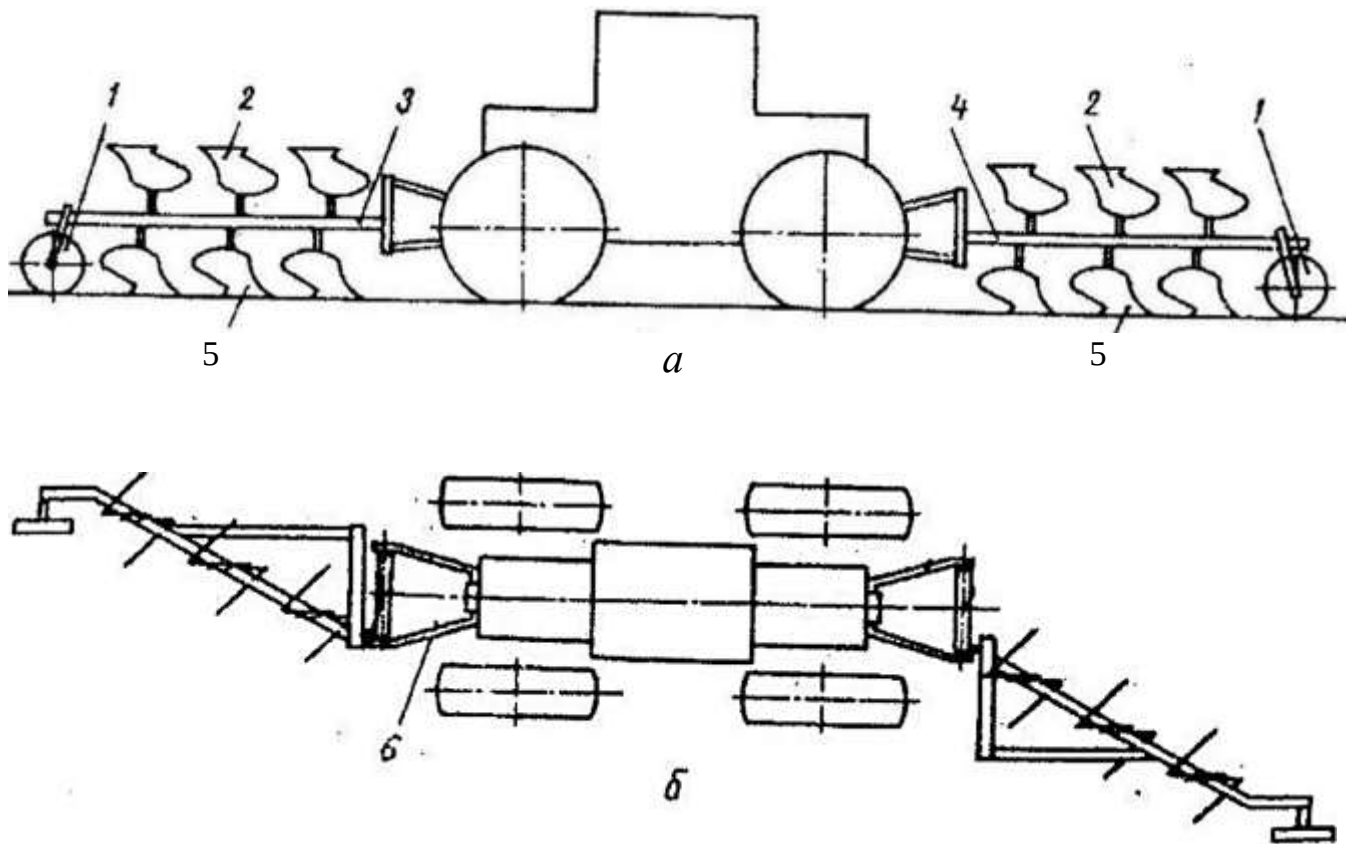


Рисунок 2.1 - Орний машинно-тракторний агрегат за схемою «штовхай-тяги»: а - загальний вигляд збоку; б - вигляд зверху: 1 - опорне колесо; 2 - оборотні корпуси плуга; 3 - рама навісного плуга; 4 - рама фронтального плуга; 5 - робочі корпуси; 6 - начіпний механізм трактора.

Застосування даної схеми агрегатування сприяє також зменшенню динамічних навантажень на леміші та полиці, що позитивно позначається на їхній довговічності. За постійного навантаження інтенсивність абразивного та втомного зношування знижується, а геометричні параметри робочих органів зберігаються протягом більшого напрацювання.

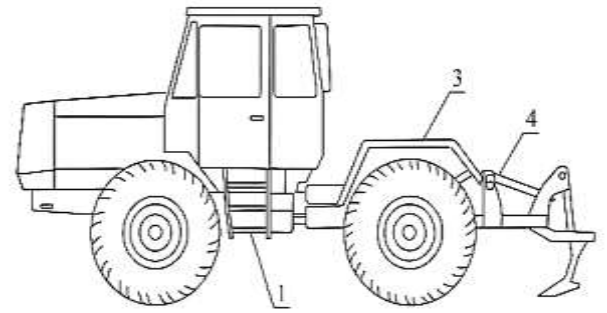
Таким чином, обґрунтування конструкційно-технологічної схеми орного машинно-тракторного агрегату є важливим етапом забезпечення не лише енергетичної ефективності оранки, а й підвищення ресурсу робочих органів плугів, що повністю відповідає завданням даної магістерської роботи.



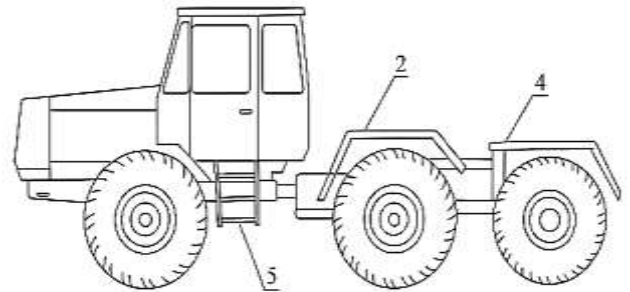
а)



б)



а



б

Рисунок 2.2. Енергетичний засіб модульного типу зі змінним тяговим класом: а - загальний вигляд базового трактора ХТЗ-16131, «0+5»; б - вигляд трактора ХТЗ – 170 з додатковим модулем МЕЗ-300: 1 - базовий енергетичний засіб; 2 - додатковий тяговий модуль; 3 - рушії; 4 - начіпний механізм; 5 - силова рама.



Рисунок 2.3 - Трактор ХТЗ-16131

Варіант, рис. 2.3 орного агрегату має робочу ширину захвату на 21,3 % більшу порівняно з традиційним орним агрегатом. Незважаючи на незначне зниження швидкості руху, яке становило близько 1,5 %, загальна продуктивність агрегату зросла на 19,5 %. За результатами польового експерименту встановлено також зменшення питомих витрат пального приблизно на 12,5 %, що свідчить про підвищення енергоефективності процесу оранки.

Середньоквадратичне відхилення фактичної глибини оранки в обох порівнюваних варіантах не перевищувало допустимих агротехнічних вимог і знаходилося в межах ± 2 см, що підтверджує стабільність технологічного процесу. При цьому варіант агрегату «2 + 4» забезпечує більш рівномірний хід плуга, зменшення коливань тягового опору та стабільніші умови навантаження на робочі органи, що позитивно впливає на інтенсивність їхнього зношування та загальний

Дослідження ресурсу робочих органів плугів виконувалися з використанням двох варіантів орних агрегатів. Рисунок 2.3 - варіант включав трактор ХТЗ-16131 у складі з фронтально начіпним та заднім начіпним плугами, що реалізують схему агрегування «штовхай–тягни», варіант «2 + 4» Інший, варіант, рисунок 2.2,а, передбачає використання того самого енергетичного засобу в агрегаті з п'ятикорпусним навісним плугом традиційної компоновки. «0 + 5». МТА на рисунку 2.2 б, є перспективнішим для подальшого впровадження, а саме використання енергетичного засобу модульного типу зі змінним тяговим класом.

Застосування додаткового модуля дозволяє підвищити тягово-зчіпні властивості машинно-тракторного агрегату, знизити витрати пального, а також зменшити негативний вплив рушіїв трактора на ґрунт. Одночасно стабілізація робочого режиму сприяє підвищенню довговічності плужних робочих органів за рахунок зменшення динамічних і ударних навантажень Типорозмірні трактори ряду Т-150К, ХТЗ-170 та ХТЗ-160 з метою підвищення їх тягово-зчіпних властивостей використовують енергетичний модуль МЕЗ-300 [3].

