

АНОТАЦІЯ

Савченко Сергій Миколайович «Удосконалення технології зміцнення деталей ґрунтообробної техніки».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з агроінженерії за освітньо – професійною програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено теоретичні основи обраної теми, а також практичні аспекти її реалізації в сучасних економічних умовах. Актуальність теми обґрунтована тим, що ефективність ведення сільського та лісового господарства безпосередньо залежить від надійності та довговічності машинно – тракторного парку, зокрема ґрунтообробної техніки. Робочі органи, такі як леміші та долота плуга ПЛ-75-15М, експлуатуються в особливо агресивних умовах, що характеризуються інтенсивним абразивним зносом та високими ударними навантаженнями. Швидкий знос цих деталей призводить до значних економічних втрат, пов'язаних із частою заміною запасних частин, перевитратою пального та тривалими простоями техніки.

Проаналізовано актуальний стан проблематики, виявлено основні тенденції та закономірності розвитку відповідної сфери діяльності. Об'єктом дослідження є процес зносу та відновлення робочих органів ґрунтообробної техніки, зокрема лемішів та доліт плуга ПЛ-75-15М, які використовуються в умовах лісового господарства. Предметом дослідження є технологія наплавлення твердими сплавами як метод підвищення зносостійкості деталей плуга, її техніко – економічна ефективність та порівняння з альтернативними методами зміцнення.

Особливу увагу приділено аналізу чинної нормативно – правової бази, досягненнях наукових підходів і практичного досвіду. У роботі проведено дослідження ефективності існуючих механізмів, виявлено їх недоліки та запропоновано шляхи удосконалення з урахуванням інноваційних технологій та сучасних вимог. Проведено огляд традиційних методів зміцнення, включаючи термічну та хіміко – термічну обробку (цементация, азотування, борування,

нітроцементация). Виконано порівняльний аналіз технології наплавлення твердими сплавами з лазерним зміцненням. Наплавлення виявилось найбільш економічно вигідним рішенням для масового відновлення, забезпечуючи збільшення ресурсу в 2 – 4 рази.

Розроблено заходи та обґрунтовано вимоги з охорони праці для безпечного проведення робіт із наплавлення, зважаючи на шкідливі та небезпечні фактори (електротравми, токсичні аерозолі, випромінювання).

Розроблено практичні рекомендації для підвищення ефективності та результативності процесів в лісогосподарському підприємстві. Техніко – економічна оцінка підтвердила, що наплавлення є високорентабельним: питомі витрати на робочий орган знижуються з 53,33 грн/га до 5,56 грн/га, що забезпечує річну економію коштів у розмірі 48 100 грн при обсязі робіт 1000 га. Технологія наплавлення є технічно обґрунтованою, оскільки вона не лише відновлює, а й значно покращує властивості деталі, багаторазово підвищуючи її ресурс.

Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення управління ресурсами аграрних та лісогосподарських підприємств, забезпечуючи багаторазове збільшення ресурсу деталей, зниження витрат на запасні частини та мінімізацію часу простоїв техніки.

Ключові слова: наплавлення , зміцнення , леміш , долото , зносостійкість , ПЛ – 75 – 15М , абразивний знос , лазерне зміцнення , техніко – економічна ефективність , охорона праці.

ABSTRACT

Savchenko Serhii Mykolaiovych "Improvement of the Technology for Strengthening Components of Soil-Tillage Machinery."

Master's Qualification Thesis in Agroengineering under the educational and professional program "Precision Farming Systems," specialization 208 "Agroengineering." Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

This qualification thesis investigates the theoretical foundations of the chosen topic, as well as the practical aspects of its implementation in modern economic conditions. The relevance of the topic is substantiated by the fact that the efficiency of agriculture and forestry directly depends on the reliability and durability of the machinery and tractor fleet, particularly soil-tillage equipment. Working parts, such as plows shares and chisels of the PL-75-15M plow, operate in especially aggressive environments characterized by intensive abrasive wear and high impact loads. The rapid wear of these components leads to significant economic losses associated with frequent replacement of spare parts, excessive fuel consumption, and extended equipment downtime.

The current state of the problem is analyzed, and the main trends and patterns in the development of the relevant field of activity are identified. The object of the study is the process of wear and restoration of the working parts of soil-tillage machinery, specifically the shares and chisels of the PL-75-15M plow, used in forestry conditions. The subject of the study is the hardfacing technology with hard alloys as a method for increasing the wear resistance of plow components, its technical and economic efficiency, and comparison with alternative strengthening methods.

Special attention is paid to the analysis of the current regulatory and legal framework, scientific achievements, and practical experience. The work conducts a study of the effectiveness of existing mechanisms, identifies their shortcomings, and proposes ways for improvement, taking into account innovative technologies and modern requirements. An overview of traditional strengthening methods is performed, including thermal and chemical-thermal treatment (cementation, nitriding, boriding, nitrocarburizing). A comparative analysis of hardfacing technology with

hard alloys versus laser strengthening is conducted. Hardfacing was found to be the most economically viable solution for mass restoration, providing a 2 to 4-fold increase in service life.

Measures are developed and requirements for occupational safety are substantiated for the safe execution of hardfacing work, considering harmful and dangerous factors (electric shock, toxic aerosols, radiation).

Practical recommendations are developed to increase the efficiency and productivity of processes in a forestry enterprise. The technical and economic assessment confirmed that hardfacing is highly profitable: specific costs per working part are reduced from 53.33 UAH/ha to 5.56 UAH/ha, which ensures an annual cost saving of 48,100 UAH with a work volume of 1,000 ha. Hardfacing technology is technically sound, as it not only restores but also significantly improves the properties of the component, multiplying its service life.

The results of the study can be used to improve resource management in agricultural and forestry enterprises, ensuring a manifold increase in the service life of components, reduced costs for spare parts, and minimized equipment downtime.

Keywords: hardfacing, strengthening, plow share, chisel, wear resistance, PL-75-15M, abrasive wear, laser strengthening, technical and economic efficiency, occupational safety.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ	14
1.1 Види ґрунтів, їх специфіка на лісових ділянках	14
1.2 Технічні засоби, які використовуються для обробки ґрунту у лісовому господарстві. Будова та характеристики плугу ПЛ-75-15М	17
1.3 Види та механізми зносу, основні вимоги до матеріалів та деталей ґрунтообробної техніки у лісовому господарстві	20
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ	25
2.1 Традиційні методи зміцнення: термічна та хіміко-термічна обробка	25
2.2 Огляд технологій поверхневого зміцнення: наплавлення, плазмового та лазерного	33
2.3 Характеристика фізико-механічних методів зміцнення деталей, таких як поверхнєве пластичне деформування та формування покриттів	36
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ЛЕМІШІВ ТА ДОЛОТА ПЛУГА ПЛ – 75 – 15М	39
3.1 Оцінка ефективності використання технології	39
3.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків наплавлення твердими сплавами та лазерного зміцнення деталей плуга	42
3.3 Аналіз результатів експлуатаційних випробувань зміцнених деталей в умовах лісового господарства	48
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПЛУГА ПЛ – 75 – 15М	50
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	53
5.1 Шкідливі та небезпечні фактори при проведенні робіт по наплавленню	53
5.2 Заходи по усуненню шкідливих та небезпечних факторів при проведенні наплавлення для деталей робочої частини плуга	55
ВИСНОВКИ	57

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

59

ДОДАТКИ

61

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність ведення сільського та лісового господарства безпосередньо залежить від надійності та довговічності машинно – тракторного парку, ключове місце в якому займає ґрунтообробна техніка. Робочі органи плугів, такі як леміші та долота плуга ПЛ-75-15М, експлуатуються в особливо агресивних умовах, що характеризуються інтенсивним абразивним зносом, високими ударними навантаженнями та наявністю твердих включень (каміння, коріння), особливо при роботі на лісових ділянках. Швидкий знос цих деталей призводить до значних економічних втрат, пов'язаних із необхідністю частої заміни запасних частин, зростанням тягового опору, перевитратою пального та тривалими простоями техніки. Тому розробка та впровадження ефективних, економічно обґрунтованих методів підвищення ресурсу цих деталей є важливим науково – технічним завданням.

Аналіз стану наукової розробки проблеми. Проблема підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки є предметом численних досліджень. Традиційні підходи зосереджені на термічній та хіміко – термічній обробці, які забезпечують високу твердість поверхні. Сучасні підходи включають наплавлення твердими сплавами, лазерне зміцнення та плазмове зміцнення, які пропонують локальне зміцнення та ефект самозаточування. Наявні наукові прогалини та суперечності, що потребують подальшого дослідження. Перш за все, це вибір оптимальної технології для лісового господарства. Незважаючи на високу ефективність лазерного зміцнення, його висока вартість та нездатність відновлювати втрачену масу роблять його менш придатним для масового відновлення. Необхідне чітке техніко – економічне обґрунтування пріоритетності наплавлення в умовах, де домінує абразивний та ударний знос від коріння та каміння. Не менш важливими є ризики наплавлення. Недоліки традиційного наплавлення, такі як велика зона термічного впливу, ризик деформації та викришування шару при ударах, вимагають детального аналізу заходів для їх мінімізації.

Мета дослідження полягає в теоретичному обґрунтуванні та експериментальній оцінці техніко – економічної доцільності використання технології наплавлення для зміцнення лемішів та доліт плуга ПЛ-75-15М для забезпечення максимального ресурсу та зниження експлуатаційних витрат.

Об'єктом дослідження є процес зносу та відновлення робочих органів ґрунтообробної техніки, зокрема лемішів та доліт плуга ПЛ-75-15М, які використовуються в умовах лісового господарства.

Предмет дослідження – технологія наплавлення твердими сплавами як метод підвищення зносостійкості деталей плуга, її техніко-економічна ефективність та порівняння з альтернативними методами зміцнення.

Завдання дослідження:

1. Аналіз особливостей експлуатації плуга ПЛ-75-15М та ідентифікувати основні види та механізми зносу робочих деталей в умовах лісового господарства.
2. Провести огляд та порівняльний аналіз традиційних і сучасних технологій зміцнення (термічна обробка, наплавлення, лазерне зміцнення) з метою вибору найбільш ефективного методу.
3. Оцінити технічну та економічну ефективність застосування технології наплавлення твердими сплавами на лемішах та долотах плуга.
4. Провести порівняльний аналіз переваг та недоліків наплавлення та лазерного зміцнення за ключовими експлуатаційними критеріями.
5. Розробити заходи та обґрунтувати вимоги з охорони праці для безпечного проведення робіт із наплавлення.

У роботі використано наступні **методи дослідження:**

- 1) Теоретичний аналіз та синтез (для вивчення наукових джерел, класифікації ґрунтів та систематизації методів зміцнення).
- 2) Системний підхід (для розгляду плуга ПЛ-75-15М як системи, що взаємодіє з агресивним середовищем).
- 3) Емпіричні методи (для аналізу результатів експлуатаційних випробувань зміцнених деталей).

