МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Юрченко Богдан Юрійович

УДК 631.312.02:621.791.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування зміцнення деталей ґрунтообробних машин з удосконаленням знаряддя для основного обробітку

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Юрченко Б.Ю.

Керівник роботи
Грабар І.Г..
доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Юрченко Богдан Юрійович. Обґрунтування зміцнення деталей ґрунтообробних машин з удосконаленням знаряддя для основного обробітку. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення довговічності деталей ґрунтообробних машин шляхом обґрунтування способу зміцнення робочих органів плуга та удосконалення знаряддя для основного обробітку ґрунту. У першому розділі проаналізовано основні причини і механізми зношування робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема абразивне, ударно-абразивне та корозійно-механічне спрацювання. Окрему увагу приділено впливу абразивних властивостей ґрунтів, їх гранулометричного складу, вологості, щільності та наявності твердих мінеральних частинок на інтенсивність зношування лемешів, польових дощок і відвалів. У другому розділі виконано порівняльний аналіз існуючих способів підвищення зносостійкості робочих органів, серед яких термічна обробка, напилення, наплавлення, застосування зносостійких матеріалів та конструктивне зміцнення найбільш навантажених зон. На основі техніко-технологічного аналізу для умов аграрних підприємств обґрунтовано доцільність застосування ручного дугового наплавлення електродами як доступного, ремонтопридатного та економічно ефективного способу відновлення і зміцнення деталей плуга. Проведено аналіз електродів для наплавлення, визначено їх основні експлуатаційні характеристики та обрано оптимальний варіант для формування зносостійкого шару на робочих поверхнях плужних деталей. У конструктивному розділі розглянуто агротехнічні вимоги до плугів, виконано огляд існуючих конструкцій оборотних плугів і обґрунтовано напрям удосконалення механізму повороту та робочих елементів знаряддя. Запропоновані рішення спрямовані на зменшення інтенсивності зношування, підвищення надійності роботи плуга, збільшення ресурсу робочих органів і зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт у виробничих умовах.

Ключові слова: ґрунтообробні машини; робочі органи плуга; абразивне зношування; зносостійкість; електродне наплавлення; основний обробіток ґрунту.

ANNOTATION

Bogdan Yuriyovych Yurchenko. Justification for the reinforcement of soil-tilling machine components through the improvement of primary tillage implements. *– Qualification work on the rights of the manuscript*.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis examines ways of increasing the service life of soil-tilling machine components by justifying a method for strengthening plough working parts and improving implements for primary soil tillage. The first chapter analyses the main causes and mechanisms of wear on the working parts of soil-tilling machines, in particular abrasive, impact-abrasive and corrosion-mechanical wear. Particular attention is paid to the influence of the abrasive properties of soils, their particle size distribution, moisture content, density and the presence of hard mineral particles on the rate of wear of ploughshares, field boards and mouldboards. The second chapter presents a comparative analysis of existing methods for improving the wear resistance of working parts, including heat treatment, spraying, surfacing, the use of wear-resistant materials and structural reinforcement of the most heavily loaded areas. Based on a technical and technological analysis tailored to the conditions of agricultural enterprises, the feasibility of using manual arc surfacing with electrodes is justified as an accessible, repairable and cost-effective method for restoring and strengthening plough components. An analysis of surfacing electrodes was carried out, their main operational characteristics were determined, and the optimal option for forming a wear-resistant layer on the working surfaces of plough components was selected. The design section examines the agronomic requirements for ploughs, reviews existing designs of reversible ploughs and justifies the direction for improving the turning mechanism and the working elements of the implement. The proposed solutions are aimed at reducing the rate of wear, improving the reliability of the plough, extending the service life of the working parts, and reducing maintenance and repair costs under operational conditions.

Keywords: soil-tillage machinery; plough working parts; abrasive wear; wear resistance; electrode cladding; primary soil tillage.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРИЧИН ТА МЕХАНІЗМІВ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН…….……..9
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГА……...…….18
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ…….……30
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……...……46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….48

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасне аграрне виробництво характеризується зростанням вимог до якості виконання технологічних операцій, продуктивності машинно-тракторних агрегатів, економічності використання техніки та зменшення витрат на її технічне обслуговування і ремонт. Однією з найважливіших операцій у системі землеробства є основний обробіток ґрунту, який забезпечує створення сприятливих умов для росту і розвитку сільськогосподарських культур, накопичення вологи, замулення рослинних решток і добрив, а також поліпшення фізико-механічних властивостей орного шару. Якість виконання цієї операції значною мірою залежить від технічного стану плугів та їх робочих органів.

У процесі експлуатації робочі органи ґрунтообробних машин працюють у складних умовах інтенсивної взаємодії з ґрунтовим середовищем. Лемеші, відвали, польові дошки та інші деталі плуга зазнають значного абразивного й ударно-абразивного зношування, що призводить до зміни їх геометричної форми, збільшення тягового опору, погіршення якості оранки та зростання витрат пального. Особливо інтенсивно зношування проявляється на ґрунтах із підвищеним вмістом піщаних і твердих мінеральних частинок, де ресурс робочих органів істотно зменшується.

Зношування деталей ґрунтообробних машин є однією з основних причин зниження надійності та ефективності використання техніки в аграрних підприємствах. Часті заміни або відновлення робочих органів збільшують експлуатаційні витрати, спричиняють простої машинно-тракторних агрегатів і негативно впливають на своєчасність виконання польових робіт. У зв’язку з цим актуальним завданням є пошук і обґрунтування ефективних способів підвищення зносостійкості деталей плуга, які можуть бути реалізовані в умовах ремонтних майстерень аграрних підприємств без застосування складного і дорогого обладнання.

Одним із перспективних і доступних способів підвищення довговічності робочих органів плуга є наплавлення зносостійкого шару електродами. Такий спосіб дає змогу відновлювати зношені поверхні, зміцнювати найбільш навантажені ділянки деталей, підвищувати їх опір абразивному спрацюванню та продовжувати строк служби робочих органів. Перевагою електродного наплавлення є відносна простота технології, можливість виконання робіт у звичайних ремонтних умовах, доступність матеріалів і обладнання, а також економічна доцільність для сільськогосподарських підприємств.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення ресурсу і надійності робочих органів ґрунтообробних машин шляхом обґрунтування ефективного способу їх зміцнення та удосконалення конструкції знаряддя для основного обробітку ґрунту. Вирішення цього завдання дасть змогу зменшити інтенсивність зношування деталей, скоротити витрати на ремонт і заміну робочих органів, підвищити продуктивність агрегату та забезпечити стабільну якість виконання оранки.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування способу зміцнення деталей ґрунтообробних машин з удосконаленням знаряддя для основного обробітку ґрунту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

– проаналізувати причини та механізми зношування робочих органів ґрунтообробних машин;

– дослідити вплив абразивних властивостей ґрунтів на інтенсивність спрацювання деталей плуга;

– розглянути існуючі способи підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин;

– обґрунтувати доцільність застосування електродного наплавлення для зміцнення робочих органів плуга;

– проаналізувати електроди для наплавлення та вибрати оптимальний варіант для умов аграрних підприємств;

– виконати аналіз конструкцій плугів і визначити напрям удосконалення знаряддя для основного обробітку ґрунту;

– оцінити працездатність і надійність запропонованого конструктивного рішення.

Об’єктом дослідження є процес зношування робочих органів ґрунтообробних машин під час основного обробітку ґрунту.

Предметом дослідження є способи зміцнення та відновлення робочих органів плуга, а також конструктивні параметри знаряддя для основного обробітку ґрунту.

У роботі використано методи аналізу науково-технічної інформації, порівняльної оцінки способів зміцнення деталей, узагальнення експлуатаційних даних, розрахунку продуктивності машинно-тракторного агрегату та оцінки міцності елементів конструкції. Теоретичною основою роботи є положення з теорії зношування матеріалів, сільськогосподарського машинобудування, технології відновлення деталей та експлуатації машин.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грабар Іван, Кузнєцов Андрій, **Юрченко Богдан.** Адитивне відновлення деталей робочих органів ґрунтообробних машин. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті. Матеріали доповідей. Національний університет водного господарства та природокористування, 22–23 квітня 2026 року. С. 52-54.

2. Борак К. В., Шевчук О. А., Федорчук А. О., А.В. Коплич, Словінський А. Й., **Юрченко Б. Ю.** Методи підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 119-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 19-20 лют. 2026 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2026. С. 94-99.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні доступного способу підвищення довговічності робочих органів плуга шляхом електродного наплавлення зносостійкого шару. Запропоновані рішення можуть бути використані в ремонтних майстернях аграрних підприємств для відновлення і зміцнення деталей ґрунтообробних машин, що сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню надійності техніки та покращенню якості основного обробітку ґрунту.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп’ютерного тексту, містить 29 рисунків, 9 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ПРИЧИН ТА МЕХАНІЗМІВ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Робочі органи ґрунтообробних машин працюють у відкритому абразивному середовищі, де на металеву поверхню одночасно діють тиск ґрунтової маси, сили тертя, удари грудок і каміння, волога, рослинні рештки та тверді мінеральні частинки. Найбільше навантаження сприймають лемеші, долота, стрілчасті лапи, диски, ножі та чизельні робочі органи, тобто деталі, які безпосередньо розрізають, піднімають, кришать або переміщують ґрунт. Унаслідок зношування змінюється не тільки маса деталі, а й її геометрія, гострота різальної кромки, шорсткість і здатність до самозаглиблення.

Метою цього розділу є аналіз причин і механізмів зношування робочих органів ґрунтообробних машин, а також визначення властивостей ґрунту, які найбільше впливають на інтенсивність руйнування поверхні. Такий аналіз є основою для вибору способу зміцнення деталей і подальшого удосконалення знаряддя для основного обробітку ґрунту.

1.1. Умови роботи та типові ознаки зношування

Ґрунтове середовище є неоднорідною абразивною масою, у якій частинки можуть бути вільними, закріпленими або напівзакріпленими. Закріплені зерна діють як мікрорізці і утворюють глибокі канавки, вільні частинки переважно перекочуються та полірують поверхню, а напівзакріплені поєднують обидва режими. Тому на зношених поверхнях робочих органів часто одночасно спостерігаються подряпини, борозни, блискучі поліровані ділянки, наклепаний шар і локальні сколи.

Найшвидше зношуються ділянки, які першими входять у контакт із необробленим ґрунтом: носок і лезо лемеша, передня кромка стрілчастої лапи, периферія диска, долото глибокорозпушувача. Після певного напрацювання кромка заокруглюється, робоча ширина зменшується, а профіль деталі втрачає

початкову форму. Це збільшує тяговий опір, погіршує заглиблення і знижує якість обробітку.

Важливо розрізняти зношування за масою та зношування за формою. Деталь може ще мати достатню міцність, але вже не забезпечувати потрібну якість технологічної операції. Наприклад, притуплений леміш погіршує підрізання і перевертання скиби, а зношена лапа культиватора залишає непрорізані смуги бур’янів. Тому граничний стан робочого органа доцільно оцінювати за зміною геометрії різальної кромки, ширини захвату, товщини носка та стабільності роботи агрегату.

Таблиця 1.1 – Типові робочі органи та характер їхнього зношування

Робочий орган	Зона найбільшого зносу	Основні ознаки	Наслідки
Леміш плуга	Носок, лезо, нижня грань	Притуплення, борозни, стоншення	Зростання тягового опору, гірше заглиблення
Стрілчаста лапа	Носок і бокові крила	Зменшення ширини, хвилястість крайки	Пропуски, неповне підрізання бур’янів
Диск борони	Периферійна кромка	Зменшення діаметра, сколи, зміна заточки	Менша глибина різання та подрібнення
Долото розпушувача	Передня і нижня робочі грані	Локальне стоншення, тріщини, сколи	Нестабільна глибина, більші енерговитрати



Рис. 1.1. Зношена поверхня робочого органа ґрунтообробної машини після роботи в ґрунті.

1.2. Причини втрати працездатності деталей

Причини втрати працездатності робочих органів поділяють на конструкційні, технологічні, експлуатаційні та ґрунтово-кліматичні. До конструкційних належать невдалий профіль деталі, надто мала товщина кромки або відсутність локального зміцнення в зоні максимального контакту. До технологічних - неправильна термообробка, неоднорідна твердість, дефекти наплавлення чи недостатнє зчеплення покриття з основним металом.