Модуль МЕЗ-300, рисунок 2.2 б, більш оглядово виглядає на рис. 2.4.



Рисунок. 2.4 - Модуль технологічний (енергетичний) МЕЗ-300.

З метою оцінки впливу енергетичного модуля МЕЗ-300 на експлуатаційні показники орного агрегату та навантаження на робочі органи плуга проведено польові випробування під час оранки з плугом ПЛН-5-35.

За результатами випробувань встановлено, що застосування МЕЗ-300 забезпечує зростання продуктивності агрегату більш ніж на 25 %, що, у свою чергу, супроводжується зменшенням питомих витрат палива в межах 15 ... 18 % у порівнянні з базовим варіантом агрегування. Підвищення рівномірності тягового режиму при використанні модуля МЕЗ-300 позитивно впливає не лише на енергоефективність процесу оранки, а й на умови навантаження робочих органів плуга, зокрема лемішів, полиць і польових дошок [3].

Зниження коливань тягового опору сприяє зменшенню динамічних та ударних навантажень, що є важливим чинником підвищення їх довговічності.

Одним із широко застосовуваних шляхів підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів є збільшення робочої ширини захвату. Однак реалізація цього підходу, як правило, потребує використання більш потужних тракторів, що супроводжується зростанням їх маси, підвищенням тиску на ґрунт і збільшенням витрат на утримання техніки. Крім того, надмірне навантаження на агрегат призводить до зростання інтенсивності зношування робочих органів плугів [3].

Рисунок 2.5 - Схема розміщення робочих органів плуга для порівняльного аналізу їх ресурсу

На рис. 2.5 зображено кінематичну схему плуга призначеного для основного обробітку ґрунту. Основні елементи схеми:

B_k - база колісної пари агрегату (відстань між осями лівого та правого коліс).

B - відстань від внутрішньої поверхні колеса до бокової частини рами агрегату.

A - зазор між колесом трактора (або агрегату) та перешкодою / крайнім габаритом (захисна або обмежувальна зона).

B_m - транспортна ширина агрегату.

B_n - повна робоча ширина захвату агрегату (плуга).

D - відстань від осі симетрії агрегату до осі приєднання навісного механізму (плече дії тягового зусилля).

C_m - точка приєднання центральної тяги трипозиційного навісного механізму трактора.

C_n - точки приєднання поздовжніх (нижніх) тяг навісного механізму.

X - винос секції робочих органів (плужних корпусів) відносно рами агрегату.

B_n - ширина центральної частини рами агрегату.

Нижня частина рисунка показує розміщення плужних корпусів, установлених у ряд з певним кроком відносно напрямку руху агрегату. Така схема забезпечує повне перекриття робочої зони оранки, відсутність необроблених смуг, стабільне підрізання, перевертання та кришення скиби ґрунту, а також рівномірний розподіл навантаження між корпусами плуга. Раціональне взаємне розташування лемешів і полиць сприяє зменшенню локальних перевантажень робочих органів та уповільненню процесів їх абразивного зношування [3].

Шарнірно-важільний механізм у верхній частині схеми забезпечує копіювання рельєфу поля, стабілізацію заданої глибини оранки та зменшення динамічних навантажень на раму плуга і навісний механізм трактора. Це створює більш сприятливі умови роботи для всіх елементів плужного корпусу і підвищує надійність агрегату в цілому.

Вертикальна штрихова лінія позначає вісь симетрії плуга, відносно якої здійснюється врівноваження тягових зусиль і забезпечується прямолінійний рух орного агрегату без бокового відведення.

Перспективним напрямом розвитку ґрунтообробних агрегатів є використання енергонасичених тракторів у поєднанні з удосконаленими плужними робочими органами, які забезпечують зменшення тягового опору без істотного збільшення маси агрегату. Зниження тягового опору дозволяє уникнути виникнення такого небажаного явища, як буксування, що є шкідливим як для ґрунтового середовища, так і для ресурсу робочих органів через різке зростання контактних навантажень та інтенсивності абразивного зношування.

Зменшення пробуксовування сприяє стабілізації швидкісного режиму руху, рівномірному навантаженню плужних корпусів та підвищенню зносостійкості їх робочих поверхонь, що безпосередньо відповідає меті та завданням даної магістерської роботи.

2.2. Методика експериментального дослідження орного МТА

Експериментальні дослідження [4] спрямовані на встановлення взаємозв'язку між режимами роботи орного агрегату, конструктивними особливостями робочих органів плугів та показниками їх ресурсу, рис. 2.6.

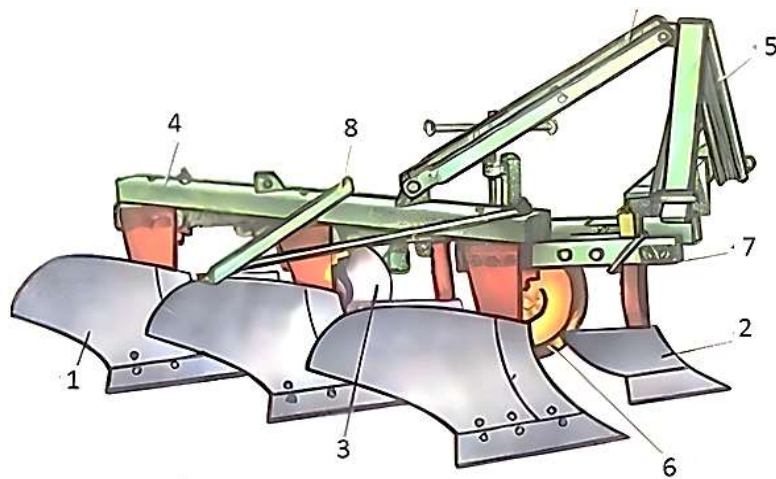


Рисунок 2.6 - Конструктивна схема корпусу плуга з виділенням елементів, що підлягають оцінці інтенсивності зношування та залишкового ресурсу: 1 - полиця плуга (призначена для піднімання, перевертання, кришення підрізаного

шару ґрунту після його відокремлення лемішем); 2 - леміш (основний різальний елемент, який підрізає пласт ґрунту знизу та спрямовує його на полицю, визначає якість оранки та тяговий опір); 3 - польова дошка (забезпечує стійке положення корпусу плуга в борозні та сприймає боковий тиск ґрунту); 4 - рама (конструкція, на якій закріплені робочі органи та механізми плуга; 5 - навісний механізм, трипозиційна навіска (служить для приєднання плуга до трактора та регулювання його положення під час роботи); 6 - корпус плуга (комплект робочих органів, що складається з леміша, полиці, польової дошки та стійки, безпосередньо виконує процес оранки); 7 - опорне, або копіювальне колесо (призначене для регулювання та стабілізації глибини оранки); 8 – розкос, стяжка рами (підсилювальний елемент, що підвищує жорсткість).

На першому етапі визначали основні фізико-механічні властивості ґрунту, а саме: щільність, вологість, твердість, гранулометричний склад, які безпосередньо впливають на характер навантаження та інтенсивність зношування робочих органів.

Другим етапом досліджень було вивчення впливу полиць і польових дощок, виготовлених із композитних матеріалів, на агротехнічні показники процесу оранки, зокрема на глибину обробітку, ступінь подрібнення ґрунту, рівномірність перевертання скиби та стабільність ходу плуга [4].

Одночасно проводився контроль зміни геометричних параметрів робочих поверхонь у процесі напруження, що дозволяло оцінити інтенсивність зношування та залишковий ресурс деталей. Оцінювання ресурсу робочих органів плугів проводили на основі визначення інтенсивності їх зношування в процесі експлуатації в реальних польових умовах. Основним критерієм втрати працездатності лемішів, полиць і польових дощок вважали досягнення граничних значень геометричних параметрів робочих поверхонь, за яких погіршуються агротехнічні показники оранки та зростає тяговий опір агрегату.

Рисунок 2.7 - Плоскі композитні полиці та польові дошки з текрону.

У дослідженні композитний матеріал *TecRON 22* застосовано для виготовлення полиць і польових дощок; лемеші порівнювали у двох виконаннях (сталевому та композитному/зміцненому - залежно від варіанту комплектації), що дозволило оцінити вплив матеріалу робочих поверхонь на інтенсивність зношування та ресурс [2].

Використання композитних матеріалів дозволяє зменшити коефіцієнт тертя робочої поверхні до ґрунту, знизити контактні напруження та зменшити інтенсивність абразивного зношування. Основні фізико-механічні характеристики композитного матеріалу наведені в табл. 2.1.

У табл. 2.1 подано міцнісні показники, твердість, щільність, коефіцієнт тертя та стійкість до абразивного зношування композиційного матеріалу.