4) Метод математичного моделювання та розрахунку (для техніко – економічної оцінки, включаючи розрахунок коефіцієнта зносостійкості (K_{3H}) та питомих витрат на гектар ($C_{\text{пит.ст}}$, $C_{\text{пит.зн}}$)).

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел.

Робота містить:

Розділ 1: Аналіз особливостей експлуатації та зносу деталей у лісовому господарстві.

Розділ 2: Огляд традиційних та сучасних технологій зміцнення.

Розділ 3: Аналіз ефективності застосування технології наплавлення.

Розділ 4: Техніко-економічна оцінка підвищення зносостійкості.

Розділ 5: Охорона праці.

У роботі представлені таблиці та формули, що відображають технічні та економічні показники.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ

1.1 Види ґрунтів, їх специфіка на лісових ділянках

Території лісового господарства України розміщуються на різних видах ґрунтів. Їхня типологія залежить від складу, вмісту гумусу, потужності горизонтів.

Те, як речовини та енергія змінюються і рухаються у ґрунті, призводить до його розділення на окремі шари — генетичні горизонти. З'єднання цих горизонтів від поверхні до материнської породи відоме як ґрунтовий профіль. Процеси, що формують горизонти, також надають їм певних характеристик і назв.

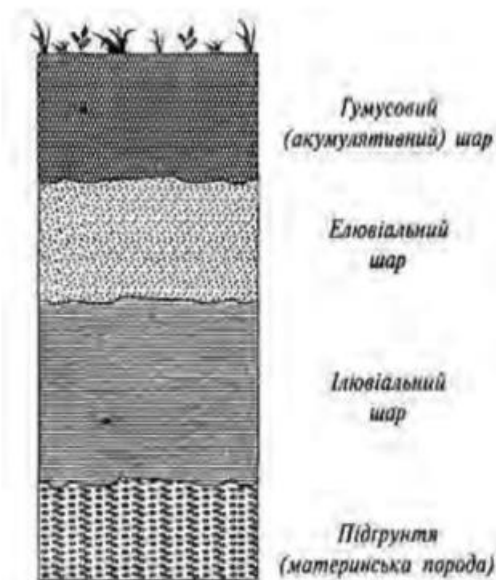


Рисунок 1.1 Схема ґрунтового профілю

Найпоширенішими ґрунтами для лісового господарства є дерново-підзолисті, бурі лісові(або буроземи) та сірі лісові. (Додаток 1).

Дерново-підзолисті ґрунти найхарактерніші для зони Полісся та регіонів помірного поясу за умови надмірного або періодично промивного водного режиму(опади перевищуватимуть випаровування на даних ділянках).

Представниками рослинності є хвойні та мішані ліси, у яких підстилка представлена кислим гумусом.

На формування цих ґрунтів одночасно або по чергові впливають два основні процеси: підзолистий (елювіальний) та дерновий (аккумулятивний). Елювіальний є домінуючим процесом, оскільки його суть полягає у руйнуванні мінералів і винесенні оксидів заліза, алюмінію та глинистих частинок з верхнього горизонту вниз по профілю. Це відбувається через органічні кислоти, що утворюються при розкладі кислої лісової підстилки. Поверхня ґрунту тут вкрита мертвою лісовою підстилкою, оскільки трав'яна рослинність у цьому лісі майже не росте. Дерновий процес (або гумусоаккумуляція), тобто утворення та накопичення органічних і органо-мінеральних речовин у верхньому шарі ґрунту, що відбувається внаслідок розкладу корневих решток трав'янистих рослин. У будь-якому випадку, речовини, утворені під час розкладання органіки та ґрунтоутворення, накопичуються на місці, у верхніх горизонтах ґрунту.

Специфічним є те, що формуються вони під хвойними та мішаними лісами в умовах надмірного зволоження. Характеризуються вони підзолистим процесом (вилуговування та винесення мінеральних сполук і гумусу з верхніх горизонтів), що призводить до утворення бідного на поживні речовини горизонту (схожого на попіл). Ці ґрунти зазвичай кислі, мають низький вміст гумусу (до 1,5–2%), піщаний або супіщаний механічний склад. Такий чином цей тип ґрунту є високо абразивним, що спричиняє швидкий абразивний знос робочих органів ґрунтообробної техніки.

Ці ґрунти найбільш поширені в гірських регіонах України: в Українських Карпатах та Кримських горах. Вони, як правило, утворюються під широколистяними лісами (наприклад, з бука чи граба) або смерековими насадженнями. Для їхнього формування необхідний м'який, помірно теплий і вологий клімат із зазначеним вище промивним водним режимом. Серед бурих лісових ґрунтів виділяють кілька основних підтипів, зокрема: звичайні бурі лісові, опідзолені бурі лісові та дерново-буроземні підтипи. Характеризуються слабкою диференціацією профілю, тобто відсутність чіткого підзолистого

горизонту, оглиненням (глиноутворенням) та гумусово-аккумулятивним процесом. Можуть бути кислими або слабокислими. Вони зазвичай щибенисті (особливо в горах), з вмістом гумусу 2,5-6,0% (інколи до 8%). Наявність щибню та уламків гірських порід спричиняє ударно-абразивний знос і високі динамічні навантаження на робочі органи лісогосподарської техніки.

Сірі лісові є перехідним типом ґрунтів між дерново-підзолистими та чорноземами. Вони поширені у Лісостеповій зоні та в південній частині зони мішаних лісів. Формуються вони зазвичай під широколистяними лісами (дуб, граб) на лесоподібних суглинках при достатній вологості. Відбувається це за умови, якщо є багата лісова фауна з достатком деревних і трав'янистих рослин.

Дані ґрунти поєднують у собі ознаки дернового процесу та опідзолення, з менш вираженим вилуговуванням, ніж у підзолистих ґрунтів. Дерновий процес сприяє накопиченню значної кількості гумусу у верхньому шарі завдяки трав'яній та лісовій рослинності. А процес опідзолення сприяє механічному винесенню (переміщенню) глинистих частинок із верхнього горизонту в нижній під дією води. Він слабший, ніж справжній підзолистий процес, але призводить до диференціації профілю.

Поділяються на світло-сірі, сірі та темно-сірі. Поділ їх здійснюється за кольором та кількістю гумусної складової у верхніх шарах. Це переважно суглинкові або легкоглинисті ґрунти. Дана особливість обумовлює вищий опір ґрунту при обробці порівняно з піщаними підзолами. Сірі лісові ґрунти в основному кислі у верхніх горизонтах ($pH \approx 5.5-6.5$), але ближче до нейтрального в нижній частині профілю через карбонатну материнську породу.

Сірі ґрунти часто є у користуванні лісового господарства. Але щільний ілювіальний горизонт ускладнює дренаж і може сприяти застою вологи, а також вимагає значних енерговитрат при глибокій обробці. Також суглинковий склад на схилах схильний до водної ерозії, що вимагає обережності при використанні ґрунтообробної техніки. При цьому абразивний знос менший, ніж на піщаних підзолах, але високий опір суглинку збільшує навантаження на тягові елементи та робочі органи ґрунтообробної техніки.

1.2 Технічні засоби, які використовуються для обробки ґрунту у лісовому господарстві . Будова та характеристики плугу ПЛ-75-15М

Обробка ґрунту в лісовому господарстві – це ключовий етап підготовки вирубок під створення нових лісових насаджень, боротьби з ерозією, створення протипожежних смуг та покращення умов для природного відновлення. Техніка поділяється за призначенням, типом агрегування та умовами застосування. Нижче наведено систематизований перелік основних технічних засобів з коротким описом, характеристиками та прикладами.

Таблиця 1.1 Плуги лісогосподарські (для нарізки борозен і смуг)

Модель	Призначення	Агрегування	Характеристики	Виробник
ПЛ-75-15М	Нарізка борозен 75×15 см на нерозкорчованих вирубках	МТЗ-80/82, Т-40, ЮМЗ	Глибина 12-15 см, ширина 75 см, маса 400 кг	ТОВ "Спецлісмаш" (Україна)
ПЛН-3-35	Глибока оранка під садіння (до 35 см)	Трактори класу 1,4-2,0	3 корпуси, ширина захвату 1,05 м	Заводи РФ/Білорусь
ПД-1,2	Дисковий плуг для легких ґрунтів	ЛТЗ-55, МТЗ-80	Діаметр дисків 600 мм, глибина до 20 см	Україна/Польща
Л-134	Лісовий плуг для смуг під посів	Трактори 1,4-3,0 т	Ширина смуги 1,3 м, глибина 15-25 см	Білорусь

Таблиця 1.2 Фрези та розпушувачі ґрунту

Модель	Призначення	Агрегування	Особливості
ФЛУ-0,8	Фрезерування верхнього шару (до 20 см)	МТЗ-80, Т-70С	Ширина захвату 80 см, роторний ніж
РЛ-2,0	Глибоке розпушування (до 40 см)	Т-150, К-700	Зубові лапи, для важких ґрунтів
ГРЛ-1,5	Гребеневе розпушування під садіння	МТЗ-82	Формує гребені висотою 25-30 см

Таблиця 1.3 Дискові борони та культиватори

Модель	Призначення	Агрегатування	Характеристики
БДЛ-1,8	Подрібнення рослинних залишків, вирівнювання	МТЗ-80	18 дисків, глибина 10-15 см
КЛ-2,6	Культивация міжрядь у молодняках	Т-25, МТЗ-50	Ширина 2,6 м, пружинні стійки
БДТ-3,0	Важка дискова борона	Т-150	Глибина до 18 см, маса 1800 кг

Вибір конкретного технічного засобу завжди залежить від типу ґрунту, рельєфу ділянки та ступеня засміченості (наявність пнів та решток на ньому). Найпоширеніший комплект для середнього лісгоспу України являється таким: МТЗ-82 + ПЛ-75-15М + ФЛУ-0,8 + БДЛ-1,8. Цей набір забезпечує повний цикл: від нарізки борозен до вирівнювання та мульчування.

Плуг ПЛ-75-15М є спеціалізованою лісгосподарською машиною, призначеною для первинної обробки ґрунту на нерозкорчованих вирубках. Він застосовується для нарізання борозни під посів насіння або саджанців лісових культур, а також слугує для створення мінералізованих протипожежних смуг. Ця техніка використовується в лісових і лісостепових зонах України та в інших регіонах з подібним кліматом, де ґрунт може бути вкритим залишками рослинності без попередньої вирубки. Плуг забезпечує якісну підготовку ділянки, мінімізуючи витрати на ручну працю та підвищує продуктивність лісгосподарських робіт. Його конструкція здатна до роботи на важких, забур'яненних ґрунтах, з акцентом на просте й надійне обслуговування.