Експлуатаційні причини пов’язані з перевищенням рекомендованої швидкості, роботою на надмірній глибині, неправильним кутом атаки, несвоєчасною заміною зношених деталей та використанням знаряддя не за призначенням. Навіть високоміцний матеріал не забезпечить довгого ресурсу, якщо кромка працює під надмірним питомим тиском або постійно зазнає ударів від каміння.

Ґрунтово-кліматичні причини залежать від типу ґрунту, вологості, щільності, вмісту піску, кварцу та кам’янистих включень. У піщаних і супіщаних ґрунтах переважає мікрорізання, у важких вологих - пластичне відтискування та налипання, у кам’янистих - ударно-абразивне руйнування. Тому один і той самий спосіб зміцнення може давати різний ефект у різних умовах.

1.3. Механізми абразивного зношування

Абразивне зношування виникає внаслідок дії твердих частинок, які дряпають, ріжуть або пластично деформують поверхню металу. У ґрунтообробних машинах цей процес складніший, ніж у лабораторних умовах, оскільки ґрунт змінює щільність, вологість, зв’язність і ступінь закріплення частинок безпосередньо під час роботи агрегату.

Основними мікромеханізмами є мікрорізання, мікроорювання та клиноутворення. При мікрорізанні гостра частинка врізається в метал і знімає мікростружку. При мікроорюванні частинка не зрізає метал, а витискує його в боки з утворенням валиків. При клиноутворенні перед частинкою

накопичується деформований метал, який після певного переміщення відокремлюється. У реальних умовах ці процеси часто відбуваються одночасно.

Крім механічного стирання, важливими є наклеп, зародження мікротріщин, втомне відокремлення частинок і корозійно-механічна дія вологого ґрунту. Поверхневий шар спочатку може зміцнюватися від пластичної деформації, але після накопичення дефектів руйнується швидше. Це пояснює, чому зношування часто має нерівномірний характер і прискорюється після втрати початкової форми кромки.

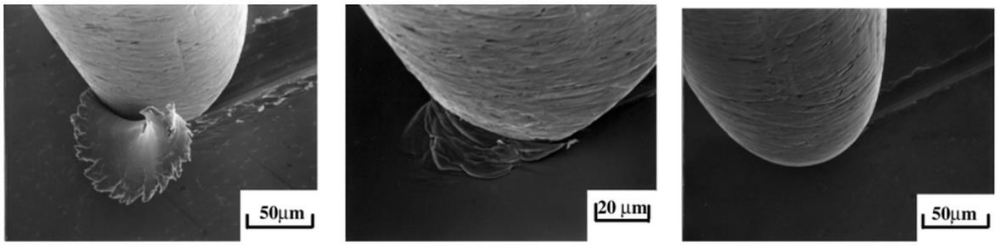


Рис. 1.2. Мікромеханізми абразивного зношування: різання, клиноутворення та оранка поверхні абразивною частинкою.

Таблиця 1.2 – Механізми руйнування поверхні робочих органів

Механізм	Умови прояву	Ознаки на поверхні	Вимоги до зміцнення
Мікрорізання	Гострі кварцові частинки, сухий або ущільнений ґрунт	Глибокі борозни, мікростружка	Висока твердість, карбідні фази
Мікроорювання	Округлі частинки або менше проникнення	Полірування, валики деформованого металу	В’язка основа, опір пластичній деформації
Клиноутворення	Проміжний режим між різанням і оранкою	Накопичення металу перед частинкою	Міцне зчеплення шару з основою
Ударно-абразивне зношування	Кам’янисті ґрунти, грудки, висока швидкість	Сколи, вм’ятини, тріщини	Поєднання твердості та ударної в’язкості
Корозійно-механічна дія	Вологий ґрунт, солі, органічні кислоти	Плями корозії, пітинг, ослаблення шару	Стійкість до вологи, очищення після роботи

Інтенсивність зношування залежить не від одного параметра, а від поєднання властивостей ґрунту, режиму роботи і матеріалу деталі. Найбільш відчутний вплив мають мінералогічний склад і розмір абразивних зерен, форма частинок, вологість, щільність ґрунту, швидкість руху та твердість поверхні.

Збільшення твердості зменшує проникнення абразиву, однак надмірна крихкість може призвести до сколювання, тому важливим є баланс між твердістю і в’язкістю.

Під час основного обробітку ґрунту особливе значення мають питомий тиск на носок робочого органа і довжина шляху тертя. Чим більша глибина обробітку та робоча швидкість, тим більше контактів відбувається між абразивними частинками і поверхнею. Водночас зміна кута атаки може як зменшити, так і збільшити локальне навантаження, тому геометрія знаряддя має бути узгоджена із технологічним режимом.



Рис. 1.3. Орієнтовна структура факторів, що визначають інтенсивність зношування робочих органів.

1.4. Абразивні властивості ґрунтів

Абразивність ґрунту - це здатність його мінеральної частини руйнувати поверхню робочого органа під час відносного переміщення. Вона визначається вмістом твердих мінералів, гранулометричним складом, формою частинок, вологістю, щільністю, твердістю ґрунтової маси та наявністю кам’янистих включень. Найбільшу роль відіграють кварцові зерна, твердість яких перевищує твердість більшості сталей, що застосовуються для виготовлення робочих органів.

За гранулометричним складом найбільш зношувальними є піщані та супіщані ґрунти, оскільки вони містять значну кількість твердих частинок, здатних діяти як абразивні мікрорізці. Суглинкові ґрунти зазвичай мають нижчу частку крупного абразиву, але їхня висока зв’язність і щільність можуть збільшувати контактний тиск. Кам’янисті ґрунти поєднують абразивне стирання з ударами, тому для них особливо важлива ударна в’язкість зміцненого шару.

Форма абразивних зерен істотно впливає на механізм зношування. Гострокутні частинки з малим радіусом вершин легше проникають у метал і формують глибокі канавки. Округлі частинки більше полірують поверхню та викликають мікроорювання. За даними досліджень ґрунтів України, коефіцієнт форми абразивних частинок змінюється залежно від родовища, фракції та глибини залягання, а після багаторазової взаємодії з металом зменшується через округлення гострих вершин [2].

Вологість має подвійний вплив. За малої вологості зростає пилове стирання і закріпленість частинок у сухому ґрунті. За надмірної вологості абразивне різання може зменшуватися, але підвищуються налипання, корозійна активність і нестабільність ходу агрегату. Тому найменша інтенсивність зношування часто досягається не за максимальної вологості, а в діапазоні, коли ґрунт достатньо кришиться і не створює надмірного контактного тиску.

Таблиця 1.3 – Орієнтовна оцінка абразивності ґрунтів.

Тип ґрунту	Абративні властивості	Провідний механізм зносу	Відносна абразивність
Важкосуглинковий	Менша частка піску, висока зв’язність	Пластичне відтискування, полірування	0,6-0,8
Чорнозем середньосуглинковий	Помірний вміст кварцових зерен	Комбіноване мікрорізання і оранка	0,8-1,0
Легкий суглинок	Зростання частки піску	Мікрорізання кромки	1,0-1,2
Супіщаний	Висока частка піщаної фракції	Інтенсивне мікрорізання	1,2-1,5
Піщаний	Переважання твердих зерен	Стирання всієї контактної поверхні	1,5-1,8
Кам’янистий	Крупні тверді включення	Ударно-абразивне руйнування	1,6-2,2

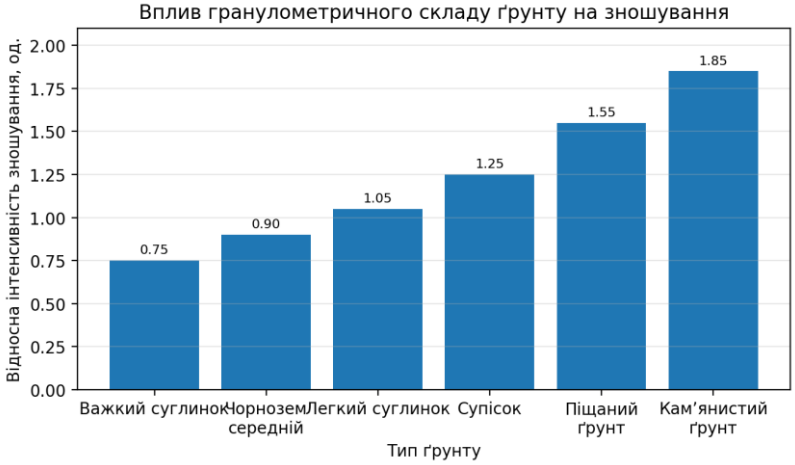


Рис. 1.4. Узагальнена залежність відносної інтенсивності зношування від типу ґрунту.

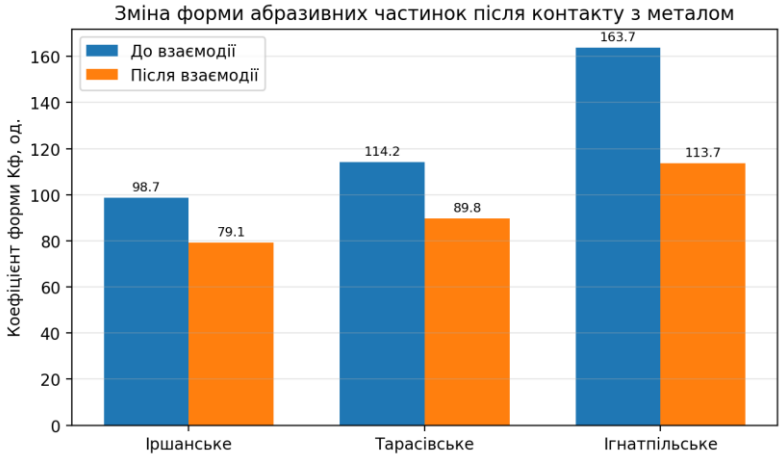


Рис. 1.5. Зміна коефіцієнта форми абразивних частинок після взаємодії зі сталевою поверхнею, побудовано за даними.

1.5. Вплив зношування на якість обробітку та вибір способу зміцнення

Зношування робочих органів змінює агротехнічні показники обробітку. Притуплений леміш гірше заглиблюється і збільшує тяговий опір; зношена культиваторна лапа не забезпечує повного підрізання бур'янів; зменшення діаметра диска погіршує різання рослинних решток; стоншення долота глибокорозпушувача знижує стабільність глибини. Тому економічні втрати виникають не лише через заміну деталей, а й через підвищену витрату пального та погіршення якості польової операції.

Під час експлуатації змінюється мікрогеометрія поверхні. Якщо переважають дрібні фракції та полірування, поверхня може ставати відносно гладкою. Якщо збільшується частка крупних абразивних частинок, зростають параметри шорсткості, глибина канавок і небезпека зародження мікротріщин. Збільшення Ra, Rt, Rv та Rp свідчить про посилення мікрорізання і потребу в більш зносостійкій поверхні.

Спосіб зміцнення має відповідати умовам зношування. Для піщаних і супіщаних ґрунтів доцільні тверді шари з карбідними фазами, що протидіють мікрорізанню. Для кам'янистих ґрунтів потрібне поєднання твердості з ударною в'язкістю. Для вологих важких ґрунтів важливо враховувати корозійно-механічну дію та налипання. Найбільш раціональним є диференційоване зміцнення зон максимального зносу: носка, леза, нижньої грані та бокових крайок.

Удосконалення знаряддя для основного обробітку ґрунту повинно забезпечувати не лише збільшення ресурсу, а й стабільну геометрію робочого органа протягом експлуатації. Перспективним є створення самозагострювальної структури, у якій тверда зміцнена зона зношується повільніше, а більш в'язка основа підтримує міцність деталі та не допускає крихкого руйнування.