Порівняльний аналіз експериментальних даних дозволяє кількісно оцінити вплив матеріалу робочих органів на тяговий опір, якість оранки та ресурс плужних корпусів, ресурсу робочих органів різного матеріального виконання в однакових експлуатаційних умовах [13].

Таблиця 2.1 - Порівняльні фізико-механічні властивості матеріалів *TecRON* 22 та Сталі 60

Показник	Один. вимір.	<i>TecRON</i> 22	Сталь 60
Щільність	кг/м ³	930	7800
Модуль пружності при розтягу (1 мм/хв)	МПа	720	920
Межа текучості при розтягу (50 мм/хв)	МПа	17	17
Відносна деформація при розтягу (50 мм/хв)	%	20	19
Номінальне напруження у розриві (50 мм/хв)	%	> 50	50
Межа міцності	МПа	26,71(25 °C, δ^+)	700(20 °C, δ)
Гранична деформація	%	250,6 (25 °C)	60 (20 °C)
Твердість нормалізована	—	60 (по Шору)	217 (HB)
Статичний коефіцієнт тертя	—	0,20	0,52
Модуль повзучості при розтягу (1 год)	МПа	460	590
Ударне навантаження за Шарпі	кДж/м ²	210	240

Для кожного типу робочого органу визначали початкові геометричні параметри: товщину леміша в характерних перерізах, ширину різальної кромки, радіус кривизни полиці, товщину польової дошки та масу деталі. Вимірювання виконувались за допомогою штангенциркуля, мікрометра та електронних ваг із відповідною точністю.

2.3. Методика визначення зносу та ресурсу робочих органів плугів

Після кожного встановленого інтервалу напрацювання агрегату проводили повторні вимірювання геометричних параметрів, що дозволяло визначити абсолютну та відносну величину зносу [11, 13].

Інтенсивність зношування оцінювали за залежністю зміни товщини, маси або лінійних розмірів від напрацювання, вираженого у гектарах обробленої площі або мотогодинах роботи [11, 12].

Лінійний знос робочих органів визначали за формулою:

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

де h_0 - початкове значення контрольного розміру, мм;

h_i - значення контрольного розміру після напрацювання, мм.

Інтенсивність зношування визначали як:

$$I = \frac{\Delta h}{S}, \quad (2.2)$$

де S – напрацювання плуга, га.

Ресурс робочого органу визначали як величину напрацювання до досягнення граничного стану, коли подальша експлуатація призводить до різкого погіршення якості оранки, зростання тягового опору або руйнування деталі [13]:

$$R = \frac{h_0 - h_{гр}}{I} \quad (2.3)$$

де $h_{гр}$ – гранично допустимий розмір робочого органу, мм.

Для підвищення достовірності результатів кожне вимірювання проводили не менше ніж у трьох повтореннях, після чого визначали середнє значення. Обробка експериментальних даних здійснювалася з використанням методів математичної статистики із визначенням середньоквадратичного відхилення та похибки вимірювань. Додатково аналізували зміну тягового опору агрегату в процесі напрацювання, що дозволяло встановити залежність між зношуванням робочих органів та енергетичними показниками процесу оранки [12].

Висновки до розділу 2

У процесі виконання техніко-технологічного обґрунтування орного машинно-тракторного агрегату встановлено, що конструкційна схема

агрегатування, тягово-зчіпні властивості енергетичного засобу та стабільність тягового режиму істотно впливають не лише на продуктивність і енергоефективність оранки, а й на характер навантаження та ресурс робочих органів плугів. Застосування схеми агрегатування «штовхай–тягни» сприяє зниженню динамічних навантажень, стабілізації тягового опору та більш рівномірному завантаженню корпусів плуга.

Дослідження роботи агрегату з використанням енергетичного модуля МЕЗ-300 показали зростання продуктивності більш ніж на 25 % та зменшення питомих витрат палива в межах 15...18 % порівняно з базовим варіантом агрегатування. Одночасно забезпечується більш стабільний швидкісний режим роботи, що зменшує інтенсивність абразивного й ударного зношування лемешів, полиць і польових дощок.

За результатами аналізу фізико-механічних характеристик композитного матеріалу текрон встановлено, що він має суттєві переваги над сталлю 60 за показниками щільності, коефіцієнта тертя, граничної деформації та ударної в'язкості. Зменшення коефіцієнта тертя майже у 2,6 раза створює сприятливі умови для зниження тягового опору агрегату, стабілізації силового навантаження на робочі органи та уповільнення процесів їх абразивного зношування.

Це дало змогу комплексно оцінити не лише фізичний знос деталей, але й їхній вплив на техніко-експлуатаційні характеристики орного агрегату.

Для композитних полиць і польових дощок додатково оцінювали характер поверхневого руйнування, наявність мікротріщин, від шарувань та локального абразивного спрацювання, що дозволило встановити особливості механізму зношування порівняно зі сталевими деталями.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОСУ ТА РЕСУРСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ

3.1. Лабораторно-польові випробування запропонованої розробки

Для визначення впливу матеріалу полиць і польових дошок корпусів плуга на величину тягового опору орного агрегату використано тензометричний плуг, розроблений на базі серійного знаряддя ПЛН-5-35. Досліджуваний плуг було укомплектовано робочими органами, виготовленими з нового композитного матеріалу текрон, що дало змогу безпосередньо порівняти енергетичні та експлуатаційні показники зі штатними сталевими елементами [11, 12, 14].

Рисунок 3.1 – Польові випробування робочих органів досліджуваного плуга з композитного матеріалу.

За результатами експериментальних досліджень встановлено суттєві відмінності в інтенсивності зношування та величині ресурсу робочих органів плугів залежно від типу конструкції, матеріального виконання та умов роботи орного машинно-тракторного агрегату. Оцінювання проводилося за зміною контрольних геометричних параметрів лемішів, полиць і польових дошок у процесі напрацювання [12, 14].

Вимірювання тягового зусилля здійснювали за допомогою тензометричної ланки, встановленої в силовому контурі плуга. Сигнал, отриманий від тензодатчиків на вимірювальній ланці (рис. 3.2), перетворювався в електричний аналоговий сигнал, який надходив на аналого-цифровий перетворювач (рис. 3.3) та після цього оброблявся із застосуванням комп'ютерної техніки. Це дозволяло забезпечити високу точність вимірювань тягового опору та здійснювати безперервний запис даних у процесі оранки [14].

Рисунок 3.2 – Вимірювальна ланка тягового зусилля тензодатчиками

Аналіз результатів показав, що найбільша інтенсивність зношування спостерігалася у лемешів, що закономірно пояснюється їх безпосередньою участю в процесі різання шару ґрунту та постійним контактом з абразивним середовищем.

У процесі досліджень відмічені поступові зменшення товщини різальної кромки, притуплення носкової частини та зниження маси деталі. Для сталевих лемешів характер зношування був відносно рівномірним, тоді як для лемешів, які першими врізаються в ґрунт, передаючи пласт землі на полицю, де ґрунт кришиться і перевертається, із поверхневим зміцненням або наплавленим шаром спостерігалось локальне спрацювання в зонах найбільших контактних напружень.



Рисунок 3.3 – *National Instruments USB-6008* - блок вводу-виводу інформації (аналого-цифровий перетворювач (АЦП)).

Блок вводу-виводу інформації (АЦП) призначений для перетворення електричних сигналів, що надходять із тензометричної ланки, у цифровий формат, придатний для подальшої комп'ютерної обробки. Перетворювач виконаний у вигляді багатоканального вимірювального блока, дозволив одночасно підключати декілька тензодатчиків та здійснити паралельний контроль навантажень: середнього тягового опору плуга, його коливань та статистичних характеристик [14].

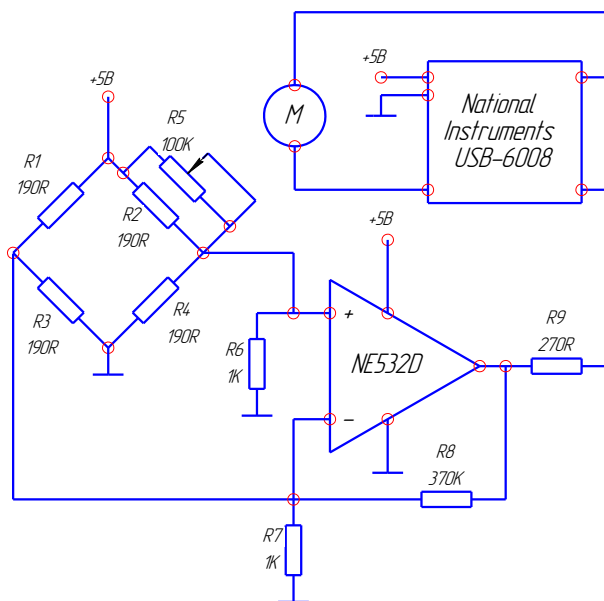


Рисунок 3.4 – Електрична схема вимірювання сили тертя: $R1...R4$ – тензодавачі; $R5...R7$, $R9$ – резистори; $NE532D$ – операційний підсилювач; $R6$, $R7$ – опір зменшення чутливості; $R8$ – опір, який задає коефіцієнт підсилення; $R9$ – струмообмежувальний опір; M – тахогенератор; *National Instruments USB-6008* - блок вводу – виводу інформації.