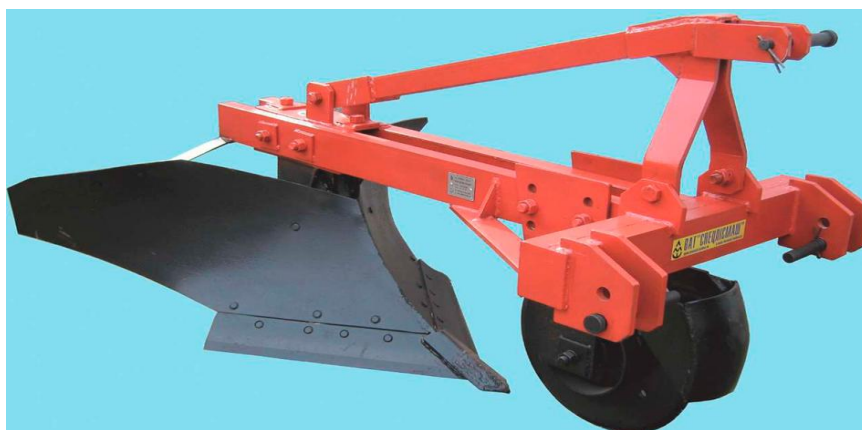


Рисунок 1.2 Плуг ПЛ-75-15М

Плуг ПЛ-75-15М і основні частини плуга:

Рама – це зварна конструкція, що слугує основою для кріплення всіх робочих органів та механізму навіски. Корпус плуга двополицевий (двовідвальний). Він складається зі зварного остова, до якого з обох боків кріпляться дві полиці. Леміші зварені між собою спереду полиць. Ніж дисковий приєднується до рами перед корпусом. Його функція – це розрізати верхній шар ґрунту перед тим, як його підніме корпус плуга. Розміщений у вертикальній площині. Механізм навіски слугує для приєднання плуга до трактора.

Таблиця 1.4 Характеристики Плуга ПЛ-75-15М

Характеристики	Значення
Тип плуга	Навісний
Агрегатується з трактором класу, т.с.	1,3-3,0
Ширина борозни, мм.	750
Глибина борозни, мм.	120-150
Регулювання глибини борозни	Безступінчасте
Продуктивність, км/год.	До 2,5
Обслуговуючий персонал, осіб	1 (тракторист)
Маса (не менше), кг.	380
Габаритні розміри (Д*Ш*В), мм.	Приблизно 1780x1700x1500
Дорожній просвіт, мм.	500

Даний плуг дозволяє створювати борозну шириною 75 см. і глибиною 12-15 см. що є оптимальним для посадки саджанців або висівання насіння лісових культур.

1.3 Види та механізми зносу , основні вимоги до матеріалів та деталей ґрунтообробної техніки у лісовому господарстві

Знос робочих органів ґрунтообробної техніки, такої як плуги, культиватори, борони, фрези тощо, є ключовим та визначає термін служби машин, особливо в умовах лісового господарства, де ґрунт часто містить абразивні частинки (пісок, корені, каміння), вологу та органічні залишки.

Знос – це процес, який відбувається під дією тертя , сприяє руйнуванню поверхні твердого тіла і призведе до зміни розмірів, форми та механічних властивостей деталей. Швидкість зносу залежить від умов тертя, матеріалів та середовища, а зносостійкість оцінюється як опір цьому процесу.

Основні види зносу класифікуються за ГОСТ 27674-88 та структурно-енергетичною теорією тертя (Б.І. Костецький). У ґрунтообробній техніці домінують абразивний, втомний та корозійно – механічний види, оскільки машини працюють в агресивному абразивному середовищі.

Знос робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема лемішів та долота лісового плуга ПЛ-75-15М, є неминучим процесом, який значно впливає на якість роботи, витрату пального та загальну ефективність агрегату. Основним типом зносу, що виникає при взаємодії з ґрунтом, є абразивний знос, який поділяється на механічний та механохімічний.

Механічний абразивний знос є найпоширенішим і найінтенсивнішим видом зносу при оранці. Він відбувається безпосередньо через фізичну взаємодію металу з твердими частинками ґрунту.

Тверді, гострокутні частинки ґрунту, такі як кварц, польовий шпат, інші мінерали, врізаються у поверхню леміша чи долота під дією значного тиску та швидкості руху. Це призводить до утворення мікроподряпин, борозен та сколів. Наслідком є затуплення ріжучої крайки леміша і носка долота, що збільшує опір плуга і, відповідно, витрату пального. Також відбувається зменшення товщини леміша та долота, зміна їхньої геометричної форми, тобто втрата гостроти та викривлення робочої поверхні. Стирання нижньої частини леміша та долота, а також польової дошки, що викликає зниження стійкості ходу плуга.

На даний процес впливають багато факторів. Наприклад, чим вища твердість ґрунту, тим інтенсивніший знос. Також важливо пам'ятати, що піщані та супіщані ґрунти більш абразивні, ніж глинисті. Сухий ґрунт діє агресивніше на техніку. Зі збільшенням швидкості оранки також зростає знос техніки. Інтенсивність зносу ще залежить від твердості та зносостійкості сталі (наприклад, сталь Л53, Л65).

Механохімічний абразивний знос – це комплексний процес, при якому механічне стирання (абразія) поєднується з хімічними або електрохімічними процесами (корозією).

Цей вид зносу полягає в тому, що під час роботи ґрунт стирає захисну оксидну плівку з поверхні металу. Оголений, хімічно активний метал одразу ж вступає в реакцію з вологою, киснем та хімічними сполуками, такими як солі, органічні кислоти, що містяться у ґрунті, утворюючи нові, менш міцні продукти корозії. Ці продукти, у свою чергу, легко стираються наступними абразивними частинками. Хоча механохімічний знос зазвичай менш інтенсивний, ніж чиста абразія, він посилює загальний темп руйнування, оскільки метал стає більш вразливим. У кислих чи засолених ґрунтах цей вид зносу може бути значним.

Втомний знос (або втома матеріалу) робочих органів ґрунтообробної техніки – це процес руйнування матеріалу, який відбувається під дією багаторазових циклічних навантажень, навіть якщо їхня величина значно менша за межу міцності матеріалу при одноразовому статичному навантаженні.

У лісовому господарстві, де плуг ПЛ-75-15М використовується для підготовки ґрунту на нерозкорчованих вирубках, втомний знос є критичним чинником, що обмежує довговічність його основних робочих органів – лемішів та долота.

При роботі плуга ПЛ-75-15М леміш та долото постійно зазнають змінних навантажень. Під час перевертання важких ґрунтових пластів, особливо з корінням, камінням або залишками деревини, виникають потужні згинальні моменти, які постійно змінюються. Також характерні ударні навантаження для роботи на лісових ділянках. Удар об приховані пні, коріння чи велике каміння

створює пікові імпульсні навантаження, які різко підвищують концентрацію напружень. Сила, що діє від ґрунту на леміш, постійно змінюється через неоднорідність ґрунту (глина, пісок, органіка), що призводить до циклічного навантаження поверхневого шару.

Також існує велика імовірність розвитку дефектів. Під дією циклічних навантажень у зонах концентрації напружень (наприклад, біля отворів кріплення, гострих кутів, дефектів лиття або зварювання) виникають мікроскопічні тріщини. З кожним наступним циклом навантаження на мікротріщини поступово зростають углиб матеріалу. В додаток до цього, коли площа поперечного перерізу, що залишилася, стає недостатньою для витримування навантаження, відбувається критичне крихке руйнування (відламування частини леміша або долота).

Корозійно-механічний знос – це складний вид руйнування матеріалу, що виникає внаслідок одночасної дії механічних навантажень (тертя, удари, цикли напружень) та хімічно агресивного середовища (ґрунтова волога, кислоти, солі). У контексті ґрунтообробної техніки, особливо лісового плуга ПЛ-75-15М, це явище часто є одним із основних факторів, що прискорює загальне руйнування лемішів і долота.

Цей процес є синергетичним, тобто загальний знос є більшим, ніж проста сума окремого механічного та корозійного руйнувань.

Ґрунт є активним електролітом, особливо у лісовому господарстві. Лісові ґрунти часто мають підвищену кислотність, через розкладання органіки та гумусових кислот, та містять вологу, солі та кисень. Ці компоненти вступають у реакцію з металом леміша, утворюючи менш міцні продукти корозії (оксиди, гідроксиди заліза – іржу). Ці продукти накопичуються на поверхні деталей.

Також леміш та долото плуга ПЛ-75-15М постійно піддаються абразивному тертю об тверді частинки ґрунту (пісок, каміння, коріння). Цей механічний вплив безперервно знімає щойно утворену тонку, але відносно міцну захисну оксидну плівку (пасивний шар) з поверхні металу. Коли захисний шар знімається, під ним оголюється "свіжий", хімічно дуже активний метал,

який миттєво і прискорено реагує з ґрунтовим електролітом, утворюючи нові, легко стираючі продукти корозії. Як результат – корозія послаблює метал і робить його продукти руйнування легкими для видалення, а механічний вплив (тертя) забезпечує постійний доступ агресивного середовища до активної поверхні металу.

Для лісового плуга ПЛ-75-15М, який працює у складних, часто вологих і кислих ґрунтах, корозійно-механічний знос має виражений вплив.

По-перше – це прискорення зносу. Корозійно-механічний знос інтенсивно прискорює звичайний абразивний знос, зменшуючи термін служби лемішів та долота. Метал втрачає масу не тільки через стирання, але й через хімічне розчинення.

По-друге, якщо до абразії додається циклічне навантаження (втома), що характерно для плуга при зустрічі з коренями або камінням, виникає явище корозійної втоми. Корозія створює на поверхні мікротріщини, які стають концентраторами напружень, а циклічні навантаження швидко поширюють ці тріщини, призводячи до передчасного крихкого руйнування (відламування носка леміша чи долота).

Наступне – це те, що корозійно-механічний знос призводить до формування нерівномірної, шорсткої поверхні замість гладкої. Це, у свою чергу, збільшує тертя ґрунту об робочу поверхню, збільшує опір плуга та погіршує якість перевертання пласта.

Для боротьби з корозійно-механічним зносом застосовують комплексні підходи:

1. Використання сталей, які мають не лише високу твердість, а й кращу хімічну стійкість до корозії (наприклад, легування хромом, що покращує пасивацію).
2. Застосування зносостійких покриттів або наплавлення (тверді сплави) на робочу поверхню. Ці покриття не тільки механічно міцні, але й створюють фізичний бар'єр між металом основи та агресивним ґрунтовим середовищем.