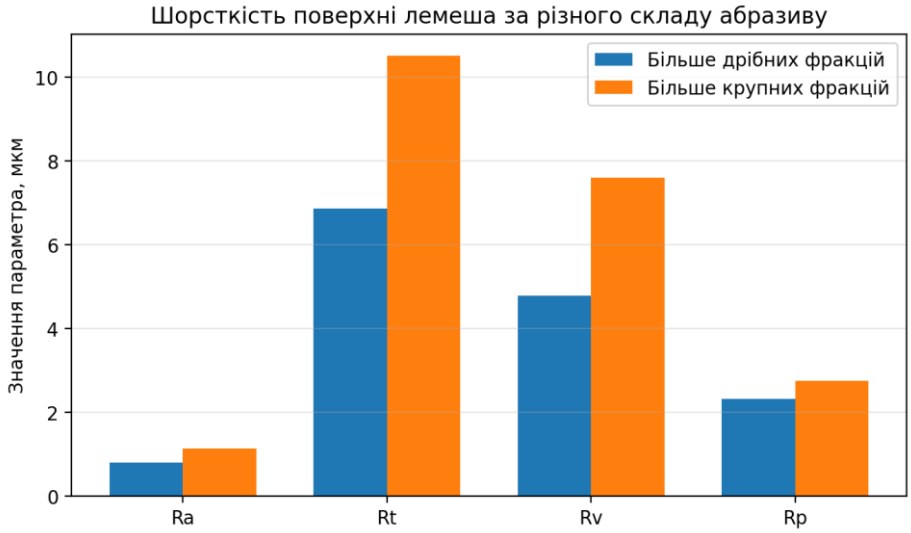


Рис. 1.6. Параметри шорсткості зношеної поверхні лемеша за різного фракційного складу абразиву, побудовано за даними [1]

Таблиця 1.4 – Ознаки критичного зношування і рекомендовані дії

Ознака	Причина	Наслідок	Рекомендована дія
Притуплення леза	Мікрорізання і пластичне відтискування	Гірше заглиблення, більший опір	Заміна або локальне зміцнення леза
Зменшення ширини лапи	Стирання крил у піщаному ґрунті	Пропуски між проходами	Контроль ширини, наплавлення крайок
Сколи зміцненого шару	Удари каміння, крихкість покриття	Нерівномірний хід, прискорений знос	Підбір в’язкішого шару та режиму нанесення
Глибокі борозни	Гострі частинки і високий тиск	Мікротріщини, відокремлення металу	Підвищення твердості поверхні

Висновки по розділу

Робочі органи ґрунтообробних машин зношуються в умовах дії вільних, закріплених і напівзакріплених абразивних частинок, тому на їхніх поверхнях одночасно виникають мікрорізання, мікроорювання, полірування, наклеп, тріщини та сколи. Найбільший вплив на інтенсивність зношування мають мінералогічний і гранулометричний склад ґрунту, вміст кварцу, форма частинок, вологість, щільність ґрунту, швидкість руху агрегату та твердість поверхневого шару деталі. Піщані, супіщані та кам’янисті ґрунти є найбільш небезпечними для робочих органів, оскільки вони сприяють інтенсивному мікрорізанню та ударно-абразивному руйнуванню. Зношування робочих органів погіршує якість основного обробітку ґрунту, збільшує тяговий опір і витрати пального, тому граничний стан деталей потрібно оцінювати за зміною форми, а не тільки за втратою маси. Для підвищення довговічності доцільно застосовувати диференційоване зміцнення зон максимального зносу з поєднанням твердої робочої поверхні та в’язкої основи, що створює передумови для самозагострювання. Узагальнено, вибір способу зміцнення повинен базуватися на реальному характері контакту робочого органа з ґрунтом. Для удосконаленого знаряддя основного обробітку доцільно передбачати локальне зміцнення саме тих зон, де виникає найбільший питомий тиск і переважає абразивне мікрорізання.

РОЗДІЛ 2
ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГА

Робочі органи плуга належать до деталей, ресурс яких значною мірою визначається не міцністю всього виробу, а станом тонкого поверхневого шару в зоні контакту з ґрунтом. Носок і різальна крайка лемеша безпосередньо сприймають тиск ґрунтового клина, дію кварцових зерен, удари твердих включень і циклічне навантаження. Тому підвищення довговічності плуга доцільно здійснювати шляхом локального зміцнення найбільш навантажених ділянок, а не простим збільшенням товщини або маси деталі.

Метою розділу є аналіз існуючих способів підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин, вибір раціонального способу для умов аграрних підприємств і обґрунтування доцільності застосування ручного дугового наплавлення електродом. Особливу увагу приділено вибору типу електрода для наплавлення лемеша плуга, оскільки саме хімічний склад і структура наплавленого металу визначають стійкість до абразивного зношування.

У розділі прийнято, що основними виробничими умовами є експлуатація плугів у середніх аграрних підприємствах, наявність ремонтної майстерні, потреба у відновленні та зміцненні серійних лемешів без придбання складного спеціалізованого обладнання, а також робота на ґрунтах із помірним і підвищеним вмістом абразивних частинок.

2.1. Вимоги до зміцненого шару робочих органів плуга

Зміцнений шар лемеша повинен працювати в умовах переважно абразивного зношування, зберігати геометрію носка і різальної крайки, не відшаровуватися від основного металу та не спричиняти крихкого руйнування деталі. Для робочих органів плуга недостатньо отримати лише високу твердість: шар повинен мати добру адгезію, допустиму тріщиностійкість,

стійкість до локальних ударів і здатність формувати сприятливий профіль зношування.

Найбільш бажаною є структура, у якій тверді карбідні включення протидіють мікрорізанню кварцовими частинками, а металева матриця сприймає деформації та запобігає викришуванню. Якщо зміцнений шар занадто м’який, він швидко стирається разом з основою. Якщо шар надмірно крихкий, на кромці виникають сколи, які прискорюють втрату форми. Тому вибір способу зміцнення має враховувати не тільки твердість, а й характер контакту з ґрунтом.

Для лемеша плуга найважливішими є три зони: носок, нижня частина різальної крайки та ділянка переходу від носка до польової сторони. У цих місцях питомий тиск і швидкість відносного переміщення ґрунтових частинок є найбільшими. Локальне зміцнення цих зон дозволяє зменшити втрату довжини, ширини та товщини лемеша, а також підтримати здатність до самозаглиблення.

Таблиця 2.1 – Вимоги до зміцненого шару лемеша плуга

Показник	Бажана характеристика	Обґрунтування для лемеша
Твердість	Висока, але без надмірної крихкості	Зменшує проникнення абразивних зерен у метал
Адгезія до основи	Стабільне зчеплення з вуглецевою або низьколегованою сталлю	Запобігає відшаруванню під час контакту з ґрунтом
Ударна стійкість	Достатня для випадкових включень і грудок	Зменшує ризик сколів на носку та крайці
Ремонтопридатність	Можливість відновлення у майстерні господарства	Знижує простої та витрати на запасні частини
Технологічність	Просте обладнання, доступні матеріали	Важливо для малих і середніх аграрних підприємств
Збереження форми	Повільне стирання зон максимального тиску	Підтримує якість оранки і стабільну глибину



Рис. 2.1. Схема зон лемеша плуга, які доцільно зміцнювати наплавленням.

2.2. Аналіз існуючих способів підвищення зносостійкості.

У практиці відновлення та зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин застосовують кілька груп методів: об'ємну термічну обробку, поверхневе термічне зміцнення, хіміко-термічну обробку, нанесення покриттів, напилення, наплавлення та встановлення змінних твердосплавних елементів. Кожен спосіб має власну область раціонального використання, обмеження за обладнанням і різний економічний ефект.

Об'ємна термічна обробка, зокрема гартування з відпуском, покращує властивості всієї деталі, але не створює локальної високотвердої поверхні саме у зоні максимального абразивного впливу. Крім того, при значному зношуванні деталі цей спосіб не відновлює втрачену геометрію. Він ефективний на стадії виготовлення, але має обмежене значення для ремонтної майстерні.

Поверхневе зміцнення індукційним, плазмовим або лазерним нагріванням дає змогу отримати твердий шар на обмеженій глибині. Ці методи забезпечують високу якість і керованість процесу, однак потребують спеціального обладнання, джерел енергії, точного контролю режимів і підготовленого персоналу. Для серійного виробництва вони перспективні, але для більшості господарств їх застосування економічно складне.

Хіміко-термічна обробка, зокрема цементація, борування, азотування або карбонітрування, може значно підвищити твердість поверхні. Проте ці процеси тривалі, потребують печей, спеціальних середовищ і контролю температури.

Вони доцільні для деталей масового виготовлення або вузлів із високою вартістю, але менш придатні для швидкого відновлення лемешів у польовий сезон.

Газотермічне напилення, порошкові та композиційні покриття забезпечують високу зносостійкість, але їхня ефективність залежить від якості підготовки поверхні та міцності зчеплення покриття з основою. У зоні ударно-абразивного контакту покриття можуть відшаровуватися, особливо якщо товщина шару невелика або геометрія деталі швидко змінюється.

Наплавлення є методом, який одночасно відновлює геометрію та створює зносостійкий шар. Для лемешів плугів особливо важливо, що наплавлений метал можна розміщувати диференційовано: на носку, уздовж різальної кромки або у вигляді окремих валиків. Це дозволяє формувати самозагострювальний ефект, коли більш в’язка основа зношується швидше, а тверда наплавлена зона підтримує робочий профіль.

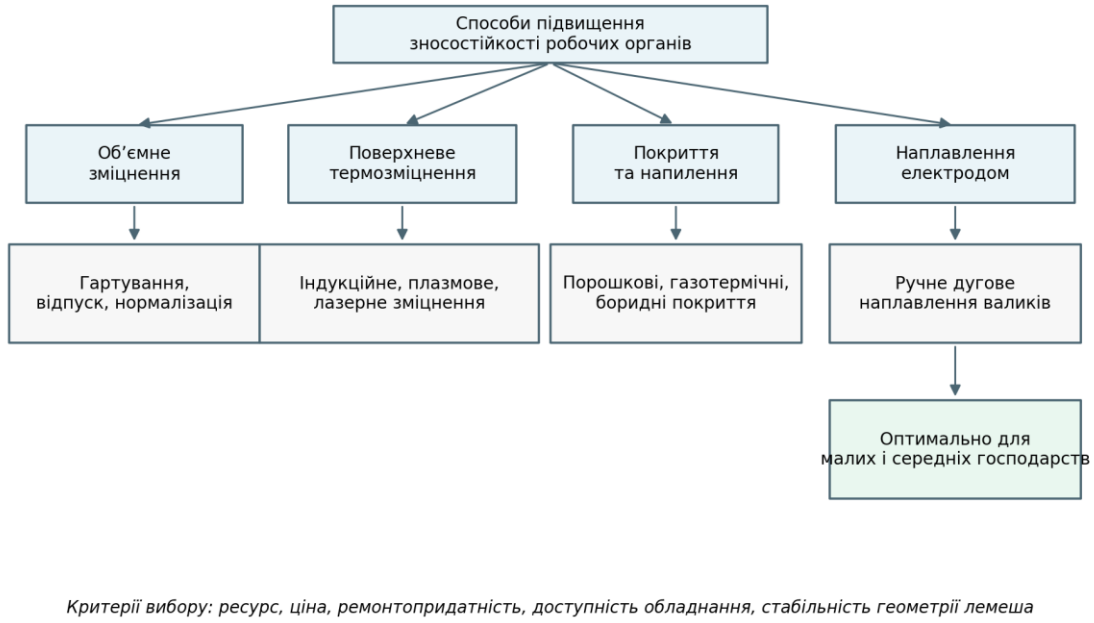


Рис. 2.2. Класифікація способів підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Таблиця 2.2 – Порівняння способів зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин

Спосіб	Переваги	Недоліки	Доцільність для аграрного підприємства
Термічна обробка	Покращує властивості всієї деталі, добре освоєна технологія	Не відновлює форму, обмежене локальне зміцнення	Середня: корисна при виготовленні або централізованому ремонті
Хіміко-термічна обробка	Висока твердість поверхні, можливе підвищення ресурсу	Потрібні печі, тривалий цикл, складна підготовка	Низька для звичайної майстерні
Індукційне/плазмове/лазерне зміцнення	Локальність, керованість, висока якість шару	Висока вартість обладнання, потреба у спеціалістах	Середня або низька для дрібносерійного ремонту
Газотермічне напилення	Можливість нанесення композиційних покриттів	Ризик відшарування, складна підготовка поверхні	Обмежена для деталей із сильними ударами
Твердосплавні пластини	Дуже висока локальна зносостійкість	Вартість, складність кріплення, ризик руйнування	Доцільна для окремих дорогих робочих органів
Ручне дугове наплавлення	Відновлює форму, просте обладнання, локальне зміцнення	Потрібен контроль якості, можливі тріщини при неправильному режимі	Висока: найбільш доступне рішення для майстерні

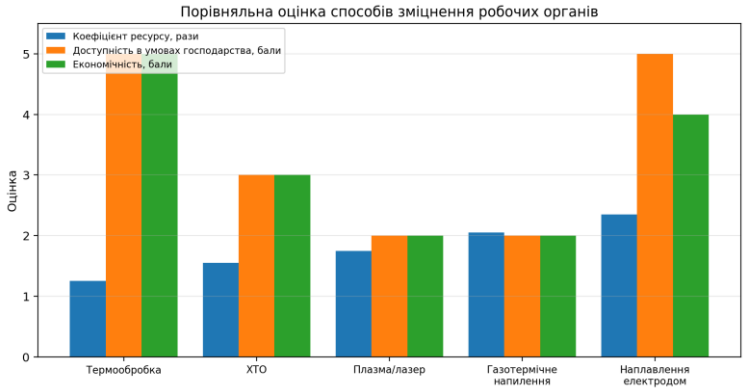


Рис. 2.3. Порівняльна оцінка способів зміцнення за ресурсом, доступністю та економічністю.