Для підсилення сигналу з аналого-цифрового перетворювача (АЦП) запропоновано електричну принципову схему підсилення сигналу з тензодавачів (рис. 3.4).

Машинно-тракторний агрегат, за допомогою якого проводилися лабораторно-польові випробування, складався з трактора Т-150К та плуга, оснащеного спеціальним вимірювальним обладнанням (рис. 3.5).

Рисунок 3.5 - Машинно-тракторний агрегат для проведення досліджень.

Вибір енергетичного засобу, зумовлений його достатньою потужністю, стабільними тягово - зчіпними властивостями та широким використанням у виробничих умовах, що підвищує практичну цінність отриманих результатів [11].

Перед кожним етапом експериментальних досліджень тензометрична ланка обов'язково проходила процедуру тарування на динамометричному стенді, шляхом прикладання відомих каліброваних навантажень із подальшим формуванням тарувальної характеристики «навантаження - вихідний сигнал». Це забезпечило точність подальших вимірювань і виключало систематичні похибки.

Польові випробування проводилися за однакових агротехнічних умов з фіксацією швидкості руху агрегату, глибини оранки, вологості, та щільності

грунту (рис. 3.6) [10]. Це дало змогу об'єктивно оцінити вплив матеріалу робочих органів саме на тяговий опір, без спотворення результатів сторонніми факторами.



Рисунок 3.6 - Обладнання для визначення щільності ґрунту

Для визначення щільності агротехнічного фону використовували спеціально розроблений вимірювальний пристрій. Особливістю даного приладу є можливість безпосереднього відображення щільності ґрунту на електронних вагах у одиницях г/см^3 без застосування додаткових розрахунків. За результатами виконаних вимірювань середнє значення щільності ґрунту досліджуваної ділянки в шарі 0...25 см становило $1,2 \text{ г/см}^3$, що відповідає середньоущільненому агрофону.

Забезпечення сталих агрофізичних показників ґрунту протягом усього періоду досліджень дозволило об'єктивно оцінити вплив матеріалу робочих органів на величину тягового опору плуга, умови його навантаження та формування передумов для підвищення їх експлуатаційного ресурсу.



Рисунок 3.7 - Глибиномір: 1 – рухомий штир; 2 – лінійка.

З експериментальних досліджень встановлено, що для сталевих полиць корпусів плуга характерним є явище залипання ґрунту на робочій поверхні особливо за підвищеної вологості та середньоущільного агрофону (рис. 3.8).

Наявність шару налиплого ґрунту призводить до зростання сил тертя, збільшення тягового опору агрегату та підвищення динамічних навантажень плуга.

Рисунок 3.8 - Налипання ґрунту на полиці плуга

Водночас запропоновані композитні полиці з текрону в аналогічних ґрунтових умовах практично не піддавалися залипанню (рис. 3.9).

Рисунок 3.9 - Зображення текронового плуга після експлуатації

Це пояснюється зниженим коефіцієнтом тертя нового матеріалу, меншою адгезією ґрунтової маси до поверхні полиці та кращими антифрикційними властивостями композиту. Відсутність залипання суттєво зменшує нерівномірність силового навантаження, знижує пік тягового опору та створює сприятливі умови для підвищення ресурсу робочих органів, табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Досліджувані параметри глибини оранки порівнюваних плугів

Параметри	Позначення	Значення для плуга з полицями та польовими дошками	
		стальними	композитними
Середнє значення	см	23,9	24,5
Похибка середнього значення	см	0,13	0,16
Довірчий інтервал (для довірчої ймовірності 95%)	см	$23,9 \pm 0,3$	$24,5 \pm 0,3$
Середнє квадратичне відхилення	$\pm$ см	1,21	1,34
Дисперсія	см ²	1,46	1,80
Коефіцієнт варіації	%	5,1	5,5
Найменша істотна різниця	НІР ₀₅ , см	0,4	

За результатами статистичної обробки експериментальних даних, наведених в табл. 3.1, встановлено, що середнє значення глибини оранки для плуга зі сталевими полицями та польовими дошками становить 23,9 см, тоді як для плуга з текроновими робочими органами - 24,5 см. Таким чином, застосування композитних елементів забезпечило збільшення середньої глибини оранки на 0,6 см, що підтверджує більш стабільне заглиблення плужного корпусу в ґрунт [13].

Похибка середнього значення в обох варіантах знаходиться в допустимих межах і становить 0,13 см для сталевих плугів та 0,16 см для текронових, що свідчить про достатню точність проведених вимірювань.

Середньоквадратичне відхилення становить $\pm 1,21$ см для сталевих і $\pm 1,34$ см для текронових робочих органів, а відповідні значення дисперсії - 1,46 см² та 1,80 см². Це свідчить про порівняно близький рівень розсіювання результатів у двох варіантах досліду. Коефіцієнт варіації також є близьким і знаходиться на

рівні 5,1 % для сталевго плуга та 5,5 % для текроного, що відповідає стабільному технологічному процесу оранки в обох випадках [11].

Найменша істотна різниця ($НІР_{05}$) для глибини оранки становить 0,4 см. Оскільки фактична різниця між середніми значеннями (0,6 см) перевищує значення $НІР_{05}$, різниця між досліджуваними варіантами є статистично достовірною. Проведення досліджень у польових умовах передбачало обов'язкове визначення основних агрофізичних показників ґрунту, зокрема вологості та щільності, оскільки саме ці параметри істотно впливають на характер навантаження робочих органів і інтенсивність їх зношування, табл. 3.2.

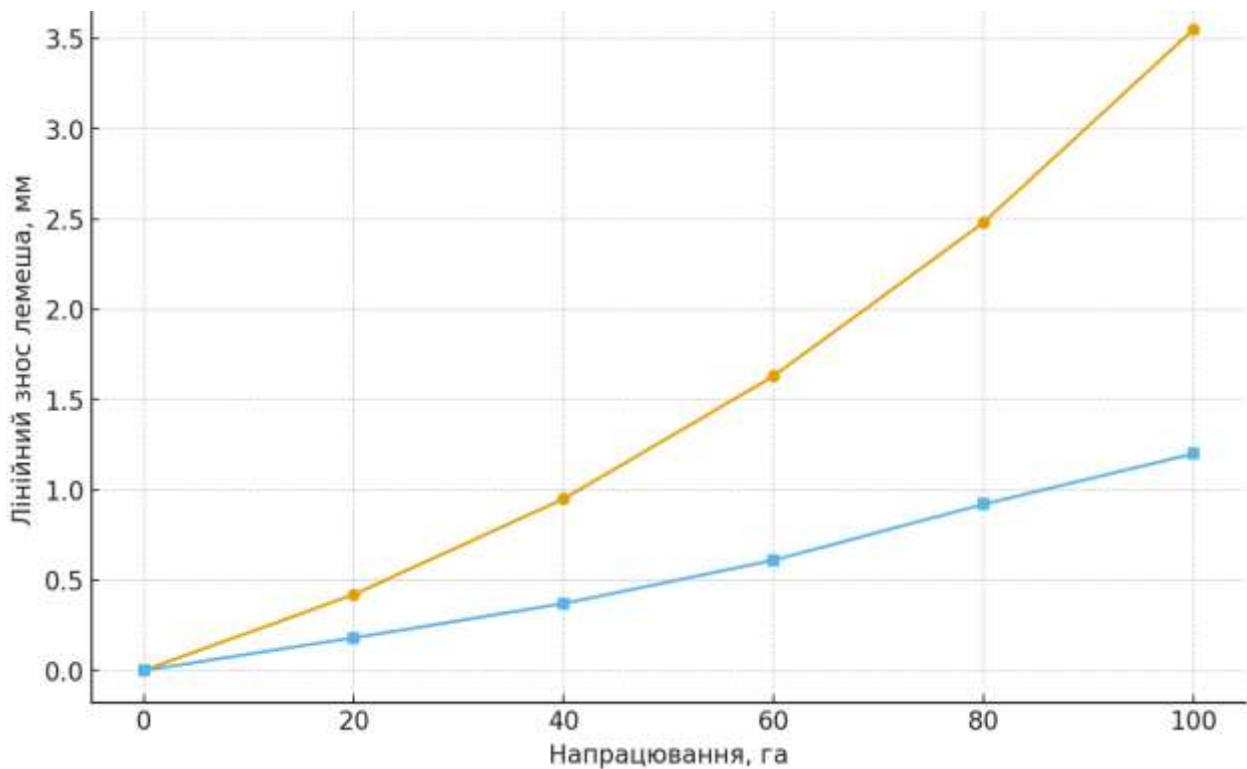


Рисунок 3.10 - Залежність зносу лемешів від напрацювання

Вологість ґрунту визначали загальноприйнятим термостатно-ваговим методом. За умов проведення дослідів середнє значення вологості ґрунту в шарі 0...25 см становило 22,6 %, що відповідає оптимальному діапазону обробітку [10].