3. Експлуатаційні заходи, такі як полірування робочих поверхонь (підтримка максимально гладкої поверхні зменшує можливість утворення мікротріщин і затримування вологи та агресивних частинок) та правильне зберігання (після роботи плуг необхідно очистити від ґрунту та, бажано, змастити (консервувати) робочі поверхні на період зберігання, щоб запобігти корозії у неробочий час).

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ

Зміцнення деталей ґрунтообробної техніки (плугів, культиваторів, борін, фрез тощо) є критичним для підвищення зносостійкості робочих органів, таких як леміші, лапи, диски та долота, які працюють в абразивному середовищі ґрунту з частинками піску, каменів та коренів. Традиційні технології базуються на термічній обробці та простих методах наплавлення, тоді як сучасні включають локалізовані, високотехнологічні процеси, що забезпечують вищу твердість (до 68 HRC) та самозагострювання, подовжуючи ресурс у 2-4 рази. Нижче наведено огляд на основі аналізу наукових джерел, з акцентом на механізми, переваги та застосування в сільському та лісовому господарстві.

2.1 Традиційні методи зміцнення: термічна та хіміко-термічна обробка

Традиційні методи зміцнення є основою технологічного процесу виробництва та ремонту деталей ґрунтообробної техніки, зокрема лемішів і долота плугів. Ці методи спрямовані на створення оптимальної структури металу, яка забезпечує високу твердість поверхневого шару (для протидії абразивному зносу) та високу в'язкість серцевини (для протидії ударним і втомним навантаженням).

Основними традиційними методами є термічна та хіміко-термічна обробка. Нижче наведено повний огляд цих методів з механізмами, режимами, матеріалами, перевагами, недоліками та прикладами застосування.

Термічна обробка (ТО) – це зміна механічних властивостей сталі (твердості, міцності, пластичності) шляхом фазових перетворень при нагріванні та охолодженні.

Таблиця 2.1 Основні види ТО для деталей ґрунтообробної техніки

Вид ТО	Температура нагріву	Середовище охолодження	Мета	Типові деталі
Відпал	700-900°C	Повітря, піч	Зняття напруг, покращення оброблюваності	Заготовки лемішів, рами

Нормалізація	850-950°C	Повітря	Отримання дрібнозернистої структури	Лапи, диски
Гартування	780-870°C	Вода, олія, полімер	Отримання мартенситу висока твердість	Леміші, долота, ножі
Відпуск	150-650°C	Повітря	Зняття крихкості, стабілізація структури	Усі гартовані деталі

Аналізуючи дану таблицю потрібно сказати, що суть гартування полягає в нагрівання металу до критичної температури і швидкому охолодженні (найчастіше у воді, маслі або полімерних розчинах). Це сприяє утворенню мартенситної структури, яка є надзвичайно твердою, що забезпечує високу стійкість лемішів та долота до абразивного зносу. Головною проблемою є те, що гартований метал стає крихким і схильним до руйнування від ударних навантажень (що є частим явищем при оранці на лісових ділянках).

Відпуск – це повторний нагрів загартованої деталі до температури нижче критичної (150–650°C) і повільне охолодження. Цей процес дає зниження крихкості та внутрішніх напружень, які виникли після гартування, при збереженні достатньо високої твердості. Для лемішів зазвичай застосовують середній або високий відпуск для досягнення балансу між твердістю та в'язкістю.

Нормалізація та Відпал. Ці процеси використовуються переважно для підготовки структури сталі перед остаточним гартуванням, знімаючи внутрішні напруження та вирівнюючи структуру.

Таблиця 2.2 Технологічний процес (на прикладі леміша з сталі 65Г)

Етап	Параметри	Результат
Нагрів	820-840°C, витримка 1-2 хв/мм товщини	Аустенітизація
Гартування	Охолодження у воді (20-40°C) або олії	Мартенсит, твердість 50-60 HRC
Відпуск	180-220°C (низький) → 55-58 HRC 400-500°C (середній) → 45-50 HRC	Зменшення крихкості, стабільність

Оптимальною для лемішів ПЛ-75-15М є наступна схема термічної обробки: гартування при 830°C → вода → відпуск 200°C → твердість 53–56 HRC, зносостійкість у 1,5-2 рази вище за нормалізовану сталь.

Перевагою термічної обробки є простота обладнання. Використовуються печі або ванни. Під час даного процесу забезпечується рівномірна твердість по всій деталі. Також дана обробка дає можливість масового виробництва та забезпечує низьку собівартість.

Але жоден технологічний процес не обходиться без недоліків. Об'ємна обробка призводить до можливих деформацій деталей (до 0,5-1 мм). Також відсутня можливість локального зміцнення. Наприклад, неможливо зміцнити тільки ріжучу кромку. При повторному нагріві під час зварювання або наплавлення втрачається твердість. З'являється обмежена зносостійкість на піщаних ґрунтах (0,3-0,5 мм/км шляху).

Хіміко-термічна обробка (ХТО) – це процес, що поєднує термічний вплив з хімічним насиченням поверхневого шару деталі іншими елементами (вуглецем, азотом, бором) через дифузію. Його метою є отримання високої твердості та зносостійкості поверхні при збереженні м'якої та в'язкої серцевини.

Це ідеальний варіант для лемішів і долота, які працюють в умовах інтенсивного стирання та ударів.

Таблиця 2.3 Основні види ХТО для ґрунтообробної техніки

Метод	Елемент	Середовище	Температура	Глибина шару	Твердість
Цементация (карбюризация)	C	Тверда (вугілля), газова (CO, CH ₄)	900-950°C	0,8-2,0 мм	58-62 HRC
Азотування	N	Газ (NH ₃), плазма	500-570°C	0,3-0,6 мм	800-1100 HV
Борування	B	Порошок (B ₄ C), електроліз	850-950°C	0,1-0,3 мм	1800-2500 HV
Нітроцементация	C + N	Газ (NH ₃ + CO)	830-70°C	0,5-1,0 мм	58-64 HRC

Цементация (карбюризация) – це основний вид хіміко-термічної обробки, який широко застосовується для зміцнення деталей ґрунтообробної техніки, таких як леміші, долота, вали та шестерні. Метою даного процесу є отримання двошарової структури: надтвердої та зносостійкої поверхні при збереженні м'якої та в'язкої серцевини. Ця комбінація є критично важливою для деталей, які одночасно піддаються інтенсивному абразивному зносу (поверхня), і ударним та циклічним навантаженням (серцевина).

Завдяки цементации, деталі набувають унікального комплексу властивостей, ідеального для роботи в абразивних ґрунтах. У результаті даної обробки мартенситний поверхневий шар має надзвичайну твердість, що забезпечує високий опір абразивному зносу (стиранню об ґрунт і пісок). В'язка, низьковуглецева серцевина ефективно амортизує ударні та циклічні навантаження (удари об каміння, коріння), запобігаючи крихкому руйнуванню (зламам та відколам). Цементацию часто застосовують не по всій поверхні. Завдяки різниці в твердості на протилежних сторонах ріжучої крайки створюється ефект самозагострення, коли більш м'яка сторона зношується швидше, постійно оголюючи гостру кромку твердого шару. Також, зміцнений поверхневий шар підвищує стійкість деталі до втомного зносу.

Саме цей подвійний ефект (тверда "шкіра" і в'язка "кістка") робить цементацию ключовим методом зміцнення лемішів та долота плуга.

Азотування – це різновид хіміко-термічної обробки, при якому поверхневий шар сталеві деталі насичується азотом при порівняно низьких температурах (500 – 600⁰ С). Цей процес є високоефективним для підвищення зносостійкості, межі втоми та корозійної стійкості робочих органів ґрунтообробної техніки, зокрема, лемішів і долота плуга ПЛ-75-15М, які працюють у складних умовах.

На відміну від цементации, яка використовує вуглець і високі температури, азотування ґрунтується на дифузії азоту. Найкращі результати азотування досягаються на легованих сталях, які містять сильні нітридоутворювальні елементи, такі як алюміній (Al), хром (Cr), молібден (Mo) та титан (Ti). Саме ці

елементи, реагуючи з азотом, утворюють високодисперсні та надзвичайно тверді нітриди. Обробка проводиться при 500 – 600° С (низькотемпературне азотування), що є значно нижче, ніж при цементації. Як правило, використовується газове середовище з аміаку (NH₃). При нагріванні аміак дисоціює на водень і активний атомарний азот: $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$. Атомарний азот проникає (дифундує) у поверхневий шар сталі та вступає в хімічну реакцію з легуючими елементами, утворюючи тонкий, але надзвичайно твердий нітридний шар (нітридну зону). Глибина азотованого шару зазвичай становить 0,2-0,8 мм.

Варто розглянути переваги азотування для Плуга ПЛ-75-15М. Нітридний шар забезпечує найвищу поверхневу твердість серед усіх методів ХТО (до 1000-1200 HV), що робить леміші та долота максимально стійкими до абразивного зносу (стирання об пісок, каміння, мінерали). Також азотування значно підвищує корозійну стійкість. Це особливо важливо для плуга ПЛ-75-15М, який працює у кислих і вологих лісових ґрунтах, запобігаючи корозійно-механічному зносу. Утворення нітридного шару супроводжується формуванням стискаючих напружень на поверхні, які ефективно протидіють утворенню та поширенню втомних тріщин. Це захищає долото та леміш від руйнування при циклічних і ударних навантаженнях (зіткнення з корінням). Оскільки азотування проводиться при низькій температурі (500-600° С), яка нижча за температуру фазових перетворень сталі, відпадає необхідність у швидкому охолодженні (гартуванні). Це забезпечує мінімальне викривлення та стабільність розмірів деталі після обробки, що є важливою перевагою над цементацією.

Борування – це вид хіміко-термічної обробки, при якому поверхневий шар сталеві деталі насичується бором (В). Це один із найбільш ефективних методів підвищення зносостійкості та твердості робочих органів, оскільки на поверхні утворюються виключно тверді бориди заліза. Цей процес є особливо актуальним для зміцнення деталей плуга ПЛ-75-15М, які працюють в умовах високоабразивних (піщаних, супіщаних) ґрунтів лісового господарства.

Борування спрямоване на формування на поверхні металу боромістких фаз, які мають унікальні механічні властивості. Цьому процесу піддаються як вуглецеві, так і леговані сталі (зокрема, середньовуглецеві, що використовуються для лемішів). Процес проводиться при високих температурах, зазвичай у діапазоні 850-1000° С. Середовище (боризатор) може бути твердим (суміш карбиду бору B_4C або феробору з активаторами), газовим (бороводні або суміші, що містять BCl_3), або рідинним (електроліз) (розплавлені солі (наприклад, бура) з додаванням карбиду бору). Механізм складається з того, що атоми бору проникають (дифундують) у поверхневий шар сталі та вступають у реакцію із залізом, утворюючи боридні фази – FeB (моноборид, більш крихкий) та Fe_2B (диборид, більш пластичний). Успішне борування формує голчастий шар Fe_2B з підшаром FeB , який забезпечує найвищу зносостійкість.