2.3. Обґрунтування вибору наплавлення електродом.

Для умов аграрних підприємств оптимальний спосіб зміцнення має відповідати таким вимогам: можливість виконання в ремонтній майстерні, доступність матеріалів, невисока собівартість, можливість локального нанесення шару, відновлення геометрії зношеної деталі та достатній ресурс у

різних ґрунтових умовах. За сукупністю цих критеріїв найбільш раціональним є ручне дугове наплавлення покритими електродами.

На відміну від покриттів малої товщини, наплавлення формує шар, який є частиною поверхні деталі та може працювати навіть за інтенсивного абразивного контакту. Наплавлений метал має більшу товщину, ніж більшість напилених покриттів, а його склад можна підібрати відповідно до характеру зношування. Для лемеша плуга доцільно застосовувати не суцільне наплавлення всієї площини, а локальне нанесення валиків на ділянки максимального зносу.

Перевагою наплавлення електродом є можливість використання поширених джерел зварювального струму та стандартних електродів. Це важливо для господарств, які не мають лазерних, плазмових або індукційних установок. Додатковою перевагою є ремонтопридатність: при повторному зношуванні леміш можна дефектувати, очистити та відновити робочу форму за допомогою нового наплавленого шару.

До обмежень методу належать необхідність кваліфікованого виконання, контроль вологості електродів, правильний вибір схеми нанесення валиків, запобігання перегріву основного металу та контроль тріщин. Тому в проекті наплавлення розглядається як технологія для виробничої майстерні, а не як довільна польова операція. Конкретні режими необхідно уточнювати за паспортом електрода і виконувати з дотриманням вимог охорони праці.



Послідовність наведена як технологічна схема для проекту; конкретні режими встановлюють за паспортом електрода і вимогами охорони праці.

Рис. 2.4. Узагальнена технологічна схема зміцнення лемеша наплавленням електродом

Для попереднього вибору способу зміцнення використано інтегральну оцінку, яка враховує ресурс, доступність матеріалів, технологічність, витрати та ризик дефектів. За такою оцінкою ручне дугове наплавлення має перевагу не як найскладніша, а як найбільш придатна для ремонтної майстерні технологія. Локальне нанесення валиків дає змогу зберегти різальну здатність лемеша і сформувати ефект самозагострювання.

2.4. Аналіз електродів для наплавлення робочих органів

Ефективність наплавлення визначається вибором електрода. Для робочих органів ґрунтообробних машин переважно застосовують електроди, які формують високотвердий залізохромистий або марганцевий наплавлений метал із карбідними фазами. До поширених варіантів належать ОЗН-300М, ОЗН-400М, ЕН-60М, Т-590 і Т-620. Вони відрізняються твердістю, схильністю до тріщиноутворення, стійкістю до ударів, ціною та рекомендованими умовами роботи.

Електроди ОЗН-300М призначені для наплавлення деталей із вуглецевих і низьколегованих сталей, що працюють в умовах тертя та ударних навантажень. Їхній наплавлений метал має твердість близько НВ 330, тобто він більш в’язкий, але менш стійкий до інтенсивного мікрорізання піщаними і кварцовими частинками. Тому ОЗН-300М доцільно розглядати для деталей із підвищеними ударами, але не як основний вибір для лемеша в абразивному ґрунті.

Електроди ЕН-60М, Т-590 і Т-620 формують більш твердий наплавлений шар. Т-590 за даними виробників призначені саме для деталей, що працюють в умовах абразивного зношування з мінімальними ударними навантаженнями, зокрема для лемешів плугів, дисків і лап культиваторів. Типова твердість наплавленого металу Т-590 становить близько 58-62 HRC, а високий вміст хрому та вуглецю забезпечує утворення карбідної структури, стійкої до стирання.

Електроди Т-620 також призначені для швидкозношуваних поверхонь в абразивному середовищі та можуть працювати за помірних ударних навантажень. Їхня твердість є близькою до Т-590, але наплавлений метал може бути менш пластичним. Тому Т-620 доцільні для важчих абразивних умов, тоді як для серійних лемешів у звичайній ремонтній практиці важливішим є баланс між зносостійкістю, доступністю і меншим ризиком технологічних дефектів.

Таблиця 2.3 – Порівняльна характеристика електродів для наплавлення

Електрод	Типова твердість	Характер наплавленого шару	Переваги	Обмеження
ОЗН-300М	Близько НВ 330	В'язкий шар для тертя та ударів	Добра ударна стійкість	Недостатня твердість для абразиву
ОЗН-400М	Середня/підвищена	Твердіший шар, ніж ОЗН-300М	Краща зносостійкість	Менший ефект у піщаних ґрунтах
ЕН-60М	Орієнтовно 55-60 HRC	Високотвердий шар	Придатний для абразиву	Потрібен контроль режимів
Т-590	58-62 HRC	Високохромистий карбідний шар	Рекомендований для лемешів, дисків і лап	Потрібен контроль якості
Т-620	56-63 HRC	Твердий шар для абразиву та помірних ударів	Висока твердість	Доцільний за важчих умов

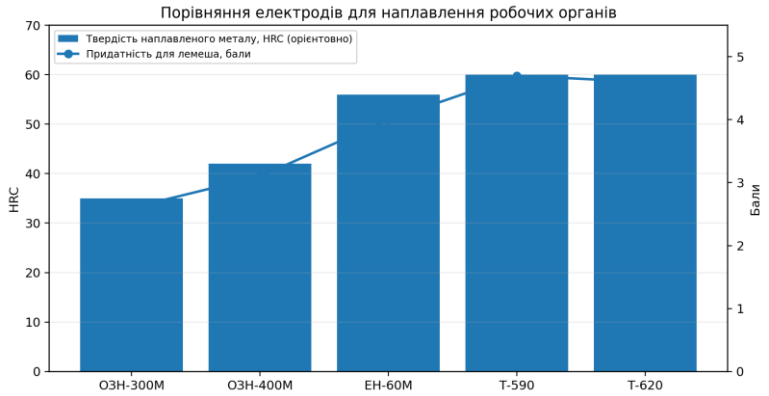


Рис. 2.5. Порівняння електродів за твердістю та придатністю для лемеша плуга.

2.5. Вибір оптимального електрода для умов аграрного підприємства.

Для вибору оптимального електрода прийнято такі критерії: очікувана зносостійкість у ґрунті, достатня стійкість до випадкових ударів, доступність на ринку, економічність, простота виконання в ремонтній майстерні та ризик

утворення дефектів. Найвищу вагу надано зносостійкості, оскільки основною причиною втрати працездатності лемеша є абразивне стирання носка і різальної крайки.

Порівняння показує, що ОЗН-300М має високу технологічність і ударну стійкість, але недостатній рівень абразивної зносостійкості. ЕН-60М є прийнятним варіантом для абразивного середовища, однак у літературі та каталогах для робочих органів ґрунтообробних машин частіше вказують електроди типу Т-590 і Т-620. Т-620 забезпечує високу твердість, але для звичайного лемеша плуга може бути надмірним за крихкістю та вимогливішим до технології.

Оптимальним для прийнятих умов обрано електрод Т-590. Його перевага полягає у тому, що він безпосередньо призначений для деталей, які працюють в умовах абразивного зношування з мінімальними ударними навантаженнями, включно з лемешами плугів. Наплавлений шар має високу твердість, а хромисто-карбідна структура протидіє мікрорізанню кварцовими частинками. При цьому електроди Т-590 є поширеними, доступними для ручного дугового наплавлення та можуть застосовуватись у ремонтній майстерні за умови кваліфікованого виконання.

Таким чином, для удосконаленого знаряддя основного обробітку ґрунту доцільно передбачити локальне наплавлення носка і різальної крайки лемеша електродами Т-590. Т-620 можна розглядати як альтернативу для більш важких умов з помірними ударами, а ОЗН-300М - як підшар або варіант для деталей, де переважають ударні навантаження, але не як основний зносостійкий шар лемеша.

Таблиця 2.4 – Матриця вибору електрода для наплавлення лемеша.

Критерій	Вага	ОЗН-300М	ЕН-60М	Т-590	Т-620
Зносостійкість у ґрунті	0,30	3	4	5	5
Ударна стійкість	0,15	5	3	3	3
Доступність і поширеність	0,20	4	4	5	4
Економічність	0,15	4	4	4	3
Простота виконання	0,10	5	4	4	4
Нижчий ризик дефектів	0,10	5	3	3	2
Інтегральна оцінка	1,00	3,90	3,85	4,25	3,90

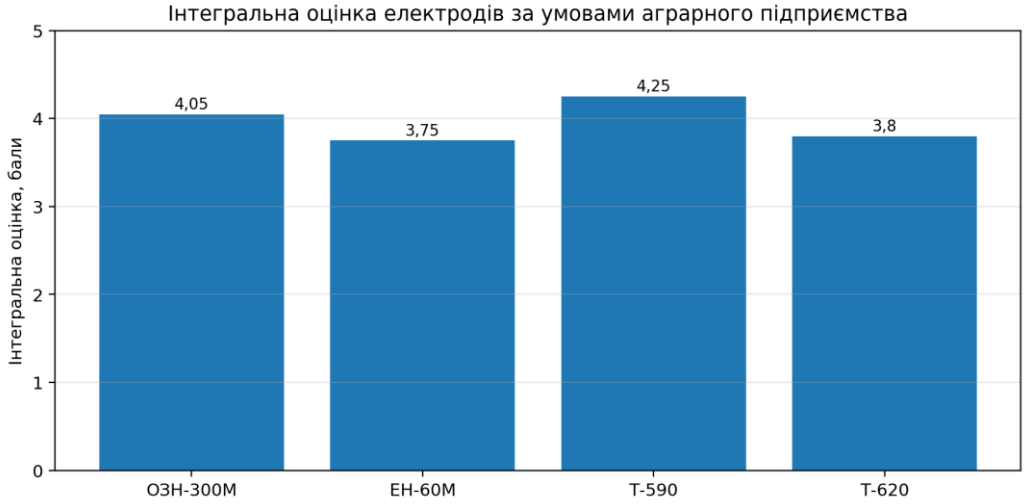


Рис. 2.6. Інтегральна оцінка електродів за критеріями вибору.

2.6. Схема зміцнення лемеша та технологічні рекомендації

Удосконалення знаряддя для основного обробітку ґрунту передбачає не суцільне зміцнення всієї робочої поверхні, а локальне нанесення наплавленого металу на ділянки найбільшого зношування. До таких ділянок належать носок лемеша, нижня різальна крайка та перехідна зона від носка до польової сторони. Такий підхід зменшує витрати електродів і теплове навантаження на деталь, а також дозволяє зберегти в’язку основу лемеша.

Схема наплавлення повинна забезпечувати утримання робочої форми під час зношування. На носку доцільно розміщувати короткі наплавлені валики, орієнтовані так, щоб вони приймали максимальний потік абразивних частинок. Уздовж різальної кромки доцільне переривчасте або суцільне нанесення валиків з урахуванням товщини деталі та допустимого теплового впливу. Для зниження ризику тріщин не слід формувати надмірно товстий високотвердий шар.

Технологічна підготовка включає дефектацію лемеша, видалення бруду та корозійних продуктів, зачищення зон наплавлення, розмічання валиків, виконання наплавлення кваліфікованим зварником, повільне охолодження без різкого гартування, очищення шлаку та контроль геометрії. Орієнтовні режими визначаються за паспортом електрода і повинні коригуватися залежно від товщини лемеша, стану основного металу та вимог охорони праці.

Після наплавлення необхідно перевірити відсутність грубих тріщин, відшарувань і надмірного викривлення. Особливу увагу слід приділяти висоті валиків, оскільки надмірні виступи можуть підвищити тяговий опір, а занадто низькі не дадуть потрібного зносостійкого ефекту. Раціональна схема передбачає мінімально достатню кількість наплавленого металу в зоні максимального зносу.

Очікуваний ефект від застосування Т-590 полягає у підвищенні ресурсу лемеша, зменшенні кількості замін протягом сезону та підтриманні стабільної якості оранки. Економічний результат формується не лише за рахунок вартості запасних частин, а й за рахунок зменшення простоїв, стабільнішого заглиблення плуга та зниження втрат часу на регулювання агрегату.