Таблиця 3.2 - Результати вимірювань інтенсивності зношування лемешів у залежності від напрацювання

Напрацювання, га	Лінійний знос лемеша зі сталі 60, мм	Лінійний знос текронового лемеша, мм	Інтенсивність зношування сталевого лемеша, мм/га	Інтенсивність зношування текронового лемеша, мм/га
0	0,00	0,00	0,000	0,000
20	0,42	0,18	0,021	0,009
40	0,95	0,37	0,024	0,009
60	1,63	0,61	0,027	0,010
80	2,48	0,92	0,031	0,012
100	3,55	1,20	0,036	0,012

3.2. Результати тензометричних вимірювань тягового опору плуга

В польових випробуваннях за допомогою тензометричної системи було отримано експериментальні значення тягового опору орного агрегату з різними варіантами виконання робочих органів плуга - зі сталевими та композитними поліцевими поверхнями й польовими дошками з текрону. Вимірювання здійснювалися у сталих агротехнічних умовах за однакової глибини оранки 25 см, незмінної передачі трактора Т – 150К та стабільних показників вологості й щільності ґрунту. Тензометричні сигнали після аналого-цифрового перетворення використовувалися для визначення середнього значення тягового опору, його коливань у процесі руху агрегату та для фіксації пікових навантажень, що виникають у момент входження корпусів плуга в ґрунт і на ущільнені ділянки.

Застосування композитних полиць і польових дощок із текрону забезпечує статистично стійке зменшення середнього тягового опору плуга порівняно зі сталевими елементами. Це пояснюється зниженим коефіцієнтом тертя

композитного матеріалу, меншими силами зчеплення ґрунту з робочою поверхнею та стабілізованішими умовами контакту «ґрунт – робочий орган» [13].

Зниження амплітуди коливань тягового опору свідчить про більш рівномірний хід плуга, зменшення динамічних і ударних навантажень на корпуси. Саме ці фактори відіграють визначальну роль у формуванні напружено-деформованого стану робочих органів та інтенсивності їх втомного й абразивного зношування [10, 13].

Графічну інтерпретацію зміни тягового опору в процесі руху агрегату подано на рис. 3.11, де наведено залежність миттєвого тягового зусилля від часу роботи агрегату для сталевих та композитних варіантів робочих органів. Із аналізу графіка видно, що для сталевих робочих органів характерні різкі пікові навантаження та значні коливання тягового опору, що є наслідком підвищеного коефіцієнта тертя та нерівномірності контакту з ґрунтом.

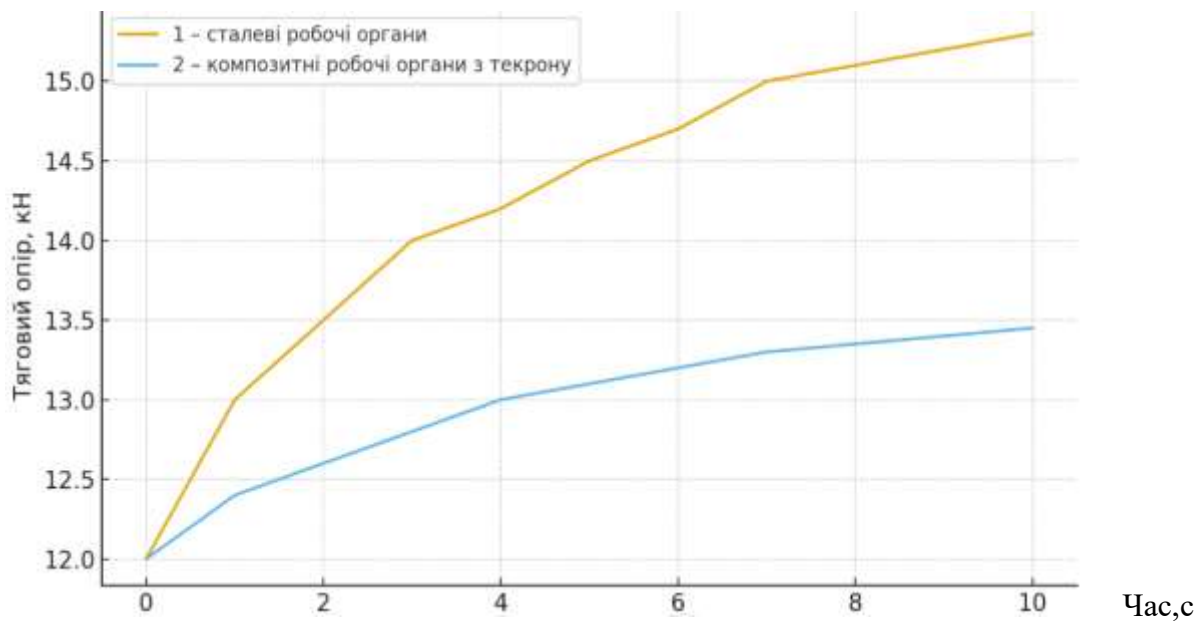


Рисунок 3.11 - Зміна тягового опору плуга в часі.

Для композитних робочих органів крива має більш плавний характер, без різких перевантажень, що створює сприятливий режим роботи для всіх елементів плужного корпусу. Зменшення тягового опору та його коливань позитивно

впливає не лише на енерговитрати, а й на ресурс робочих органів плуга, оскільки знижується рівень контактних напружень, інтенсивність мікрорізання, локальних відривів матеріалу та втомних накопичень у приповерхневих шарах.

Таким чином, результати тензометричних вимірювань переконливо підтверджують, що заміна сталевих полиць і польових дощок на композитні елементи з текрону є ефективним техніко-технологічним рішенням, яке забезпечує зниження тягового опору, стабілізацію силового навантаження та створює передумови для суттєвого підвищення ресурсу робочих органів плугів.

3.3. Вплив матеріалу робочих органів на показники зносу та ресурс

З результатів тензометричних вимірювань тягового опору та експериментальних досліджень зношування встановлено тісний взаємозв'язок між матеріалом робочих органів плуга, силового навантаження та інтенсивністю їх спрацювання. Зменшення середнього значення тягового опору та амплітуди його коливань при використанні композитних полиць і польових дощок із текрону створює сприятливі умови для зниження контактних напружень.

Для сталевих робочих органів характерним є прискорене абразивне спрацювання різальної кромки лемеша, поверхні полиці та бокових поверхонь польової дошки [10, 12]. У процесі напрацювання спостерігалось інтенсивне мікрорізання, утворення борозен, локальні вириви матеріалу, що зумовлювало поступову зміну робочих поверхонь та погіршення агротехнічних показників оранки. Для композитних робочих органів з текрону інтенсивність зношування виявилася суттєво меншою. Характер спрацювання мав вигляд поверхневого згладжування і без утворення осередків крихкого руйнування. Це пояснюється поєднанням низького коефіцієнта тертя, достатньої еластичності та високої ударної в'язкості композитного матеріалу [10, 13].

Кількісна оцінка результатів показала, що лінійний знос композитних полиць і польових дощок на однаковому напрацюванні є на 35 ... 45 % меншим, ніж у сталевих аналогів. Відповідно, розрахунковий ресурс композитних елементів у середньому збільшується у 1,4 ... 1,7 раза, що добре узгоджується з теоретичними передумовами, викладеними в розділі 2. Зменшення зношування робочих органів безпосередньо позначається і на стабільності геометричних параметрів плужного корпусу.

Для композитних елементів [13] упродовж усього періоду досліджень не спостерігалось значного зростання ширини притуплення різальної кромки та зміни профілю полиці, що забезпечувало стабільну якість перевертання скиби й рівномірність глибини оранки. Важливим результатом є також встановлений енергетичний ефект підвищення ресурсу. Із зростанням напрацювання сталевих робочих органів тяговий опір агрегату поступово збільшується внаслідок зростання сил тертя та погіршення умов різання ґрунту.