Перевагами для Плуга ПЛ-75-15М є те, що деталі, які піддаються наджорсткому абразивному зносу, борування надає найбільш ефективний захист. Боридний шар має рекордну твердість, яка може сягати 1600-2000 HV (за Віккерсом), що значно перевищує твердість після цементації та азотування. Це робить леміші та долота практично невразливими до абразивного зносу об кварцові частинки ґрунту, що критично важливо для лісових ґрунтів. Боридні шари зберігають свою твердість навіть при підвищених температурах, які можуть виникати в зоні тертя об ґрунт. Також, боридний шар має високу хімічну інертність, що підвищує стійкість до корозійно-механічного зносу в агресивних кислих ґрунтових середовищах.

Недоліками слід вважати те, що попри виняткову твердість, борування має певні технологічні та експлуатаційні обмеження. Надзвичайна твердість супроводжується підвищеною крихкістю боридного шару. Це означає, що деталі, оброблені боруванням, можуть бути менш стійкими до сильних ударних навантажень (які часто виникають у плузі ПЛ-75-15М при зустрічі з великими пнями чи камінням). Удар може призвести до сколювання боридного шару. Процес є більш високотемпературним і вимагає точного контролю, щоб

запобігти утворенню суцільного і крихкого шару FeV та забезпечити формування пластичного шару Fe₂V. Також слід зазначити, що високі температури обробки та необхідність наступної термообробки можуть призводити до деформації деталі.

Застосування борування в ґрунтообробці є найбільш доцільним для тих частин робочих органів, де домінує абразивний знос і менше виражені ударні навантаження. Наприклад, ріжучі кромки та носки доліт і лемішів плуга ПЛ-75-15М, де знос від тертя об ґрунт є максимальним, та деталі, що працюють на піщаних ґрунтах, де абразивність є найвищою. Завдяки боруванню термін служби лемішів може бути збільшений у 2-4 рази порівняно з термічно обробленими деталями, що робить його економічно вигідним, незважаючи на вищу вартість обробки.

Нітроцементация (також відома як ціанування, якщо проводиться в розплавах солей) – це вид хіміко-термічної обробки, при якому поверхневий шар сталі одночасно насичується вуглецем (C) та азотом (N). Цей процес поєднує переваги цементации та азотування, забезпечуючи деталям ґрунтообробної техніки, як-от леміші та долота плуга ПЛ-75-15М, високу твердість, зносостійкість, корозійну стійкість та високу межу втоми.

Нітроцементация є компромісним процесом, який проводиться при більш м'яких умовах, ніж чиста цементация. Під час даного процесу обробці піддаються як маловуглецеві (як для цементации), так і леговані сталі. Проводиться вона зазвичай в діапазоні 820-860° С (високотемпературна) або 550-650°С (низькотемпературна). Високотемпературний процес, що супроводжується загартуванням, частіше використовується для деталей, що працюють в умовах абразивного зносу. Як правило, використовується газове середовище, що містить вуглецевмісний газ (наприклад, метан) та аміак (NH₃) як джерело азоту. При високій температурі атоми вуглецю та азоту одночасно дифундують у поверхневий шар сталі, утворюючи карбонітриди. Азот сприяє зниженню критичної швидкості гартування, що дозволяє проводити гартування

в менш агресивних середовищах (наприклад, у маслі, а не у воді), зменшуючи деформацію.

Комплексне насичення поверхні робить нітроцементацию особливо вигідною для деталей, які працюють у жорстких умовах лісового ґрунту. Завдяки насиченню вуглецем і азотом поверхневий шар після загартування має високу твердість (до 60-62 HRC), забезпечуючи відмінну стійкість до абразивного зносу. Азот, утворюючи нітриди та викликаючи стискаючі напруження на поверхні, значно підвищує межу втоми деталі. Це критично важливо для лемішів і долота, які постійно зазнають циклічних навантажень та ударів від коріння та каміння. Стійкість до корозійно-механічного зносу підвищується за рахунок наявного азоту в поверхневому шарі, що є перевагою в кислих та вологих ґрунтах порівняно з чистою цементацией. Також, зниження критичної швидкості гартування дозволяє використовувати більш м'які охолоджувачі (масло), що зменшує внутрішнє напруження і, відповідно, термічне викривлення деталі порівняно з традиційним водним гартуванням після цементации.

Цей процес дозволяє отримати деталь, яка ефективно протистоїть абразивному стиранню завдяки високій твердості поверхні та водночас є стійкою до зламу завдяки в'язкій серцевині та підвищеній межі втоми, що є ідеальною комбінацією для роботи плуга ПЛ-75-15М.

2.2 Огляд технологій поверхневого зміцнення: наплавлення, плазмового та лазерного

Наплавлення, плазмове та лазерне зміцнення належать до сучасних технологій локального зміцнення робочих органів ґрунтообробної техніки, а саме лемішів, долота, лап, дисків, ножів фрез. Вони забезпечують високу твердість (58-70 HRC), самозагострювання, стійкість до абразивного та ударного зносу у 2-5 разів вище за традиційні.

Наплавлення – це процес нанесення на поверхню деталі шару металу (сплаву) за допомогою зварювання, який має високу зносостійкість, твердість та/або антикорозійні властивості. Це найбільш поширений і економічно вигідний метод відновлення та зміцнення лемішів і доліт.

Під час даного процесу використовуються спеціальні присадкові матеріали (дроти, електроди, порошкові стрічки), які містять велику кількість твердих карбідів (вольфраму, хрому, титану). При наплавленні ці карбіди утворюють надтвердий шар, який протистоїть абразивному зносу.

Існують різні види наплавлення. Розглянемо деякі з них.

Під час дугового наплавлення використовується ручне дугове зварювання або автоматичне під флюсом. Це універсальний і доступний метод.

Газопорошкове наплавлення – це коли порошок зносостійкого сплаву подається в зону газового полум'я, де плавиться та спікається з поверхнею деталі. Забезпечує тонкий та рівномірний шар.

Ефект самозагострення (дискретне наплавлення): шар твердого сплаву наноситься не суцільно, а смужками або точками на верхню (польову) поверхню леміша. Під час роботи більш м'який основний метал стирається швидше, ніж тверді наплавлені ділянки, завдяки чому ріжуча кромка постійно загострюється.

Лазерне зміцнення використовує висококонцентрований пучок енергії для локальної термічної обробки або легування поверхні. Під час даного процесу лазерний промінь швидко нагріває дуже тонкий поверхневий шар деталі (зазвичай долі міліметра) вище критичної температури, а подальше швидке

відведення тепла в масивний холодний об'єм деталі (ефект самогартування) призводить до утворення дрібнозернистої або мартенситної структури.

Перевагою даного процесу є те, що обробляється лише поверхневий шар, що виключає значну деформацію деталі. Також дозволяє досягти значно вищої твердості, ніж традиційне гартування. Слід враховувати, що при одночасній подачі порошкових легуючих матеріалів лазер сплавляє їх із поверхнею, утворюючи композиційний шар.

Застосовується для локального зміцнення найбільш навантажених зон (ріжучих кромки, носків) з метою підвищення їхнього ресурсу без зміни властивостей серцевини.

Розглядаючи плазмове зміцнення слід сказати, що воно охоплює кілька методів, які використовують іонізований газ (плазму) для модифікації поверхні.

1. Плазмове наплавлення – це високоточний процес, де плазма використовується як джерело тепла для розплавлення присадного порошку. Його перевагою є те, що висока концентрація енергії дозволяє отримати дуже чистий, щільний та рівномірний шар наплавленого металу з мінімальним перемішуванням з основним металом. Це ідеально для формування тонких зносостійких покриттів.

2. Плазмове зміцнення (плазмова обробка) – це процес, який включає різні форми обробки, наприклад, плазмове азотування або плазмове насичення карбідами.

Його суть полягає в тому, що деталь розміщується у вакуумній камері, де створюється плазма. Іони газу (наприклад, азоту) бомбардують поверхню, насичуючи її атомами та утворюючи надтверді сполуки (нітриди). Перевагою даного процесу є те, що обробка відбувається за відносно низьких температур, що зменшує ризик деформації. Значно підвищується твердість, зносостійкість та корозійна стійкість поверхневого шару. Застосовується для зміцнення відповідальних деталей, де потрібне високе поєднання твердості та стійкості до втоми.

Дані технології дають більшу точність у контролі глибини та складу зміцненого шару, що значно продовжує термін служби деталей.

2.3 Характеристика фізико-механічних методів зміцнення деталей, таких як поверхневе пластичне деформування та формування покриттів

Фізико-механічні методи зміцнення деталей – це технології, які використовують механічний вплив (деформування) або нанесення нових матеріалів (формування покриттів) для покращення поверхневих властивостей металу без зміни його хімічного складу (на відміну від хіміко-термічної обробки).

Метод поверхневого пластичного деформування полягає у механічному впливі на поверхню деталі, що викликає пластичну деформацію тонкого поверхневого шару. Це призводить до ущільнення металу та зміни його мікроструктури. Під час даного процесу відбувається збільшення щільності дислокацій у поверхневому шарі. Це підвищує твердість та міцність металу. Також створюються залишкові стискаючі напруження. Ці напруження, спрямовані всередину, ефективно запобігають утворенню та розвитку тріщин, які зазвичай виникають під дією розтягуючих напружень (наприклад, від втомних навантажень).

Таблиця 2.4 Технології поверхневого пластичного деформування

Технологія	Суть	Застосування для грунтообробної техніки
Обкатування роликami (кочування)	Поверхня деталі обробляється гладкими твердими роликami під тиском	Зміцнення циліндричних та плоских поверхонь (осі, вали), підвищення контактної витривалості
Дробоструменне оброблення (наклеп)	Поверхня бомбардується потоком дрібного металевого дроби або кульок	Зміцнення великогабаритних поверхонь, підвищення втомної міцності (стійкість до циклічних навантажень та ударів)
Ударно-механічна обробка	Використання швидкісних ударів для деформування поверхні (наприклад, карбування)	Локальне зміцнення зон із концентраторами напружень.

Перевагами є значне підвищення втомної міцності (до 20-100%), збільшення зносостійкості та опору контактній корозії та зменшення шорсткості поверхні.

Формування покриттів полягає у нанесенні на поверхню деталі шару іншого матеріалу, який має необхідні захисні властивості (висока твердість, антифрикційність, корозійна стійкість). Розглянемо деякі різновиди.

Електрохімічні покриття – це метод, що використовує електроліз для осадження металу з розчину на поверхню деталі.

Хромування – це процес нанесення шару хрому. Він підвищує твердість (до 800-1000 HV), зносостійкість та корозійну стійкість. Застосовується для відновлення зношених поверхонь, зміцнення гідроциліндрів, валів.