Таблиця 2.5 – Рекомендовані конструктивно-технологічні рішення для наплавлення лемеша

Елемент рішення	Прийняте рішення	Очікуваний ефект
Зона зміцнення	Носок, різальна крайка, перехідна ділянка	Збереження довжини та гостроти лемеша
Матеріал наплавлення	Електрод Т-590	Висока стійкість до абразивного мікрорізання
Характер нанесення	Локальні валики, без надмірного суцільного шару	Менші витрати матеріалу і нижчий ризик тріщин
Основа деталі	Збереження в’язкого основного металу	Опір ударним навантаженням та викришуванню
Контроль якості	Огляд поверхні, контроль геометрії та відсутності відшарувань	Стабільність роботи плуга у полі
Умови виконання	Ремонтна майстерня, кваліфікований персонал, дотримання охорони праці	Безпечне і повторюване виконання технології

Прийняте рішення є компромісом між максимально можливою зносостійкістю та реальною технологічністю. Високотехнологічні покриття або лазерне зміцнення можуть забезпечити кращі властивості в окремих випадках, але потребують складного обладнання. Наплавлення Т-590 є доступним, ремонтопридатним і достатньо ефективним для умов більшості аграрних

підприємств, що робить його раціональним вибором для даної кваліфікаційної роботи.

Висновки по розділу.

Проаналізовано основні способи підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин: термічну та хіміко-термічну обробку, поверхневе термозміцнення, газотермічне напилення, твердосплавні елементи та наплавлення.

Для умов аграрних підприємств найбільш раціональним способом зміцнення лемеша плуга обрано ручне дугове наплавлення покритим електродом, оскільки воно поєднує доступність, ремонтопридатність, можливість локального нанесення та відновлення геометрії зношеної деталі.

Встановлено, що зміцнений шар має забезпечувати високу абразивну зносостійкість, достатню тріщиностійкість, надійне зчеплення з основою та збереження робочої форми носка і різальної крайки лемеша.

За результатами аналізу електродів ОЗН-300М, ОЗН-400М, ЕН-60М, Т-590 і Т-620 оптимальним обрано Т-590 для абразивного зміцнення лемешів плугів, дисків і лап культиваторів.

Запропоновано локальне наплавлення носка та різальної крайки лемеша, що підвищує ресурс, зберігає геометрію та створює передумови для самозагострювання.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Основні агротехнічні вимоги до роботи плугів

Плуги, що застосовуються для основного обробітку ґрунту, повинні забезпечувати стабільне підрізання, перевертання або розпушування пласта відповідно до прийнятої технології вирощування культури. Для зяблевої та первинної оранки переважно використовують лемішні плуги з передплужниками, оскільки вони краще загортають рослинні рештки. Під час переорювання пару або заорювання органічних добрив передплужники можуть не застосовуватися. У посушливих районах доцільною є оранка без повного обороту пласта, а на задернілих площах пласт перекидають без надмірного подрібнення. Якщо поле засмічене камінням, конструкція плуга має передбачати запобіжні пристрої, які захищають робочі органи від аварійного руйнування.

Основний обробіток виконують у визначені агротехнічні строки. Типова мінімальна глибина оранки становить 20 см, а на ділянках із малопотужним орним горизонтом її обмежують фактичною товщиною придатного шару з подальшим поступовим поглибленням. Для дерново-підзолистих ґрунтів таке поглиблення доцільно проводити орієнтовно на 4...5 см за рік із використанням ґрунтопоглиблювачів. Систематична оранка на однакову глибину сприяє утворенню ущільненої плужної підошви, тому періодично застосовують глибшу оранку на 25...27 см або чизельне розпушування. Для картоплі, як правило, потрібне глибше розпушення ґрунту – близько 28...32 см.

Контроль якості роботи плуга передбачає перевірку фактичної глибини та ширини захвату. Середнє відхилення глибини від установленого значення на рівних полях не повинно перевищувати ±5 %, а на ділянках із нерівним рельєфом допускається відхилення до ±10 %. Відхилення робочої ширини захвату від конструктивної також має залишатися в межах ±10 %, оскільки

більші відхилення погіршують рівномірність оранки та підвищують енергетичні витрати.

Якісна оранка характеризується однаковими за шириною і товщиною пластами, повним загортанням пожнивних решток і добрив, а також рівномірною висотою гребенів. Висота гребенів не повинна перевищувати 5 см. Неприпустимими є високі звальні гребені, глибокі розвальні борозни, незорані смуги між проходами агрегату та приховані огріхи, які знижують якість підготовки поля до наступних технологічних операцій.

3.2. Аналіз відомих конструктивних рішень оборотних плугів

Поворотний механізм плуга Lemken побудований за схемою, у якій несуча рама 3 з'єднується з валом кріплення корпусів 4 через два гідроциліндри 2 (рис. 3.1). На валу попарно розміщені право- та лівообертові корпуси 5. Кількість пар корпусів може змінюватися залежно від моделі плуга і зазвичай становить від п'яти до восьми. Під час переведення плуга з одного робочого положення в інше вал повертається навколо поздовжньої горизонтальної осі приблизно на 180°.

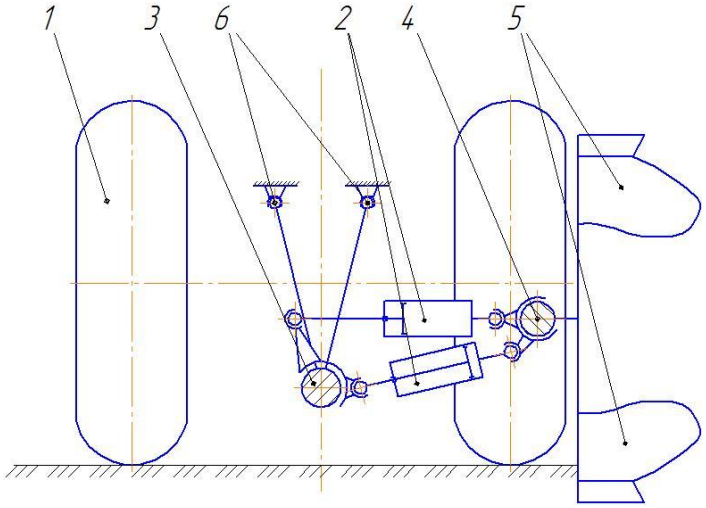


Рис. 3.1. Схема поворотного механізму плуга Lemken: 1 – колесо трактора; 2 – гідроциліндри; 3 – рама; 4 – вал кріплення корпусів; 5 – корпуси плуга; 6 – навіска трактора.

Особливістю зазначеної конструкції є розділення функції повороту між двома гідроциліндрами, що дає змогу стабілізувати рух рами у зоні проходження верхньої мертвої точки.

Після подачі робочої рідини в порожнину першого гідроциліндра його шток висувається, тоді як другий гідроциліндр забезпечує завершення повороту і фіксацію системи в потрібному положенні. У результаті правообертові корпуси опускаються в робочу зону, а лівообертові переміщуються у верхнє неробоче положення, або навпаки залежно від напряму повороту.

Головний недолік такої схеми полягає в ускладненні гідросистеми. Наявність двох гідроциліндрів збільшує масу вузла, кількість рукавів високого тиску, вартість виготовлення та обсяг технічного обслуговування.

Оборотні плуги цього типу працюють човниковим способом, тому поле не потрібно попередньо ділити на загінки. На розворотній смузі раму переводять на 180°, і агрегат починає зворотний прохід без утворення звальних гребенів і розвальних борозен. За роботи на схилах пласт доцільно відвалювати вниз по схилу. Робоча ширина захвату таких плугів може становити приблизно 150...360 см, а швидкість агрегату – до 15 км/год.



Рис. 3.2. Загальний вигляд поворотного вузла плуга Lemken.

Конструкція поворотного механізму плуга IBUS також передбачає використання рами 3 з установленими парами право- та лівообертових корпусів 5 (рис. 3.3). Поворот робочих органів відбувається відносно поздовжньої горизонтальної осі під дією гідроциліндра 2. На відміну від схеми з двома гідроциліндрами, у цьому випадку застосовано простіший гідропривід, що зменшує кількість елементів системи.

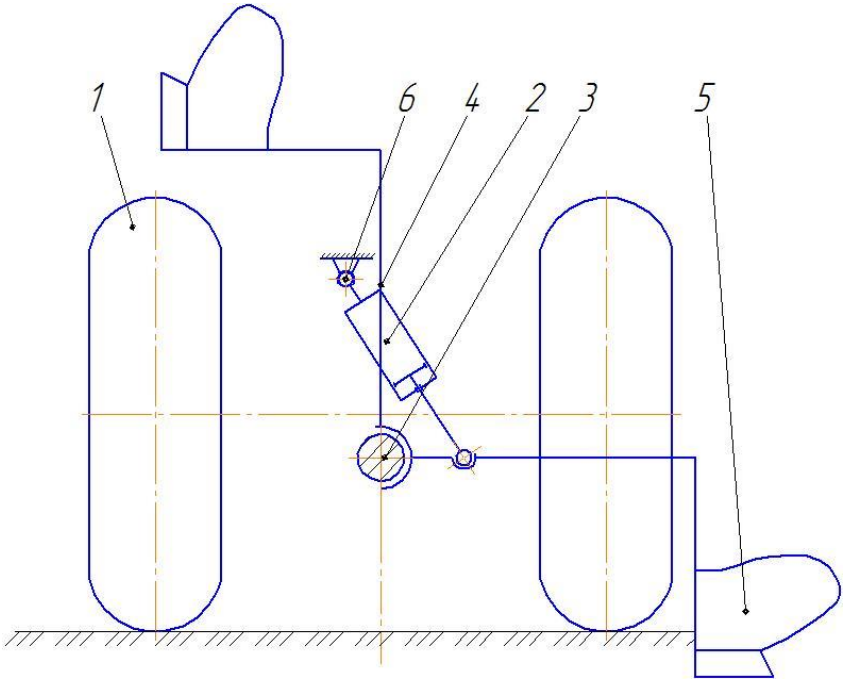


Рис. 3.3. Схема поворотного механізму плуга IBUS: 1 – колесо трактора; 2 – гідроциліндр; 3 – рама; 4 – рама кріплення корпусу; 5 – корпус плуга; 6 – навіска трактора.

Під час спрацювання гідроциліндра рама з корпусами переводиться у відповідне положення: одна група корпусів займає нижнє робоче положення, а протилежна група піднімається і не контактує з ґрунтом.

Недоліком цього рішення є недостатня стійкість агрегату під час роботи на схилах, що може ускладнювати витримування заданої глибини та прямолінійності ходу.

У плугах Gregoire Besson використано симетричну поворотну раму 3 (рис. 3.5), яка обертається відносно поздовжньої горизонтальної осі на 180°. На рамі закріплюються право- і лівообертові корпуси, кількість яких, залежно від модифікації, може становити три або чотири пари. Гідроциліндр 2 шарнірно

встановлено на кронштейні навіски 6, а його шток через кінематичні ланки приводить у дію механізм повороту.

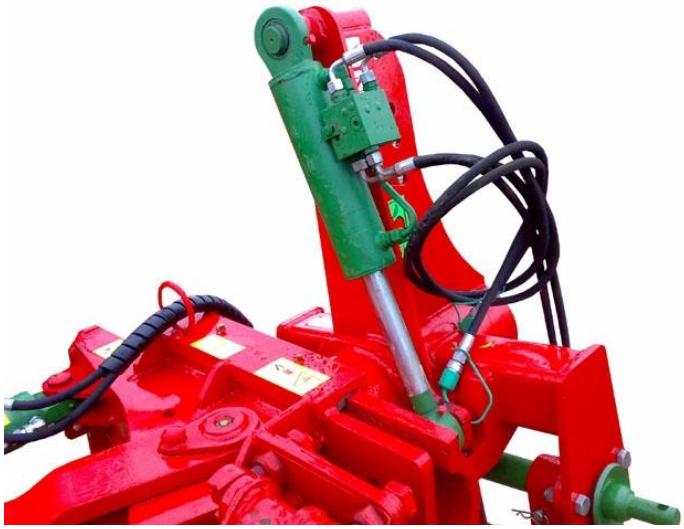


Рис. 3.4. Загальний вигляд поворотного механізму плуга IBUS.