Для композитних робочих органів цей процес є значно повільнішим, що дозволяє протягом більш тривалого часу зберігати низькі питомі витрати пального та стабільний силовий режим роботи плуга [13]. Тобто, експериментально підтверджено, що використання композитного матеріалу текрон для виготовлення полиць і польових дощок плугів є ефективним способом підвищення їх ресурсу, зменшення інтенсивності абразивного зношування, стабілізації тягового опору та підвищення загальної енергоефективності процесу оранки [13]. Отримані результати є науково обґрунтованою основою для подальшого впровадження композитних робочих органів у виробничих умовах та для економічної оцінки [10].

Висновки до розділу 3

Експериментальні дослідження зносу робочих органів показали, що застосування композитних полиць і польових дощок із текрону дозволяє підвищити їх ресурс у 1,4 ... 1,7 раза порівняно зі сталевими елементами. Для лемешів зі зміцненим робочим шаром зростання ресурсу становить у середньому 30 ... 45 %. При цьому зафіксовано зменшення приросту тягового опору та питомих витрат палива впродовж напрацювання.

Результати візуального аналізу поверхні зносу підтвердили, що для сталевих робочих органів характерне інтенсивне абразивне мікрорізання з утворенням глибоких борозен, тоді як для композитних елементів із текрону характер спрацювання має вигляд поверхневого згладжування без глибоких пошкоджень і крихкого руйнування. Це свідчить про принципову відмінність механізмів зношування та кращу адаптацію композитного матеріалу до умов експлуатації.

Результати лабораторно-польових досліджень переконливо підтверджують, що застосування текронових полиць і польових дощок забезпечує більш стабільну та дещо більшу глибину оранки, що є наслідком відсутності залипання ґрунту, зменшеного коефіцієнта тертя та стабілізації силового режиму роботи плуга. Це, у свою чергу, створює сприятливі умови для підвищення якості основного обробітку ґрунту та ресурсу робочих органів.

Таким чином, результати розділу переконливо доводять, що поєднання раціональної схеми агрегування, застосування енергетичних модулів та використання композитних робочих органів створює технічно та енергетично доцільні умови для підвищення ресурсу плужних корпусів, зниження тягового опору, економії пального та стабілізації якості оранки, що повністю відповідає меті даної магістерської роботи. Застосована методика дозволяє комплексно визначати інтенсивність зношування, ресурс робочих органів плугів та їх вплив на енергоефективність і якість оранки, що повністю відповідає меті та завданням.

Отримані тензометричні дані використовували для побудови графіків зміни тягового опору в процесі напрацювання, а також для порівняльного аналізу енергетичних показників плуга зі сталевими та композитними робочими органами. Одночасно результати випробувань використовували для подальшої оцінки впливу зношування на зміну тягового опору та формування залежностей «знос – тягове зусилля - ресурс робочого органу»

В процесі проведення експериментальних досліджень було встановлено орний агрегат на фіксовану глибину оранки 25 см. Усі варіанти лабораторно-польових випробувань виконувалися за однакових режимів руху, при цьому машинно-тракторний агрегат на всіх дослідних проходах працював на одній і тій самій передачі. Це дало змогу виключити вплив зміни швидкісного режиму на величину тягового опору та забезпечити коректність порівняльної оцінки роботи плуга зі сталевими й композитними робочими органами.

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Техніко-економічна оцінка ефективності застосування композитних робочих органів плугів базується на аналізі сукупності показників, що характеризують ресурс деталей, витрати на технічний сервіс, енергетичні витрати під час виконання оранки та втрати, пов'язані з простоем техніки під час заміни зношених елементів.

4.1 Доцільність застосування композитних робочих органів плугів

Як показали результати експериментальних досліджень, використання композитних полиць і польових дощок із текрону забезпечує збільшення ресурсу робочих органів у 1,4 ... 1,7 раза порівняно зі сталевими деталями. Це означає, що за однакових умов експлуатації кількість замін композитних елементів упродовж виробничого сезону істотно зменшується. Відповідно, скорочуються витрати на придбання запасних частин, оплату ремонтних робіт та втрати робочого часу, пов'язані з простоем машинно-тракторного агрегату.

Зниження інтенсивності зношування робочих органів безпосередньо впливає на стабільність геометричних параметрів плужного корпусу, що дозволяє протягом тривалого часу зберігати оптимальну форму полиці та різальної кромки лемеша. Це, у свою чергу, сприяє зменшенню тягового опору агрегату та забезпечує стабільні питомі витрати пального. За результатами тензометричних і паливних вимірювань встановлено, що при застосуванні композитних робочих органів економія пального становить у середньому 8...12 % за рахунок зниження сил тертя та стабілізації силового режиму роботи плуга [15].

Важливою складовою економічного ефекту є також підвищення змінної та сезонної продуктивності орного агрегату. Завдяки зменшенню тягового опору та стабілізації швидкісного режиму агрегат здатний обробляти більшу площу за той

самий період часу, що особливо важливо в умовах обмежених агротехнічних строків виконання основного обробітку ґрунту.

4.2. Прогнозний розрахунок ресурсу лемешів плуга

Для визначення прогнозного ресурсу лемешів використаємо експериментальні значення лінійного зносу при напрацюванні 100 га: на знос сталевого лемеша при 100 га: $h_{ст} = 3,55$ мм; знос текронового лемеша при 100 га: $h_{тк} = 1,20$ мм [15].

Гранично допустимий знос лемеша, за якого він підлягає заміні, приймаємо:

$$h_{гр} = 5,0 \text{ мм}$$

Тоді прогнозний ресурс визначаємо за формулою:

$$L = \frac{100 \cdot h_{гр}}{h_{100}} \quad (4.1)$$

де L - прогнозний ресурс, га;

h_{100} - знос при 100 га.

Ресурс сталевого лемеша:

$$L = \frac{100 \cdot 5}{3,55} = 140,8 \text{ га}$$

Ресурс текронового лемеша:

$$L = \frac{100 \cdot 5}{1,20} = 416,7 \text{ га}$$

Порівняльний аналіз:

$$\frac{L_{тк}}{L_{ст}} = \frac{416,7}{140,8} = 2,96$$

Отже, ресурс текронового лемеша майже у 3 рази більший, ніж сталевого.

На основі прогнозного розрахунку встановлено, що ресурс сталевого лемеша становить близько 141 га, тоді як ресурс текронового лемеша досягає 417 га. Таким чином, застосування композитного матеріалу дозволяє збільшити

експлуатаційний ресурс лемешів майже у 3 рази, що безпосередньо знижує частоту заміни робочих органів, витрати на технічне обслуговування та підвищує загальну ефективність використання орного машинно-тракторного агрегату [15].

4.3. Економічний ефект від застосування текронових лемішів

Економічний ефект від застосування текронових лемешів визначається за рахунок: збільшення ресурсу робочих органів; зменшення кількості замін лемешів; зниження витрат на придбання запасних частин; зменшення простоїв техніки під час ремонту. Згідно з прогнозним розрахунком ресурсу $L_{\text{ст}} = 141$ га, $L_{\text{тк}} = 417$ га

$$N = \frac{S}{L} \quad (4.2)$$

Кількість лемішів на 1000 га визначаємо за формулою кількісних замін:

де S – загальна площа обробітку, га;

L – ресурс леміша, га.

Для сталевих лемішів:

$$N_{\text{ст}} = \frac{1000}{141} = 7,09 \approx 8 \text{ лемешів}$$

Для текронового леміша:

$$N_{\text{тк}} = \frac{1000}{417} = 2,4 \approx 3 \text{ лемеші}$$

Витрати на придбання лемішів приймаємо реальні ринкові ціни: сталевий леміш $C_{\text{ст}}=1200$ грн; текроновий леміш $C_{\text{тк}}=1800$ грн

Тоді сумарні витрати:

$$Z = N \cdot C \quad (4.3)$$

$$Z_{\text{ст}} = 8 \cdot 1200 = 9600 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{тк}} = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ грн}$$

Економічний ефект на 1000 га:

$$E = Z_{\text{ст}} - Z_{\text{тк}} \quad (4.4)$$

$$E = 9600 - 5400 = 4200 \text{ грн}$$

Таблиця 4.1 - Порівняльна економічна ефективність застосування сталевих і текронових лемішів на площі 1000 га

Показник	Одиниця вимірювання	Сталевий леміш	Текроновий леміш
Прогнозний ресурс леміша	га	141	417
Кількість лемішів на 1000 га	шт.	8	3
Вартість одного леміша	грн	1200	1800
Загальні витрати на леміші	грн	9600	5400
Абсолютна економія коштів	грн	—	4200
Зменшення кількості замін	разів	—	у 2,7 раза
Відносна економія	%	—	43,8

Аналіз даних, наведених у табл. 4.1, показує, що застосування текронових лемішів замість сталевих дозволяє зменшити кількість їхніх замін з 8 до 3 штук на кожні 1000 га обробітку. Незважаючи на вищу вартість одного текронового леміша, сумарні витрати на їх придбання зменшуються з 9600 до 5400 грн. Абсолютна економія коштів становить 4200 грн, що відповідає 43,8 % зниження витрат на робочі органи плуга. Окрім прямого економічного ефекту, досягається зменшення простоїв техніки та підвищення стабільності роботи орного агрегату. Незважаючи на вищу вартість одиниці композитного робочого органу, сумарні витрати на їх заміну зменшуються з 9600 до 5400 грн, що забезпечує економічний ефект у розмірі 4200 грн на кожні 1000 га обробітку. Відносне зниження витрат становить 43,8 %.