Нікелювання(або залізнення) використовується для відновлення розмірів зношених деталей.

Гальванічні (хімічні) покриття – це процес, під час якого осадження металу відбувається без використання зовнішнього джерела струму (за рахунок хімічної реакції). Хімічне нікелювання забезпечує рівномірне покриття навіть на деталях складної форми. Покриття має високу твердість і стійкість до корозії.

Під час технології гарячого нанесення здійснюється використання високотемпературних процесів для створення захисного шару.

Гаряче цинкування – це занурення деталі у розплавлений цинк. Забезпечує відмінний захист від корозії (особливо важливий у вологих ґрунтах).

Термічне напилення – це процес нанесення розплавленого металевого порошку (наприклад, сплавів на основі нікелю, карбідів) на поверхню деталі за допомогою високошвидкісного струменя (наприклад, газотермічне або плазмове напилення). Це створює високоміцні та зносостійкі шари.

Застосовуються для нанесення захисного покриття на деталі, що працюють в умовах абразивного зносу (наприклад, на деталі плугів, диски борін).

Ці фізико-механічні методи дозволяють створювати матеріали з градієнтними властивостями: твердий, зносостійкий і міцний поверхневий шар

у поєднанні з в'язкою серцевиною, що є ідеальним для робочих органів, які зазнають як стирання, так і ударних навантажень.

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ЛЕМІШІВ ТА ДОЛОТА ПЛУГА ПЛ – 75 – 15М

3.1 Оцінка ефективності використання технології

Технологія наплавлення є ключовим методом зміцнення та відновлення робочих органів техніки для ґрунтообробітку, а саме лемішів та доліт плуга ПЛ-75-15М, з метою підвищення їх зносостійкості та подовження терміну служби. Оцінка ефективності цього процесу є багатоаспектною і включає технічні, економічні та експлуатаційні показники.

Наплавлення – це технологічний процес нанесення на поверхню зношеної або нової деталі шару металу (сплаву) з особливими властивостями (наприклад, високою твердістю та зносостійкістю) за допомогою зварювання.

Призначене воно для відновлення початкової геометрії та маси робочих органів, а головне – для створення захисного покриття для протидії абразивному зносу ґрунтом. Використовують спеціальні електроди або зварювальний дріт, що містять карбіди вольфраму, хрому, молібдену та інші тверді компоненти.

Оцінка ефективності базується на порівнянні отриманих експлуатаційних показників наплавлених робочих органів із необробленими.

Розглянемо кілька основних критеріїв:

1. Технічні критерії (показники зносостійкості). Ці показники є першочерговими для оцінки якості самої технології.

Перше – це коефіцієнт зносостійкості, який обчислюється як відношення ресурсу (виробітку в гектарах) напавленої деталі до ресурсу стандартної деталі.

$$K_{\text{зн}} = R_{\text{напл}} / R_{\text{станд}}$$

Де R – це ресурс (наприклад, га). Чим вищий показник $K_{\text{зн}}$, тим ефективніше наплавлення.

Наступний показник – це питомий знос. Зменшення маси або лінійних розмірів (наприклад, товщини чи довжини носка леміша) на одиницю

обробленої площі (г/га або мм/га). Менший питомий знос свідчить про вищу ефективність.

Не варто забувати про напрацювання до граничного зносу. Це якщо говорити про кількість гектарів, яку може обробити робочий орган до моменту, коли його знос досягне критичного рівня, що вимагає заміни або повторного відновлення.

2. Економічні критерії. Економічна ефективність визначає доцільність використання наплавлення. Вона свідчить про зниження витрат на запасні частини. Розраховується як економія від зменшення потреби у купівлі нових лемішів та доліт. Також оцінює вартість наплавлення. Включає вартість електродів чи дроту, енергії та оплати праці. Не варто забувати про економічний ефект, як один із критеріїв. Різниця між економією на запчастинах та витратами на наплавлення за певний період або на одиницю напрацювання.

3. Експлуатаційні критерії. Вони опосередковано впливають на загальну ефективність.

По – перше – це якість агротехнічного виконання. Тобто збереження гостроти леміша та долота, що забезпечує якісне входження в ґрунт і перевертання шару. Збереження форми сприяє зниженню тягового опору плуга.

По – друге – це час простою. Зменшення кількості простоїв техніки, пов'язаних із заміною зношених робочих органів.

Зазвичай, правильно виконане наплавлення лемішів та доліт плуга ПЛ-75-15М забезпечує значну ефективність. Перш за все це технічна вигода. Напрацювання наплавлених робочих органів може бути у 2-4 рази більшим, ніж у стандартних, завдяки підвищеній твердості наплавленого шару. Економічна вигода полягає в тому, що вартість наплавлення, як правило, значно нижча за вартість нового леміша чи долота, що забезпечує істотну економію коштів господарства. Екологічна та ресурсна вигода полягає в зменшенні споживання металу та ресурсів на виробництво нових деталей. Таким чином, оцінка ефективності підтверджує, що технологія наплавлення є

високорентабельним і технічно обґрунтованим методом для продовження ресурсу робочих органів плуга ПЛ-75-15М.

3.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків наплавлення твердими сплавами та лазерного зміцнення деталей плуга

Ефективне відновлення та підвищення зносостійкості робочих органів плуга (лемішів, доліт) є критично важливим для сільського та лісового господарства.

Наплавлення твердими сплавами (електродугове, газове) є традиційним і найбільш поширеним методом, що передбачає нанесення товстого шару зносостійкого матеріалу на робочу поверхню. Наприклад, сплавів на основі карбідів хрому або вольфраму.

Його перевагою є значне відновлення геометрії та маси деталей. Це дозволяє відновити сильно зношені деталі, компенсуючи втрату металу. Притаманна висока продуктивність. Оскільки сам процес є відносно швидким для великих площ нанесення, особливо при автоматизації. Низька вартість обладнання та матеріалів, що використовуються для даної технології. Застосовуються стандартні зварювальні апарати та електроди або дроти, що робить метод доступним. Забезпечується товстий зміцнювальний шар. Товщина покриття (1-5 мм і більше) забезпечує тривалий термін служби до повного зносу шару.

Технологія має свої недоліки. Одним з них є велика зона термічного впливу. Високий нагрів може призвести до деформації деталі та небажаної зміни структури основного металу (наприклад, втрати твердості). Також існує ризик утворення тріщин. Через значну різницю в хімічному складі та коефіцієнтах теплового розширення між основним металом і наплавленим сплавом можуть виникати термічні напруження та тріщини. Можливе утворення пор і неоднорідностей у наплавленому шарі, особливо при ручному наплавленні.

Іноді існує потреба в механічній обробці. Для відновлення точної форми леміша може знадобитися подальше шліфування або заточування.

Лазерне зміцнення – це сучасна високотехнологічна група методів, що використовує концентровану енергію лазерного променя. Лазерне зміцнення

може бути виконано як лазерна термічна обробка (без додавання матеріалу, лише зміна структури поверхні), так і лазерне наплавлення (з додаванням порошкового матеріалу).

Його перевагою є те, що зона термічного впливу є мінімальною. Дуже локалізований нагрів мінімізує деформації та зберігає початкові властивості основного металу. Притаманна висока якість та щільність покриття. При лазерному наплавленні утворюється безпориста, металургійно чиста і міцно зчеплена з основою структура. Також перевагою є виняткова тонкість та твердість шару. Лазерна термічна обробка дозволяє створити дуже твердий, але тонкий (0,1–1 мм) шар без зміни хімічного складу. За рахунок високої точності лазерного променя є можливість зміцнення важкодоступних зон. Ця технологія забезпечує чудову опірність абразивному та ерозійному зносу.

Та вартість обладнання є досить високою. Лазерні комплекси є дорогими та вимагають кваліфікованого персоналу. До того ж, лазерна термічна обробка не відновлює втрачену масу сильно зношених деталей. Навіть лазерне наплавлення є більш витратним і повільним для відновлення великих об'ємів металу. Швидкість процесу, особливо лазерного наплавлення, може бути нижчою за традиційне наплавлення, що ускладнює обробку великих партій. При лазерній термічній обробці зміцнений шар є тонким, тому його ефективність знижується при глибокому абразивному зносі (швидке руйнування шару).

Вибір методу залежить від стану деталі та економічної доцільності. Наприклад, наплавлення твердими сплавами є ідеальним для масового відновлення сильно зношених лемішів та доліт, де пріоритетом є відновлення форми, товщина зміцнення та низька собівартість.

Лазерне зміцнення є кращим для нових або малозношених деталей, де критично важливі мінімальна деформація, максимальна точність та найвища якість поверхневого шару.

Експлуатаційні випробування зміцнених деталей плуга ПЛ-75-15М в умовах лісового господарства мають свою специфіку, оскільки ґрунти тут часто містять коріння, каміння та підвищену абразивність. Зміцнення (наплавлення

твердими сплавами або лазерна обробка) має забезпечити не тільки зносостійкість, але й ударну в'язкість та міцність робочих органів.

Випробування зазвичай проводяться шляхом порівняння трьох груп деталей:

1) Контрольна група (К) – це нові, стандартні, незміцнені деталі.

2) Група наплавлення (Н) – це деталі, зміцнені наплавленням твердими сплавами (наприклад, карбідами вольфраму або хрому).

3) Група лазерного зміцнення (Л) – це деталі, оброблені лазерною термічною обробкою або лазерним наплавленням.

Випробування проводяться на ділянках з типовим для лісгосподарства важким ґрунтом (суглинок, глинисті ґрунти) з включеннями деревних залишків та каміння.

Розглянемо основні результати (аналіз результатів експлуатаційних випробувань зосереджується на ключових показниках):

1. Напрацювання до граничного зносу (ресурс)

Таблиця 3.1 Порівняння трьох груп деталей

Група деталей	Середнє напрацювання (га)	Коефіцієнт зносостійкості (K_{zn})
Контрольна (К)	R_K (прийmemo за 1.0)	1.0
Наплавлення (Н)	$R_H=2.0-4.0 \cdot R_K$	2.0-4.0
Лазерне Зміцнення (Л)	$R_L=1.5-2.5 \cdot R_K$	1.5-2.5

Наплавленням досягається найбільше збільшення ресурсу (в 2-4 рази). Це пояснюється великою товщиною зносостійкого шару, який витримує тривалий абразивний вплив. Лазерне зміцнення показує менший приріст ресурсу, особливо при глибокому абразивному зносі, оскільки зміцнений шар є тоншим.

2. Стійкість до ударних навантажень (викришування, відколи).

У результаті наплавлення у зонах сильних ударів (зіткнення з камінням або корінням) спостерігається викришування або відшарування напавленого шару, особливо якщо адгезія була недостатньою або в'язкість самого сплаву низька.