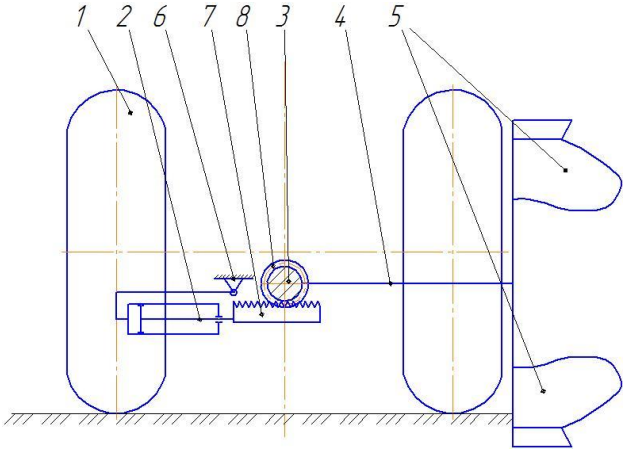


Рис. 3.5. Поворотний механізм плуга Gregoire Besson: 1 – колесо трактора; 2 – гідроциліндр; 3 – рама; 4 – рама кріплення корпусу; 5 – корпуси плуга; 6 – навіска трактора; 7 – рейка; 8 – шестерня.

У процесі роботи переміщення штока гідроциліндра передається рейці 7, яка через шестерню 8 повертає раму з корпусами. За подачі рідини в одну порожнину циліндра в роботу вводяться правообертові корпуси, а за подачі в іншу – лівообертові. Регулювання глибини обробітку здійснюється зміною положення опорного колеса за допомогою болтових з’єднань.

Недоліком рейково-зубчастої схеми є збільшення маси та габаритів механізму. Крім того, наявність рейки і шестерні підвищує вимоги до точності

виготовлення, захисту від забруднення та періодичного обслуговування зачеплення.

Поворотний механізм плуга ПОН-3-30 за принципом дії близький до попередньої конструкції. Симетрична рама 3 обертається навколо поздовжньої горизонтальної осі на 180°, а на ній установлено пари право- та лівообертових корпусів 5 (рис. 3.6). Гідроциліндр 2 шарнірно закріплений на кронштейні навішування 6 і через механічну передачу взаємодіє з поворотною рамою.

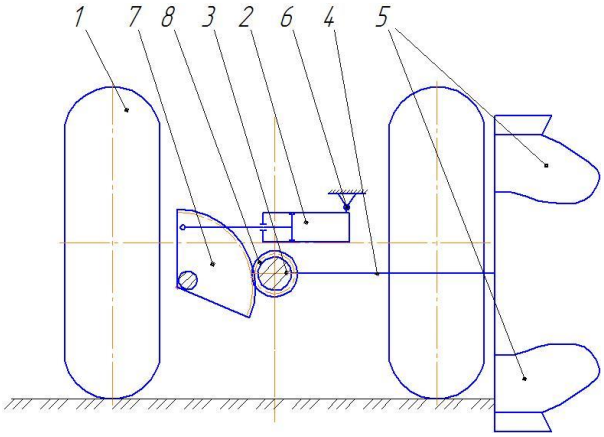


Рис. 3.6. Поворотний механізм плуга ПОН-3-30: 1 – колесо трактора; 2 – гідроциліндр; 3 – основний вал; 4 – рама кріплення корпусу; 5 – корпуси плуга; 6 – навіска трактора; 7 – зубчастий сектор; 8 – шестерня.

Коли робоча рідина надходить у відповідну порожнину гідроциліндра, його шток зміщує зубчастий сектор 7. Через шестерню 8 цей рух перетворюється на обертання рами, унаслідок чого одна група корпусів переходить у робоче положення, а друга – у транспортно-неробоче. Глибина оранки регулюється перестановкою опорного колеса.

Плуг ПОН-3-30 призначений для гладкої оранки човниковим способом без розбивання поля на загінки. На кінцях гонів рама розвертається на 180°. За роботи на схилах агрегат рухається поперек схилу, а пласт відвалюється у напрямку його пониження. Конструктивна ширина захвату плуга становить близько 120 см.

Ланцюговий поворотний механізм, описаний у рішенні АС 2300180 С1, належить до навісних оборотних плугів, що агрегатуються з трактором і

застосовуються для гладкої оранки під зернові та технічні культури (рис. 3.7). У цій схемі поворот рами здійснюється за допомогою ланцюгової передачі.

Слабким місцем такого вузла є інтенсивне спрацювання ланцюга та зірочок у запиленому середовищі. Розтягування або пошкодження ланцюга може спричинити порушення синхронності повороту, а у крайніх випадках – його розрив. Додатковим недоліком є збільшення габаритів механізму.

Конструкція містить поперечну навісну балку з вертикальною стійкою, поворотну раму з віссю, ліві та праві корпуси, опорні колеса і пристрій реверсивного повороту. Привід виконаний у вигляді гідроциліндра, корпус якого шарнірно з’єднаний із вертикальною стійкою навісної балки, а шток взаємодіє з виконавчим механізмом ланцюгової передачі.

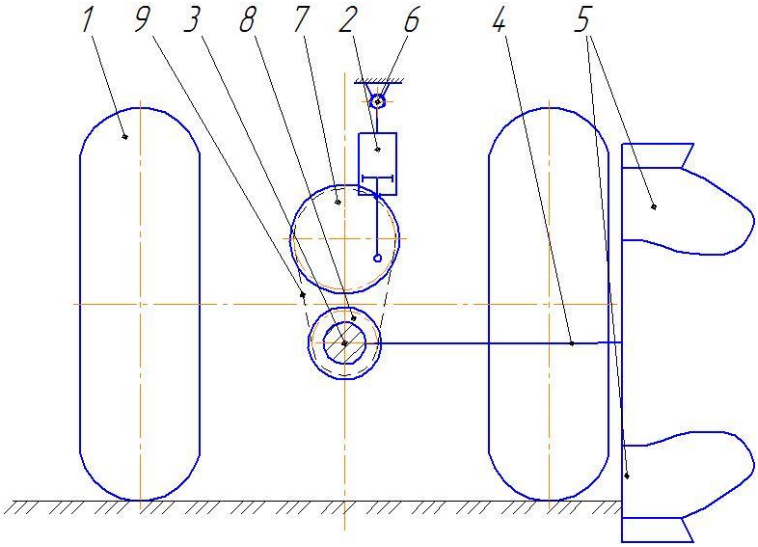


Рис. 3.7. Ланцюговий механізм повороту плуга: 1 – колесо трактора; 2 – гідроциліндр; 3 – основний вал; 4 – рама кріплення корпусу; 5 – корпуси плуга; 6 – навіска трактора; 7 – ведуче колесо; 8 – ведене колесо; 9 – ланцюг.

Виконавча частина механізму працює як понижувальна ланцюгова передача. Ведуча зірочка шарнірно закріплюється на горизонтальній осі вертикальної стійки, ведена зірочка жорстко з’єднується з віссю поворотної рами, а шток гідроциліндра через ексцентрично встановлену цапфу приводить ведучу зірочку в обертання. Таким чином прямолінійне переміщення штока перетворюється на поворот рами плуга.

Іншим відомим рішенням є поворотний механізм за АС 2109418 С1, призначений для тракторних навісних оборотних плугів гладкої оранки (рис. 3.8). Його конструкція базується на взаємодії гідроциліндра, поворотного важеля, жорстких упорів і рухомої рами.

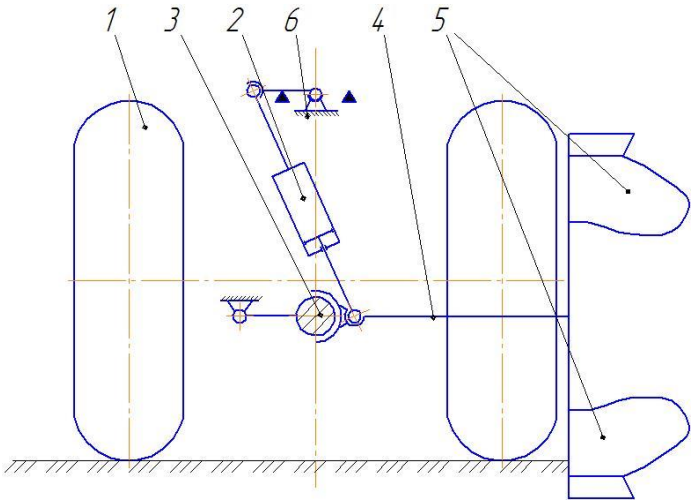


Рис. 3.8. Поворотний механізм плуга АС RU 2109418 С1: 1 – колесо трактора; 2 – гідроциліндр; 3 – основний вал; 4 – рама кріплення корпусу; 5 – корпуси плуга; 6 – навіска трактора.

Схема включає поворотну раму з робочими органами, нерухому частину, що приєднується до трактора, і гідроциліндр, установлений штоком униз під кутом до поздовжньо-вертикальної площини плуга. На нерухомій рамі розміщені жорсткі упори, а на поворотній – опорне колесо. Додатково застосовано поворотний важіль: один його кінець шарнірно приєднаний до вушка циліндра, другий – до вертикальної стійки нерухомої частини.

Принцип роботи механізму можна подати так. Після завершення проходу однією групою корпусів на зворотному ході в роботу вводиться протилежна група. У початковий момент верхнє вушко гідроциліндра зміщене відносно вертикалі на відстань, що відповідає довжині поворотного важеля, а сам важіль спирається на упор. Під час піднімання штока поворотна частина рами починає обертатися навколо осі нерухомої частини. Коли центр ваги проходить вертикальне положення, виникає перекидаючий момент, який сприяє завершенню повороту.

Під час зворотного переміщення поршня рама продовжує рух до контакту з жорстким упором. У кінцевій фазі поворотний важіль і вісь гідроциліндра займають положення, яке забезпечує остаточну фіксацію рами. Після цього система готова до нового циклу переведення корпусів у протилежному напрямку.

3.3. Вибір прототипу та обґрунтування модернізованої конструкції оборотного плуга

Як базовий варіант для модернізації доцільно прийняти поворотний механізм за АС № 1696824, оскільки він має компактнішу будову та кращі передумови для підвищення надійності порівняно з рейковими або ланцюговими схемами.

Пристрій містить раму 1, гідропривід із гідроциліндром 3, вал 7 із затискачем для кріплення оборотного плуга, упори, розташовані по обидва боки від вала, і шарнірно-важільний механізм. Вхідна ланка цього механізму пов’язана зі штоком гідроциліндра, а вихідна – з валом. Конструктивною особливістю є виконання на зовнішній поверхні вала двох кільцевих пазів та застосування обмежувача повороту, який взаємодіє з упорами рами і забезпечує обертання в межах півоберта. Корпус шарнірно-важільного механізму встановлений на валу з можливістю обмеженого провертання, а коромисло взаємодіє з одним із кільцевих пазів.

Застосування такої схеми дає змогу зменшити габарити вузла, спростити компонування, підвищити надійність і зробити обслуговування менш трудомістким.

Поворот вала 7 можливий лише тоді, коли оборотний плуг надійно закріплений на ньому затискачем 8. Це запобігає випадковому спрацюванню механізму та підвищує безпечність роботи.

У вихідному, наприклад крайньому лівому, положенні обмежувач повороту вала контактує з відповідним упором рами, а плуг розміщується зліва від поздовжньо-вертикальної площини. Вал утримується гідравлічним

зусиллям циліндра та взаємодією обмежувача з торцем кільцевого паза. Вісь коромисла займає нижнє похиле положення, а між коромислом і торцем паза зберігається невеликий технологічний зазор близько 2 мм. Коли тиск подається у штокову порожнину гідроциліндра, шток переміщується вгору і через шарнірну вісь переміщує коромисло до контакту з торцем паза вала.

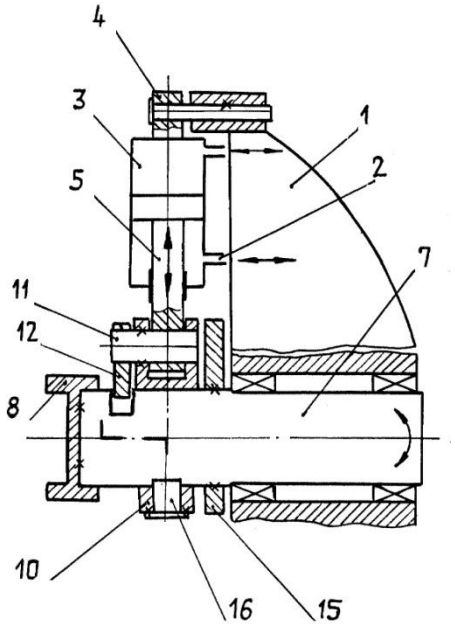


Рис. 3.9. Механізм повороту вала: 1 – корпус; 2 – з’єднувальні шланги; 3 – гідроциліндр; 4 – мала вісь; 5 – стійка; 10 – коромисло; 6 – кришка; 7 – вал; 8 – перехідник; 9 – стопор; 12 – стійка; 11 – вісь; 13 – підшипник.