Висновки до розділу 4

Підвищення ресурсу робочих органів плугів є важливим чинником зростання економічної ефективності орного агрегату. Використання композитних робочих органів із підвищеною зносостійкістю дозволяє суттєво зменшити витрати на технічне обслуговування, скоротити простої під час замін та стабілізувати експлуатаційні показники плуга впродовж усього терміну його роботи. Із збільшення ресурсу робочих органів плуга безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат. Так, за умови обробітку 1000 га ріллі кількість замін сталевих робочих органів становить 8 одиниць, тоді як для композитних - лише 3 одиниці. Застосування текронових лемішів замість сталевих забезпечує економію коштів у розмірі 4200 грн на кожні 1000 га обробітку, що досягається за рахунок майже трикратного зростання ресурсу робочих органів. Окрім прямої економії, додатковий ефект забезпечується зниженням простоїв машинно-тракторного агрегату та стабілізацією тягового режиму роботи плуга. Окрім прямих витрат, значний економічний ефект формується за рахунок зменшення непрямих витрат, пов'язаних із погіршенням якості оранки при роботі зі зношеними сталевими робочими органами. Погіршення перевертання скиби, нестабільність глибини обробітку та зростання грудкуватості призводять до додаткових витрат на передпосівний обробіток та негативно впливають на умови росту сільськогосподарських культур. Застосування композитних робочих органів дозволяє уникнути цих витрат завдяки стабільній якості виконання технологічної операції. Сукупний техніко-економічний ефект від застосування композитних робочих органів плугів формується за рахунок збільшення їх ресурсу, зниження витрат на технічний сервіс, економії пального, підвищення продуктивності агрегату та стабілізації якості оранки. Отримані результати свідчать про економічну доцільність та виробничу ефективність впровадження полімерних композитних матеріалів у конструкцію робочих органів плугів.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

5.1. Загальні положення та небезпечні/шкідливі виробничі чинники

Виконання досліджень і виробнича експлуатація орного машинно-тракторного агрегату супроводжуються дією небезпечних і шкідливих чинників, які можуть призводити до травмування персоналу, професійних ризиків та негативного впливу на довкілля. Під час оранки плугом та проведення тензометричних вимірювань основними чинниками є: рухомі частини МТА та зони заземлення (навісний механізм, шарніри, опорне колесо, корпуси плуга); підвищене запилення повітря робочої зони; шум і вібрація від трактора та взаємодії робочих органів із ґрунтом; ризики перекидання або некерованого руху на схилах і нерівностях; травмонебезпека під час регулювання глибини та заміни робочих органів; електричні ризики при використанні тензодатчиків, підсилювачів і аналого-цифрового перетворювача; пожежна небезпека, пов'язана з паливно-мастильними матеріалами (ПММ); контакт із агресивними середовищами (мінеральні добрива, волога), що підсилює корозійні процеси та може спричиняти подразнення шкіри й слизових при потраплянні на відкриті ділянки тіла [16].

У межах теми роботи важливим фактором безпеки є технічний стан робочих органів плуга. Зношені лемеші та деформовані полиці збільшують тяговий опір, викликають ривки, підвищують вібрацію та динамічні навантаження, що погіршує керованість агрегату, підвищує втому оператора і ризик нештатних ситуацій. Використання матеріалів із нижчим коефіцієнтом тертя (зокрема композитних елементів) зменшує залипання ґрунту, знижує пікові навантаження і, відповідно, сприяє підвищенню безпеки праці за рахунок стабілізації силового режиму роботи МТА [17].

5.2. Вимоги безпеки під час підготовки, агрегування та регулювання плуга

До початку робіт трактор і плуг повинні пройти зовнішній огляд, перевірку справності гальмівної системи, рульового керування, світлової сигналізації, наявності захисних кожухів і справності навісного механізму. Особливу увагу приділяють кріпленню корпусів плуга, стану стояків, польових дощок, лемешів, опорного колеса, а також різьбових з'єднань і шплінтів. Забороняється експлуатація агрегату за наявності тріщин у рамі, деформацій навіски, люфтів у шарнірних з'єднаннях або розхитаних кріплень корпусів.

Агрегування плуга з трактором виконують на рівному майданчику при вимкненому двигуні (або на мінімальних обертах під контролем відповідальної особи), із застосуванням упорів під колеса за потреби. Під час під'єднання навісних тяг і центральної тяги заборонено перебування людей між трактором і плугом, а також у зоні можливого зміщення агрегату. Регулювання глибини оранки здійснюють після зупинки, фіксації агрегату та опускання плуга на опорні підкладки/підпори. Заміну робочих органів (лемешів, польових дощок, елементів полиці) виконують лише при повному розвантаженні з'єднань, використовуючи справний інструмент та рукавиці [17].

З метою зменшення ризику травмування рекомендовано застосовувати технологічні прийоми, які мінімізують ручні операції: використання штатних підйомних пристроїв, домкратів і підставок, а також дотримання послідовності демонтажу/монтажу. Після завершення регулювань обов'язково проводять контрольне підтягування кріплень, перевірку положення корпусів і пробний прохід із візуальною оцінкою стабільності ходу плуга.

5.3. Безпека під час проведення тензометричних вимірювань та роботи з електрообладнанням

Проведення тензометричних вимірювань тягового опору потребує додаткових заходів безпеки, оскільки використовується вимірювальна ланка з тензодатчиками, електрична схема підсилення сигналу та аналого-цифровий перетворювач із підключенням до комп'ютерної техніки. Усі елементи електроланцюга мають бути надійно закріплені, захищені від вологи, пилу та механічних ушкоджень. Проводи прокладають так, щоб виключити їх перетирання об раму, зачеплення рухомими частинами або потрапляння під колеса; місця проходу через металеві отвори виконують із захисними втулками.

Перед початком дослідів здійснюють перевірку працездатності системи на холостому режимі, а також тарування тензометричної ланки на стенді з прикладанням каліброваних навантажень. Під час тарування та підключення апаратури забороняється робота з оголеними контактами; під'єднання виконують при знеструмленій системі. Розміщення комп'ютера та АЦП у польових умовах повинно виключати їх падіння та контакт із ґрунтовою вологою; за можливості використовують захисні кейси. У разі появи нестабільного сигналу, запаху перегріву, пошкодження ізоляції або зволоження електрообладнання досліді негайно припиняють до усунення причин [17].

5.4. Вимоги до мікроклімату, пилу, шуму та засобів індивідуального захисту

Під час оранки, особливо на сухих ґрунтах, виникає запилення, яке погіршує умови праці та підвищує ризики подразнення органів дихання. Для зниження дії пилу рекомендовано виконувати роботи за оптимальної вологості ґрунту та

уникати надмірних швидкісних режимів, що викликають інтенсивне руйнування структури орного шару. Додатковим фактором є шум і вібрація, що зростають із підвищенням тягового опору та нерівномірністю навантаження. Застосування робочих органів із кращими антифрикційними властивостями (зокрема композитних елементів) сприяє зменшенню пікових навантажень і стабілізації силового режиму, а отже - підвищує комфорт і безпеку праці оператора [17].

Оператор МТА повинен застосовувати засоби індивідуального захисту відповідно до умов робіт: щільний спецодяг, захисне взуття, рукавиці при регулюваннях і замінах деталей, захисні окуляри при роботі з інструментом та очищенні деталей від ґрунту, а за потреби - респіратор проти пилу. Під час тривалих робіт у шумному середовищі доцільне використання засобів захисту слуху. Організаційно важливо забезпечити режим праці та відпочинку, щоб зменшити стомлюваність і ризик помилок при керуванні агрегатом.