Під час лазерного зміцнення, завдяки мінімальному впливу на основний метал та збереженню його в'язкості, лазерна обробка, як правило, демонструє кращу стійкість до відколів та руйнування, ніж традиційне наплавлення.

3. Збереження форми (гострота леза).

Наплавлення забезпечує самозаточування леза (завдяки різниці у зносі наплавленого та основного металів), що підтримує гостроту робочого органу протягом тривалого часу. Це критично для зменшення тягового опору в умовах лісогосподарських ґрунтів.

Варто зазначити, що тонкий шар лазерного зміцнення не завжди забезпечує стабільний ефект самозаточування, хоча й має високу початкову твердість.

Аналіз економічної ефективності (при умові, що обидва методи забезпечили задовільний технічний результат) говорить про те, що наплавлення має високий показник за рахунок низької собівартості процесу та значного збільшення ресурсу. Витрати на відновлення значно нижчі, ніж купівля нових деталей.

Лазерне зміцнення має потенційно високу економічну ефективність, але більші капітальні витрати на обладнання. Може бути виправдане лише при великих обсягах виробництва чи відновлення або там, де потрібна висока точність і мінімальна деформація.

В умовах лісового господарства, де домінують високий абразивний знос та значні ударні навантаження наплавлення твердими сплавами є найбільш практичним та економічно вигідним рішенням. Воно забезпечує максимальне подовження ресурсу за рахунок товстого шару, незважаючи на потенційний ризик викришування.

Лазерне зміцнення доцільно застосовувати на нових або малозношених деталях, де потрібно зберегти міцність основного металу та забезпечити високу стійкість до відколів при збереженні точних геометричних параметрів.

Використання технології наплавлення твердими сплавами для зміцнення та відновлення робочих органів ґрунтообробної техніки (а саме лемішів, доліт плугів типу ПЛ-75-15М) є високодоцільним з технічної та економічної точок

зору. Це підтверджується порівнянням витрат та експлуатаційних показників із купівлею нових запчастин. Технічна доцільність наплавлення базується на прямому підвищенні експлуатаційних характеристик деталей. Нанесення шару високотвердих сплавів (наприклад, на основі карбідів вольфраму) збільшує напрацювання робочого органу в 2-4 рази порівняно з новою, незміцненою деталлю. Цей шар ефективно протистоїть абразивному зносу в агресивних ґрунтах.

Також наплавлення дозволяє відновити початкові геометричні розміри та масу вже зношених деталей, повертаючи їх до працездатного стану. Крім того, правильне наплавлення забезпечує ефект самозаточування: більш зносостійкий наплавлений шар виступає, а менш стійкий основний метал зношується швидше, постійно підтримуючи гостроту робочого леза. Оскільки ресурс зміцнених деталей зростає, зменшується необхідність частої заміни робочих органів під час роботи. Це мінімізує простої плуга та забезпечує більш стабільний графік робіт.

Економічна доцільність є вирішальною і демонструє пряму фінансову вигоду для лісогосподарського підприємства.

По – перше, економія на запасних частинах. Вартість наплавлення однієї деталі (матеріали, енергія, праця) зазвичай становить лише 20%–40% від вартості нової заводської деталі. Оскільки наплавлена деталь служить у 2-4 рази довше, загальна економія коштів на запчастини протягом життєвого циклу плуга є колосальною.

По – друге, низький поріг капітальних витрат. Для впровадження технології наплавлення, як правило, достатньо стандартного зварювального обладнання (напівавтомат, інвертор) та спеціальних електродів або дроту. Це робить метод доступним навіть для невеликих фермерських господарств без потреби у великих інвестиціях у дороге лазерне обладнання.

По – третє, зниження експлуатаційних витрат. Завдяки збереженню гостроти леміша (ефект самозаточування), зменшується тяговий опір плуга, що,

у свою чергу, призводить до економії пального та зниження навантаження на трактор.

Технологія наплавлення є техніко-економічно доцільною для використання на лемішах та долотах плугів, особливо в умовах абразивних ґрунтів лісового господарства. Наплавлення не лише відновлює, а й значно покращує властивості деталі, багаторазово підвищуючи її ресурс. А співвідношення «вартість наплавлення / отриманий ресурс» багаторазово вигідніше, ніж «вартість нової деталі / її ресурс», забезпечуючи пряму фінансову вигоду та мінімізуючи експлуатаційні витрати.

3.3 Аналіз результатів експлуатаційних випробувань зміцнених деталей в умовах лісового господарства

Експлуатаційні випробування деталей плугів (лемішів, доліт), зміцнених технологією наплавлення твердими сплавами, в умовах лісового господарства демонструють їхню високу ефективність, але також виявляють специфічні ризики, пов'язані з агресивністю ґрунтів.

Головним показником успіху є збільшення ресурсу (напрацювання) зміцнених деталей порівняно зі стандартними. Результати випробувань стабільно показують зростання напрацювання зміцнених наплавленням деталей у середньому в 2,5-4 рази (залежно від типу наплавленого сплаву та абразивності ґрунту) порівняно з новими або стандартно відновленими. Деталі демонструють істотне зниження питомого зносу (втрати маси чи лінійних розмірів на 1 га обробленої площі). Твердий шар наплавлення ефективно протистоїть абразивному впливу піщаних та глинистих частинок ґрунту. Завдяки різниці у швидкості зносу між м'якою основою деталі (сталь) і надтвердим наплавленим шаром лезо леміша або долота постійно підтримує гостроту. Це забезпечує якісне входження в ґрунт і стабільний тяговий опір плуга протягом усього циклу роботи.

Умови лісового господарства накладають додаткові вимоги до міцності та ударної в'язкості, які необхідно враховувати при виборі сплаву та технології наплавлення.

Таблиця 3.2 Основні проблеми та шляхи вирішення

Проблема	Причина (лісові ґрунти)	Результат наплавлення	Шляхи усунення
Викришування	Ударне навантаження від каміння та коріння.	Висока твердість наплавленого шару робить його крихким при точкових ударах.	Використання більш в'язких наплавних матеріалів або буферного шару (м'якого наплавлення) перед основним.
Відшарування	Термічні напруження, що	При різких ударах можливе	Попередній підігрів деталей

	виникають через різницю КТР між наплавленням і основою.	руйнування зони зчеплення та відкол частини зміцненого шару.	перед наплавленням та контрольоване повільне охолодження.
Термічна деформація	Великий обсяг тепла, необхідний для традиційного дугового наплавлення.	Зміна геометрії деталі, що погіршує якість оранки та збільшує тяговий опір.	Перехід на автоматизоване наплавлення з точним контролем параметрів зварювання.

Експлуатаційні випробування підтверджують, що економічний ефект від наплавлення багаторазово перевищує витрати на його проведення. Основний економічний показник – це вартість експлуатації на 1 гектар. Оскільки ресурс збільшується в 2,5-4 рази, а вартість наплавлення становить лише 20-40% від вартості нової деталі, питомі витрати на 1 га знижуються на 60-80%. Також збереження гостроти леза завдяки самозаточуванню дозволяє підтримувати низький та стабільний тяговий опір плуга. За результатами деяких випробувань, це призводить до економії пального до 5-10% порівняно з роботою на затуплених деталях. До цього ж збільшення інтервалу між замінами робочих органів дозволяє зменшити час простою дорогої техніки та підвищити її сезонну продуктивність.

Отже, аналіз результатів експлуатаційних випробувань підтверджує, що технологія наплавлення є найбільш техніко-економічно доцільним методом підвищення ресурсу робочих органів плуга в умовах лісового господарства, порівняно з постійною закупівлею нових запчастин. Для максимізації ефективності необхідно використовувати комбіноване наплавлення: твердий сплав на робочій кромці та більш в'язкий – у зоні потенційного відколу. Забезпечити якісну технологію: строгий контроль температури, попередній підігрів та повільне охолодження для мінімізації термічних напружень.

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПЛУГА ПЛ – 75 – 15М

Техніко-економічна оцінка базується на порівнянні питомих витрат на обробку 1 гектара (га) для стандартних (нових) і зміцнених (наплавлених) робочих органів (лемішів, доліт).

Таблиця 4.1 Вихідні (умовні) дані:

Показник	Позначення	Стандартна деталь (нова)	Зміцнена деталь (наплавлення)	Одиниця	Примітка
Ресурс деталі	T	$T_{СТ} = 15$	$T_{ЗН} = 45$	га	Типовий ресурс у важких умовах (лісове господарство).
Вартість/собівартість	C	$C_H = 800$	$C_B = 250$	грн	Вартість нового леміша та собівартість його наплавлення.

Технічна ефективність оцінюється коефіцієнтом підвищення зносостійкості ($K_{ЗН}$), що показує, у скільки разів збільшується ресурс деталі.

$$K_{ЗН} = \frac{T_{ЗН}}{T_{СТ}}$$

Розрахунок:

$$K_{ЗН} = \frac{45 \text{ га}}{15 \text{ га}} = \mathbf{3.0}$$

Варто зазначити, що застосування наплавлення збільшує ресурс робочого органу плуга у 3 рази. Це значно зменшує час простоїв на заміну деталей.

Економічна ефективність визначається зниженням питомих витрат на 1 га оброблюваної площі.

Питомі витрати на 1 га (стандартна деталь):

$$C_{\text{пит.ст}} = \frac{C_{\text{н}}}{T_{\text{ст}}}$$

$$C_{\text{пит.ст}} = \frac{800 \text{ грн}}{15 \text{ га}} \approx \mathbf{53.33 \text{ грн/га}}$$

Питомі витрати на 1 га (зміцнена деталь):

$$C_{\text{пит.зн}} = \frac{C_{\text{в}}}{T_{\text{зн}}}$$

$$C_{\text{пит.зн}} = \frac{250 \text{ грн}}{45 \text{ га}} \approx \mathbf{5.56 \text{ грн/га}}$$

Економія питомих витрат на 1 га

$$C_{\text{пит}} = C_{\text{пит.ст}} - C_{\text{пит.зн}}$$

$$C_{\text{пит}} = 53.33 \text{ грн/га} - 5.56 \text{ грн/га} = 47.77 \text{ грн/га}$$

Для повної оцінки розрахуємо загальну економію витрат на запчастини за річний обсяг робіт (наприклад, 1000 га).

Таблиця 4.2 Розрахунок загальної економії витрат на запчастини за річний обсяг робіт

Показник	Стандарт (нові леміші)	Зміцнення (наплавлення)
Кількість лемішів на 1000 га	1000 га/15 га \approx 67 шт.	1000 га/45 га \approx 22 шт.
Загальні витрати	67 шт. \times 800 грн = 53600 грн.	22 шт. \times 250 грн = 5500 грн.

$$\text{Річна економія} = 53600 \text{ грн} - 5500 \text{ грн} = 48100 \text{ грн}$$

Як висновок можна сказати, що техніко-економічна оцінка підвищення зносостійкості деталей плуга ПЛ-75-15М методом наплавлення твердими сплавами підтверджує його доцільність:

1. Технічна доцільність полягає в тому, що ресурс леміша збільшується у 3 рази ($K_{\text{зн}} = 3.0$), що підвищує надійність агрегату та зменшує простой.