Після контакту коромисла з пазом починається провертання вала разом із закріпленим оборотним плугом. Вал обертається до завершення повного ходу штока гідроциліндра. Одночасно корпус шарнірно-важільного механізму повертається на валу, а пов’язаний з ним обмежувач переміщується у другому кільцевому пазу. Коли поршень досягає крайнього верхнього положення, вісь коромисла переходить із нижнього похилого положення у вертикальне, що збігається з поздовжньо-вертикальною площиною плуга. Вал із плугом проходить верхню мертву точку, після чого зміщення центра ваги створює момент, що завершує поворот.

3.4. Порівняння змінної продуктивності оборотних і необоротних плугів

Для оцінювання ефективності використання різних типів плугів змінну продуктивність агрегату визначають за залежністю:

$$W_{зм} = 0{,}36 \times B_р \times T_0 \text{ (га/зміна);} \quad (3.1)$$

де $B_р$ – робоча ширина захвату агрегату;

T_0 – час основної роботи протягом зміни.

Тривалість основної роботи визначають як різницю між загальною тривалістю зміни та сумою непродуктивних витрат часу:

$$T_0 = T_{зм} - (T_{пов} + T_{пер} + T_{то} + T_{отл} + T_{обс} + T_{пз}) \quad (3.2)$$

де $T_{зм}$ – тривалість робочої зміни;

$T_{пов}$ – витрати часу на повороти та заїзди;

$T_{пер}$ – час переїздів між ділянками або загонами;

$T_{то}$ – час технологічного обслуговування агрегату;

$T_{отл}$ – час на відпочинок і особисті потреби виконавців;

$T_{обс}$ – час організаційно-технічного обслуговування;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключні витрати часу.

Час, необхідний для поворотів і заїздів агрегату, визначають за формулою:

$$T_{пов} = \frac{2S_x}{V'_р} \quad (3.3)$$

де L_x – довжина холостого повороту;

$V_п$ – швидкість руху агрегату під час повороту.

Для петльового грушоподібного повороту довжину холостого шляху приймають за залежністю:

$$S_x = 6R_{min} + 2e \quad (3.4)$$

Для безпетльового повороту з прямолінійною ділянкою пробігу застосовують іншу залежність:

$$S_x = 1{,}14R_{min} + 2e + X \quad (3.5)$$

Після підстановки відповідних значень змінну продуктивність оборотного плуга визначають за виразом:

$$W_{смоб.п.} = 0{,}36 \times B_р \times T_{см} - (\frac{12R_{min} + 2e}{V'_р} + T_{пер} + T_{то} + T_{отл} + T_{обс} + T_{пз}) \quad (3.6)$$

Для необоротного плуга змінна продуктивність визначається аналогічно, однак із більшими витратами часу на організацію проходів і повороти:

$$W_{смнеоб.п.} = 0{,}36 \times B_р \times T_{см} - (\frac{2{,}28R_{min}+2e+X}{V'_р} + T_{пер} + T_{то} + T_{отл} + T_{обс} + T_{пз}) \quad (3.7)$$

Отримані співвідношення показують перевагу оборотного плуга за рахунок зменшення непродуктивних проходів:

$$W_{смоб.п.} > W_{смнеоб.п.}, \quad (3.8)$$

Перевага пояснюється тим, що для оборотного плуга час на розвороти та організацію руху менший:

$$12R_{min} + 2e > 2{,}28R_{min} + 2e + X. \quad (3.9)$$

3.5. Розрахунок продуктивності агрегату

Розрахунок продуктивності виконуємо для поля з довжиною гону 1000 м.

Конструктивна ширина захвату агрегату приймається B = 2,5 м.

Робоча швидкість руху агрегату становить V = 2,5 м/с, що відповідає приблизно 9 км/год.

Фактичну годинну продуктивність агрегату визначають за формулою:

$$W = c_\omega \times B \times V \times \xi_в \times \xi_V \times \tau, \text{ [га/год]}, \quad (4.10)$$

де 0,36 – перехідний коефіцієнт за умови використання швидкості в км/год;

β = 1,07 – коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату;

φ = 1 – коефіцієнт використання робочої швидкості;

τ = 0,9 – коефіцієнт використання часу зміни.

Теоретична продуктивність агрегату становить:

$$W_m = c_\omega \times B \times V \tag{3.11}$$

$$W_т = 0{,}36 \times 2{,}5 \times 2{,}5 = 2{,}25 \text{ га/год.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання часу зміни фактична продуктивність дорівнює:

$$W = W_m \times \tau, \tag{3.12}$$

$$W_ф = 2{,}25 \times 0{,}9 = 2{,}025 \text{ га/год.}$$

3.6. Перевірний розрахунок основного вала на міцність у середовищі APM FEM

Для підтвердження працездатності модернізованого вузла виконано перевірний розрахунок основного вала на міцність. Геометричну модель вала попередньо побудовано у програмному середовищі Компас 12V, після чого модель використано для подальшого скінченно-елементного аналізу в APM FEM (рис. 3.10).

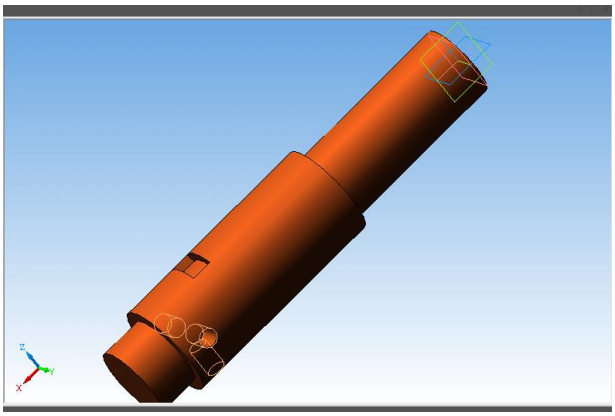


Рис. 3.10. 3D-модель основного вала.

На підготовчому етапі було задано умови закріплення моделі. Фіксацію виконано в місцях, через які вал взаємодіє з рамою плуга, що дало змогу наблизити розрахункову схему до реальних умов роботи вузла (рис. 3.11).

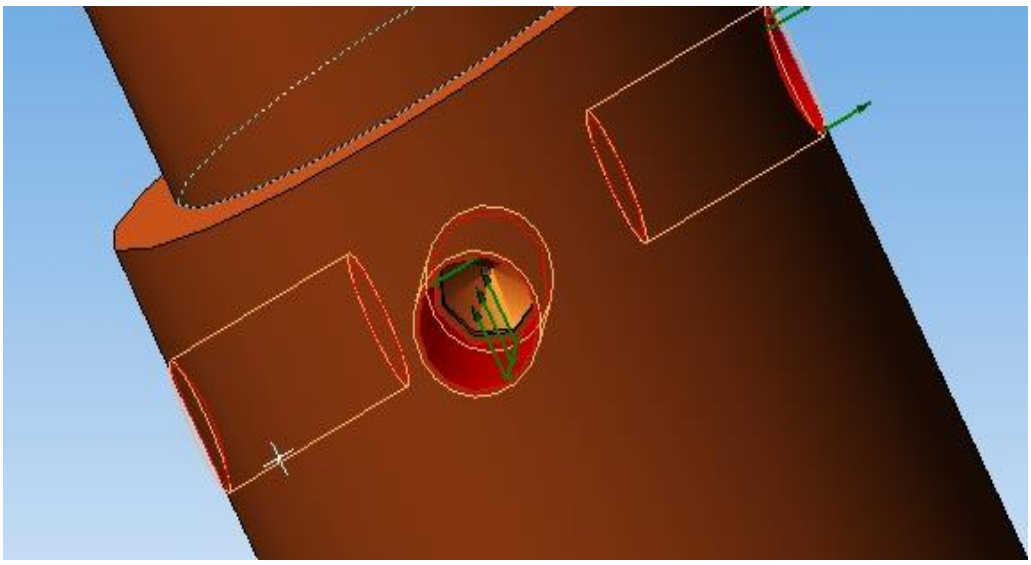


Рис. 3.11. Задання закріплень для розрахункової моделі.

Наступним етапом стало формування скінченно-елементної сітки, необхідної для чисельного розрахунку напружено-деформованого стану (рис. 3.12).

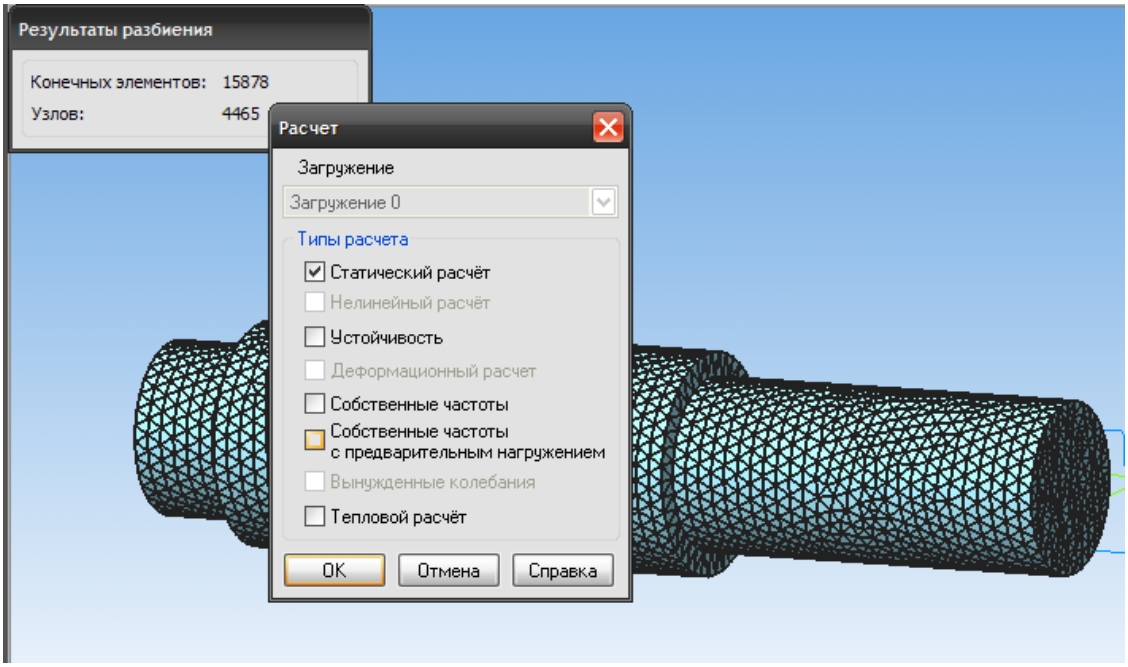


Рис. 3.12. Формування скінченно-елементної сітки.

Крок сітки прийнято 5 мм, що забезпечує достатню деталізацію геометрії без надмірного збільшення тривалості розрахунку. Загальний вигляд отриманої сітки наведено на рис. 3.13.

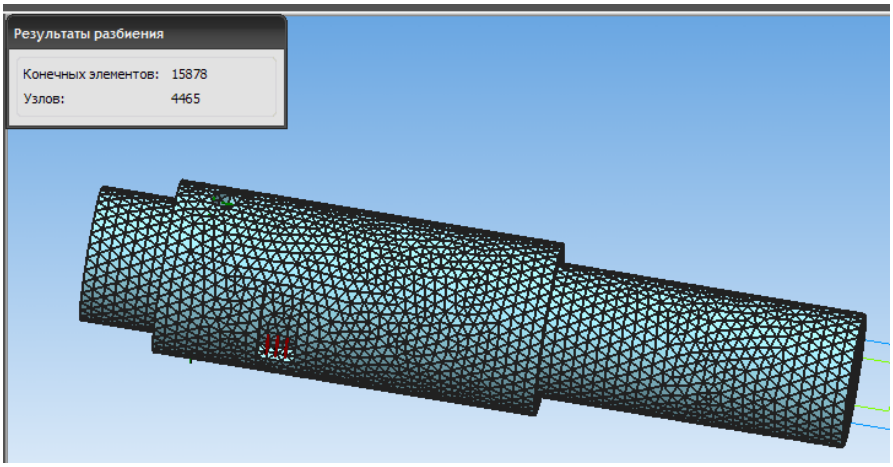


Рис. 3.13. Отримана скінченно-елементна модель вала.