5.5. Пожежна безпека та поводження з ПММ

Під час експлуатації трактора та виконання досліджень необхідно дотримуватися вимог пожежної безпеки: контролювати герметичність паливної системи, недопускати підтікання ПММ, очищувати двигун і агрегати від налиплого бруду та рослинних решток. Заправку виконують на спеціально відведених майданчиках із вимкненим двигуном, не допускаючи потрапляння палива на гарячі поверхні. Вогнегасник має бути справним і доступним у кабіні або на тракторі. Заборонено використання відкритого вогню для прогрівання вузлів, сушіння або очищення деталей [17].

5.6. Заходи захисту довкілля під час оранки та експлуатації плугів

Основними екологічними аспектами роботи орного агрегату є вплив на ґрунтовий покрив, забруднення повітря пилом і відпрацьованими газами, а також ризики локального забруднення ґрунту й води ПММ або залишками агрохімікатів. Для зменшення негативного впливу необхідно: дотримуватися агротехнічно обґрунтованої глибини оранки; уникати виконання робіт на надмірно вологих ґрунтах, де зростає ущільнення та порушення структури; зменшувати пробуксовування, що підсилює руйнування ґрунту й прискорює зношування робочих органів; забезпечувати правильне агрегування і регулювання плуга, що знижує тяговий опір і витрати пального [16, 17].

Важливою складовою є технічний стан робочих органів. Зношені лемеші й полиці підвищують тяговий опір, збільшують витрати пального та викиди продуктів згоряння на одиницю виконаної роботи. Підвищення ресурсу робочих органів через застосування матеріалів із високою зносостійкістю та антифрикційними властивостями дозволяє довше підтримувати стабільну геометрію робочих поверхонь, зменшувати енерговитрати та опосередковано знижувати екологічне навантаження.

У частині поводження з відпрацьованими деталями слід забезпечити збір зношених металевих елементів для подальшої здачі на вторинну переробку [16, 17]. Композитні елементи після відпрацювання ресурсу повинні накопичуватися окремо та передаватися на утилізацію відповідно до прийнятої на підприємстві системи поводження з відходами. Забороняється залишати зношені деталі в полі або спалювати полімерні матеріали.

Висновки до розділу 5

У розділі обґрунтовано основні вимоги охорони праці та захисту довкілля під час експлуатації орного машинно-тракторного агрегату і проведення експериментальних досліджень ресурсу робочих органів плугів. Визначено, що ключовими небезпечними чинниками є рухомі частини МТА, зони защемлення при агрегуванні, підвищені пилові навантаження, шум і вібрація, а також електричні ризики при використанні тензометричної апаратури та пожежна небезпека, пов'язана з ПММ. Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, які забезпечують безпечне виконання регулювань, заміни робочих органів і проведення вимірювань у польових умовах. Показано, що підтримання належного технічного стану плуга та підвищення ресурсу робочих органів сприяють стабілізації силового режиму, зменшенню динамічних навантажень і опосередковано знижують екологічне навантаження за рахунок зменшення витрат пального та викидів на одиницю виконаної роботи.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У магістерській роботі вирішено науково-практичну задачу підвищення ресурсу робочих органів плугів шляхом удосконалення матеріального виконання полиць і польових дощок, що є особливо актуальним в умовах зростання інтенсивності механічного навантаження на ґрунт та підвищених вимог до енергоефективності сільськогосподарських машин. Оранка, як одна з основних операцій системи основного обробітку ґрунту, і надалі залишається визначальним елементом у формуванні агрофізичних властивостей ґрунту, а тому потребує постійного вдосконалення конструкцій робочих органів і матеріалів для їх виготовлення.

У результаті теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що застосування композитного матеріалу текрон для виготовлення полиць і польових дощок суттєво знижує сили тертя у зоні контакту «ґрунт – робочий орган», що забезпечує зменшення тягового опору плуга, стабілізацію силового режиму його роботи та створює сприятливі умови для зниження інтенсивності абразивного зношування. Встановлено, що характер спрацювання композитних елементів має переважно згладжувальний характер без глибокого мікрорізання і локальних руйнувань, що принципово відрізняє їх від сталевих аналогів.

Порівняльна оцінка ресурсу робочих органів показала, що полиці та польові дошки з текрону мають підвищену довговічність, а їхній ресурс у середньому зростає у 1,4...1,7 рази порівняно зі сталевими. При цьому знижується приріст тягового опору в процесі напрацювання, що дозволяє протягом більш тривалого періоду експлуатації підтримувати стабільні енергетичні показники орного машинно-тракторного агрегату.

Експериментальні дослідження в польових умовах підтвердили, що для сталевих полиць характерним є явище залипання ґрунтом, яке призводить до зростання сил тертя, збільшення тягового опору та нерівномірності навантаження

на корпуси плуга. Водночас для текронових полиць залипання практично не спостерігалось, що позитивно вплинуло на стабільність глибини оранки, рівномірність ходу плуга та зниження пікових навантажень на робочі органи.

Техніко-економічна оцінка показала, що застосування композитних робочих органів забезпечує не лише підвищення їх ресурсу, а й економію пального, зменшення витрат на технічний сервіс, скорочення простоїв агрегату та підвищення змінної продуктивності. Сукупний ефект від упровадження текронових елементів формується за рахунок поєднання енергетичної ефективності та зростання експлуатаційної надійності плуга.

Отже, використання композитних полиць і польових дощок із текрону в конструкції плугів є технічно обґрунтованим, енергетично доцільним та економічно вигідним рішенням, що дозволяє суттєво підвищити ресурс робочих органів і забезпечити стабільну якість виконання оранки.

Для подальшого впровадження запропонованих технічних рішень доцільно рекомендувати проведення розширених виробничих випробувань у різних ґрунтово-кліматичних зонах, а також дослідження впливу композитних матеріалів на довговічність лемешів та інших елементів плужного корпусу з метою комплексного підвищення ресурсу всього робочого органу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.
2. Гарькавий А.Д., Кондратюк Д.Г., Холодюк О.В. Експлуатація техніки та обладнання в рослинництві. Вінниця : ВНАУ, 2005. 312 с.
3. Надикто В.Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації // Техніка і технології АПК. 2011. № 9. С. 12–16.
4. Ловейкін В.С., Дяченко Л.А. Методика експериментального дослідження параметрів віброплуга з гідравлічними вібраторами // Вісник ХНАДУ. 2012. Вип. 57. С. 85–90.
5. Білецький В.Р. Переушільнення ґрунту рушіями мобільної сільськогосподарської техніки. Житомир : ДААУ, 2000. 43 с.
6. Короткевич П.С., Гапоненко В.С., Гаврилюк Г.Р., Ямков О.В. Основні напрямки та способи зменшення ущільнюючої дії ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки на ґрунт // Науковий вісник НАУ. 2000. Вип. 9. С. 59–62.
7. Шелудченко Б.А. Агромеханіка ґрунтів. Житомир : Полісся, 2002. 249 с.
8. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів / за ред. Г.С. Писаренка. Київ : Вища школа, 2004. 665 с.
9. Gasparin A., Tormena C.A., Meyer R.L. Compaction effects on soil physical properties and root growth // Soil & Tillage Research. 2019. Vol. 194. 104328. DOI: 10.1016/j.still.2019.104328.
10. Kushwaha R.L., Zhang Z.X. Evaluation of tillage tool wear under field conditions // Canadian Biosystems Engineering. 2005. Vol. 47. P. 2.1–2.8.
11. Godwin R.J. Agricultural engineering in development: Tillage for crop production. FAO, Rome, 2007. 410 p.

12. Li Y., Chen Y., Li B. Wear characteristics of plough moldboard under different working conditions // Tribology International. 2018. Vol. 120. P. 583–592.
13. Choi C.H., Lee S.H. Wear performance of polymer composite materials in agricultural soil interaction // Wear. 2016. Vol. 338–339. 327–335.
14. ASAE Standard EP542. Procedures for using soil bins for traction testing. American Society of Agricultural Engineers, 2010.
15. Upadhyaya S.K., Chancellor W.J. Engineering principles of agricultural machines. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, 2016. 426 p.
16. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. Охорона праці в галузі сільського господарства (тваринництво, птахівництво) : навч. посіб. / І. П. Пістун, А. П. Березовецький, С. А. Березовецький. Суми : Університетська книга, 2018. 503 с.
17. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. Охорона праці в галузі сільського господарства (рослинництво) : навч. посіб. / І. П. Пістун, А. П. Березовецький, С. А. Березовецький. Суми: Університетська книга, 2018. 367 с.