2. Економічна доцільність полягає в тому, що питомі витрати на робочий орган знижуються з 53,33 грн/га до 5,56 грн/га. Економія на запчастинах становить 47,77 грн на кожному гектарі.

3. Фінансовий результат говорить про те, що при обсязі робіт 1000 га річна економія господарства на придбанні лемішів становитиме 48 100 грн.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Шкідливі та небезпечні фактори при проведенні робіт по наплавленню

Проведення робіт з наплавлення, яке являє собою один із видів зварювальних робіт, пов'язане з низкою шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Чітке дотримання заходів безпеки є обов'язковим для захисту здоров'я та життя працівників.

Наплавлення деталей плуга (лемішів, доліт) найчастіше здійснюється електродуговим методом (ручним, напівавтоматичним), що генерує наступні фактори:

1. Небезпечні фактори (можливість травмування).

Існує можливість ураження електричним струмом. До цього можуть призвести висока напруга холостого ходу зварювального обладнання, несправність ізоляції кабелів, робота з мокрими руками або в невідповідному взутті.

Термічні опіки можуть виникнути через контакт з розплавленим металом, гарячими наплавленими деталями, іскрами та бризками металу (шлаку). Механічні травми, такі як падіння важких деталей (лемішів), травми при зачищенні поверхні (шліфування, обрубкування шлаку), порізи.

Іскри та розплавлений метал можуть спричинити загоряння горючих матеріалів поблизу і це становить пожежну та вибухову небезпеку.

2. Шкідливі фактори (негативний вплив на здоров'я).

Інтенсивне випромінювання, що впливає на очі та шкіру. Ультрафіолетове (УФ) випромінювання спричиняє опік рогівки (електроофтальмія, "зварювання зайчиків") та шкіри. Інфрачервоне (ІЧ) випромінювання призводить до перегріву тіла та ураження кришталика ока (катаракта).

Аерозолі та гази, які здійснюють вплив на дихальні шляхи. У процесі плавлення електродів та наплавних матеріалів (які часто містять хром, марганець, вольфрам, нікель) утворюються зварювальні аерозолі (дим) (тверді високотоксичні частинки, що викликають пневмокніоз, отруєння). Токсичні

гази, такі як оксиди азоту, чадний газ, озон, подразнюють слизові оболонки та вражають центральну нервову систему.

Шум та вібрація виникають при роботі зварювального апарату, а також при зачистці та обрубіванні шлаку (особливо при використанні пневмо- або електроінструменту).

Несприятливий мікроклімат, що являє собою високу температуру повітря в робочій зоні, особливо влітку, через тепло, що виділяється дугою.

5.2 Заходи по усуненню шкідливих та небезпечних факторів при проведенні наплавлення для деталей робочої частини плуга

Для забезпечення безпеки робіт з наплавлення необхідно вжити комплекс організаційних, технічних та індивідуальних заходів.

Організаційно-технічні заходи включають вимоги до робочого місця. Необхідне забезпечення ефективної припливно-витяжної вентиляції в цеху. У зоні наплавлення необхідно використовувати місцеві відсмоктувачі (витяжні зонти або панелі) для уловлювання зварювальних аерозолів безпосередньо біля джерела. Робоче місце має бути звільнене від горючих матеріалів. Повинні бути доступні первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники).

Роботи з наплавлення мають проводитися у спеціально обладнаних кабінах або на постах, які відокремлені від інших робочих зон негорючими ширмами або завісами для захисту очей сусідніх працівників від випромінювання. Захист від електротравм має включати використання справного та заземленого обладнання, регулярну перевірку цілісності зварювальних кабелів та ізоляції, а також забезпечення діелектричних килимків та ізольованих робочих поверхонь.

Також має здійснюватися підготовка деталей. Деталі плуга перед наплавленням необхідно очищати від іржі, фарби, мастил. Наявність цих забруднень різко збільшує виділення токсичних газів.

Здійснення використання пристосувань, таких як траверс, підймальних механізмів та стендів для фіксації важких лемішів та доліт для запобігання падінню.

Обов'язково повинні бути наявні засоби індивідуального захисту. Для очей та обличчя слід використовувати щитки чи маски. Використання зварювальних масок або шоломів з автоматичним затемненням світлофільтрів (хамелеон) або постійними світлофільтрами відповідної щільності (зазвичай C-7 – C-10) для захисту від УФ, ІЧ випромінювання та бризок металу.

Захист дихальних шляхів здійснювати шляхом застосування респіраторів типу FFP2/FFP3 або примусової подачі повітря (при роботі з високотоксичними сплавами, що містять хром та нікель) для захисту від аерозолів та диму.

Захист тіла та рук має забезпечуватися за допомогою спеціального захисного одягу (костюми) зі щільної брезентової або вогнестійкої тканини від опіків та іскор. Краги (спеціальні рукавиці) для захисту рук від високих температур та механічних пошкоджень.

Наявність спеціального шкіряного взуття з металевим носком (для захисту від падіння деталей) та стійкою до високих температур підошвою.

Роботодавець зобов'язаний забезпечити проходження працівниками навчання з безпеки і оволодіння необхідною кваліфікацією для виконання наплавлювальних робіт. Проведення обов'язкових інструктажів (первинні, повторні, позапланові) для актуалізації знань з охорони праці. Проводження працівниками, які контактують зі шкідливими умовами, регулярних медичних обстежень. Обов'язково встановлення обґрунтованих режимів праці та відпочинку, включаючи додаткові перерви для зниження впливу шкідливих факторів (шуму, тепла, аерозолів).

Дотримання цих заходів дозволяє суттєво знизити ризики травматизму та професійних захворювань, роблячи процес наплавлення безпечним.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз ефективності використання технології наплавлення для лемішів та долота плуга ПЛ-75-15М, порівняння її з іншими методами зміцнення та оцінка безпеки праці дозволяють зробити наступні ключові висновки:

По – перше, наплавлення твердими сплавами є високодоцільним методом відновлення та зміцнення робочих органів плуга ПЛ-75-15М. Технологія забезпечує значне підвищення зносостійкості деталей, що критично важливо в агресивних умовах лісового господарства (наявність коріння та кам'яних включень).

Експлуатаційні випробування підтверджують, що ресурс зміцнених наплавленням деталей збільшується в середньому в 2,5-4 рази порівняно зі стандартними. Це досягається завдяки створенню товстого шару надтвердого матеріалу та ефекту самозаточування леза.

По – друге, наплавлення твердими сплавами демонструє перевагу над лазерним зміцненням в аспектах відновлення втраченої маси та товщини зміцнювального шару, що є вирішальним при роботі з сильно зношеними деталями.

Лазерне зміцнення є ефективнішим у плані мінімізації деформації та отримання тонкого, високоякісного шару з мінімальною зоною термічного впливу, але поступається традиційному наплавленню в економічній доступності та швидкості обробки великих площ.

По – третє, технологія наплавлення є високорентабельною. Вартість відновлення деталі складає лише 20%-40% від вартості нової, а її ресурс збільшується багаторазово. Це призводить до зниження питомих експлуатаційних витрат на 1 га до 60-80% та забезпечує пряму фінансову економію для господарства.

Наступним є те, що роботи з наплавлення супроводжуються рядом шкідливих факторів (токсичні аерозолі, інтенсивне випромінювання, електричний струм).

Для усунення ризиків необхідно обов'язково застосовувати комплексні заходи, включаючи ефективну припливно – витяжну вентиляцію з місцевими відсмоктувачами, використання надійних засобів індивідуального захисту (зварювальні маски з автозатемненням, респіратори FFP3) та суворе дотримання організаційно – технологічних вимог для запобігання електротравмам та опікам.

Таким чином, технологія наплавлення є оптимальним, економічно вигідним та технічно обґрунтованим рішенням для підвищення довговічності робочих органів плуга ПЛ-75-15М за умови неухильного дотримання правил охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Довгань Г. Д.** Географія : підруч. для 8 кл. закл. загал. серед. освіти / Г. Д. Довгань, О. Г. Стадник. – 2-ге вид., перероб. – Харків : Вид-во «Ранок», 2021. – 272 с. : іл.
2. **Лахненко В. І.** Зношування та відновлення деталей сільськогосподарських машин / В. І. Лахненко, В. Г. Бевз. – К.: Урожай, 2018. – 315 с.
3. **Воронцова Г. В.** Основи матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів: Навчальний посібник / Г. В. Воронцова. – Львів: Світ, 2019. – 480 с.
4. **Коваленко В. С.** Наплавлення зносостійких покриттів на робочі органи ґрунтообробних машин / В. С. Коваленко, О. В. Грицай. – Харків: ХНТУСГ, 2017. – 210 с.
5. **Гуменюк А. М.** Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник / А. М. Гуменюк. – К.: НУБіП України, 2016. – 512 с.
6. **Петровський І. П.** Види та механізми абразивного зношування робочих органів плугів / І. П. Петровський // Вісник аграрної науки. – 2018. – № 5. – С. 65–70.
7. **Грицай О. С.** Порівняльний аналіз технологій лазерного та електродугового наплавлення для зміцнення деталей / О. С. Грицай // Зварювальне виробництво. – 2021. – № 2. – С. 34–40.
8. **ДСТУ 3816-99.** Надійність техніки. Загальні вимоги до методів контролю зношування. – К.: Держстандарт України, 1999. – 12 с.
9. **Запорожець Л. В.** Охорона праці в машинобудуванні: Підручник / Л. В. Запорожець, П. О. Міщенко. – Одеса: Фенікс, 2020. – 410 с.

10. **Правила охорони праці** під час виконання робіт із застосуванням зварювання та споріднених процесів. – Затверджено наказом Міністерства соціальної політики України від 17.05.2017 № 828.
11. **Тищенко В. М.** Техніко-економічне обґрунтування використання відновлених деталей у сільськогосподарському виробництві / В. М. Тищенко // Економіка АПК. – 2019. – № 7. – С. 88–95.
12. **Скрипник Ю. О.** Наплавні матеріали на основі карбідів вольфраму для деталей, що працюють в умовах абразивного зносу / Ю. О. Скрипник // Вісник НТУ "ХП". Серія: Технологія та обладнання зварювання. – 2022. – № 1. – С. 58–64.
13. **Польовий А.М.** Грунтознавство: підручник / А. М. Польовий, А. І. Гуцал, О. О. Дронова; МОН України; Одес. держ. еколог. ун-т. – Одеса: Екологія, 2013. – 668 с.