Після побудови сітки задано параметри розрахунку. У програмі обрано статичний тип аналізу, оскільки основною метою було визначення запасу міцності вала за дією робочих навантажень (рис. 3.14). Далі виконано запуск розрахункової процедури.

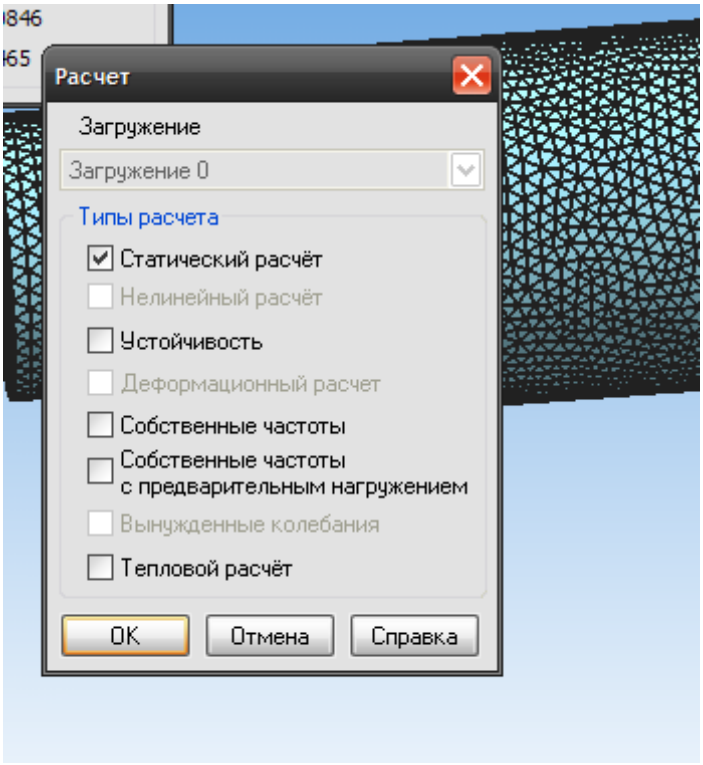


Рис. 3.14. Вибір параметрів статичного розрахунку.

Після завершення розрахунку налаштовано відображення результатів. Для оцінювання працездатності конструкції обрано показник коефіцієнта запасу, а масштабний коефіцієнт відображення прийнято рівним 125.

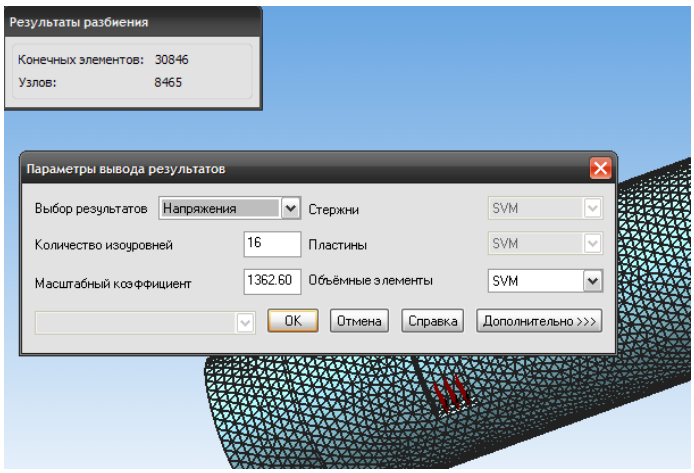


Рис. 3.16. Налаштування параметрів виведення результатів.

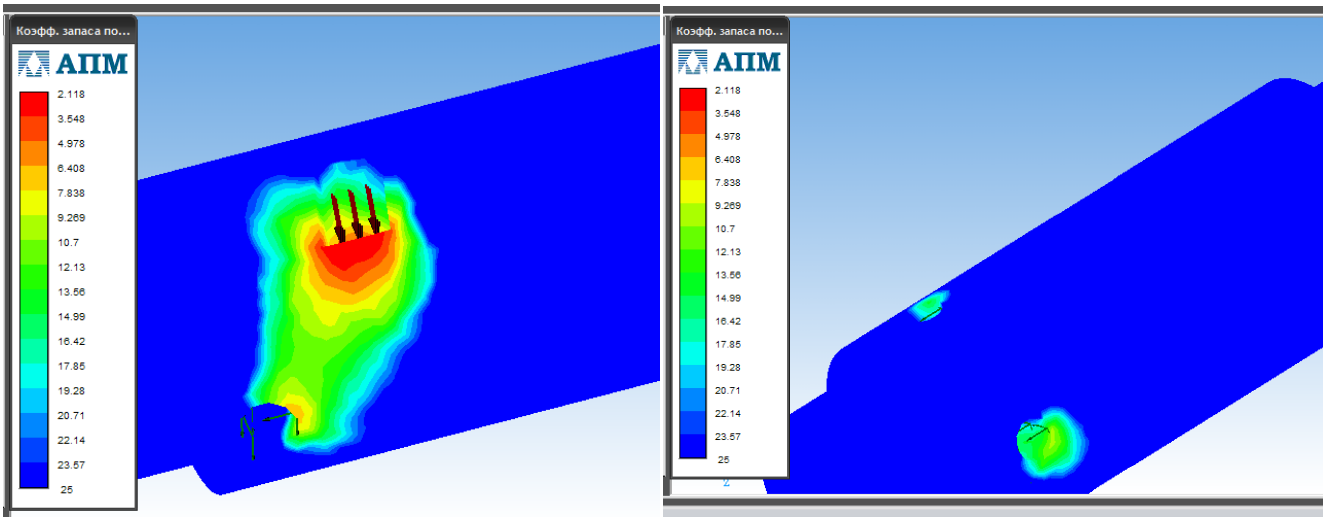


Рис. 3.17. Візуалізація результатів міцнісного розрахунку.

За результатами моделювання мінімальний коефіцієнт запасу за межею плинності становить 2,118. Отже, основний вал має достатній запас міцності, а умова працездатності модернізованої конструкції виконується.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення довговічності деталей ґрунтообробних машин шляхом обґрунтування способу зміцнення робочих органів плуга та удосконалення знаряддя для основного обробітку ґрунту. Встановлено, що під час оранки лемеші, відвали, польові дошки та інші робочі органи зазнають інтенсивного абразивного й ударно-абразивного зношування, що призводить до зміни їх геометричної форми, погіршення якості обробітку, збільшення тягового опору, витрат пального і простоїв агрегату.

У першому розділі проаналізовано причини та механізми зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Визначено, що найбільший вплив на інтенсивність спрацювання мають абразивні властивості ґрунту, зокрема вміст піщаних і твердих мінеральних частинок, вологість, щільність, швидкість руху агрегату та питомий тиск на робочу поверхню. Найбільш зношуваними є носкова частина лемеша, різальна кромка, нижня частина відвала та польова дошка.

У другому розділі виконано аналіз способів підвищення зносостійкості робочих органів, серед яких термічна обробка, напилення, наплавлення, застосування легованих сталей і конструктивне зміцнення. Для умов аграрних підприємств найбільш доцільним визнано ручне дугове наплавлення електродами, оскільки воно є доступним, ремонтопридатним, економічно вигідним і може виконуватися в умовах звичайної ремонтної майстерні. Вибраний спосіб дає змогу формувати на найбільш навантажених ділянках деталей зносостійкий шар із підвищеною твердістю та стійкістю до абразивного спрацювання.

У конструктивному розділі розглянуто агротехнічні вимоги до плугів, проаналізовано існуючі конструкції оборотних плугів і механізмів їх повороту та обґрунтовано напрям удосконалення знаряддя. Запропоновані конструктивні рішення спрямовані на підвищення надійності, зменшення габаритності, спрощення технічного обслуговування та забезпечення стабільної якості

оранки. Проведені розрахунки підтвердили працездатність удосконаленої конструкції та можливість її ефективного використання під час основного обробітку ґрунту.

Отже, застосування електродного наплавлення для зміцнення робочих органів плуга дозволяє зменшити інтенсивність зношування, продовжити строк служби деталей, скоротити витрати на ремонт і заміну, знизити простої техніки та підвищити ефективність використання ґрунтообробних машин в умовах аграрних підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Заєць М. Л. Визначення основних параметрів лемішно-полицевої поверхні корпуса начіпного плуга. Наукові читання–2020: Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, Житомир: ЖНАЕУ, 2020. с. 152-157.

2. Полянський О. С., Дудка О. І., Дьякова А. В. Технології зміцнення та відновлення деталей машин : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2025. 180 с.

3. Stavinskiy A. The use of surface strengthening to increase the wear resistance of working bodies of agricultural machines. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science. 2024. Vol. 28, No. 2. P. 21–32. DOI: 10.56407/bs.agrarian/2.2024.21.

4. Malvajerdi A. S. Wear and coating of tillage tools: A review. Heliyon. 2023. Vol. 9, No. 6. Article e16669. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.

5. Horvat Z., Filipović D., Košutić S., Emert R. Reduction of mouldboard plough share wear by a combination technique of hardfacing. Tribology International. 2008. Vol. 41, No. 8. P. 778–782. DOI: 10.1016/j.triboint.2008.01.008.

6. Bayhan Y. Reduction of wear via hardfacing of chisel ploughshare. Tribology International. 2006. Vol. 39, No. 6. P. 570–574. DOI: 10.1016/j.triboint.2005.06.005.

7. Natsis A., Papadakis G., Pitsilis J. The influence of soil type, soil water and share sharpness of a mouldboard plough on energy consumption, rate of work and tillage quality. Journal of Agricultural Engineering Research. 1999. Vol. 72, No. 2. P. 171–176. DOI: 10.1006/jaer.1998.0360.

8. Vidaković I., Heffer G., Grilec K., Samardžić I. Resistance of modified material surfaces for agricultural tillage tools to wear by soil particles. Metalurgija. 2022. Vol. 61, No. 2. P. 355–358.

9. Wang Y., Zhang J., Li X., Liu H. Research progress on the wear resistance of key components in agricultural machinery. Materials. 2023. Vol. 16, No. 24. Article 7646. DOI: 10.3390/ma16247646.

10. ASM Handbook. Vol. 18: Friction, Lubrication, and Wear Technology / ed. by G. E. Totten. Materials Park : ASM International, 2017. 1120 p.

11. Bhushan B. Introduction to Tribology. 2nd ed. Chichester : John Wiley & Sons, 2013. 732 p.

12. Davis J. R. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. Materials Park : ASM International, 2001. 279 p.

13. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

14. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

15. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.

16. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

17. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

18. Borak, K. V., Kulykivskyi V. L. Borovskyi V. M. Rudenko V. G., Dobranskiy S. S. Increasing the wear resistance of the working bodies of tillage machines by electrical discharge machining. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Випуск 3 (48) 2025. Технічні науки. С.149-160.

19. K. V. Borak, V. L. Kulykivskyi; D. I. Rudnik. Impact of the preliminary corrosion on the intensity of the abrasive wear of the working tools of the tillage machine. Scientific Works of VNTU, 2023, № 2. DOI: https://doi.org/10.31649/2307-5392-2023-2-33-42

20. Dvoruk V.I., Borak K.V., Buchko I.O., Dobranskiy S.S. Destruction of Strain Hardened Steel Upon Abrasive Wear. Journal of Friction and Wear. 2021. Vol. 42 (3). P. 178-184

21. Borak K. Ensuring the equistability of the tillage tools wearout , Works of VNTU, no. 1, Feb. 2023. DOI: https://doi.org/10.31649/2307-5392-2022-1-19-29.

22. Rogovskii I.L.,Titova L.L.,Trokhaniak V.I., Borak K.V., Lavrinenko O.T., Bannyi O.O. Research On A Grain Cultiseeder For Subsoil-broadcast Sowing. INMATEH - Ingeniería agrícola, 2021, 63 (1), págs. 385–396.

23. Dvoruk V.I., Borak K.V., Buchko I.O., Destruction of Steel Hardened by High-Speed Electrothermal Treatment during Sliding Friction on a Non-Rigidly Fixed Abrasive. Wear. Journal of Friction and Wear. 2022. Vol.43 (3). P. 167-173.

24. Dvoruk V.I., Borak K.V., Buchko I.O., Kirienko, N.A. Influence of Soil Type on Breaking of Low-Alloy Steels during Wear. of Friction and Wear. 2022. Vol.43 (6). P. 383-390.

25. Борак К. В. Вплив попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці ВНТУ, 2023, № 2. [Електронний ресурс]. Режим доступу URL: https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/686/653/