

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Денесюк Василь Васильович

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКОСТІ
РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Денесюк В.В.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Денесюк Василь Васильович. Підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів плугів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі для підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь пропонуються нові способи переривчастого наплавлення зносостійкими матеріалами за біонічно обґрунтованими параметрами ґрунторізальних деталей, що дають змогу одержувати в процесі їхньої експлуатації зубчасті або хвилясті форми ріжучих крайок лез, що сприяє зниженню опору ґрунту різанню, зменшенню його тиску на робочі поверхні ґрунторізальних деталей, унаслідок чого знижується інтенсивність їхнього зношування та збільшується довговічність робочих органів.

Виробничі випробування в сільськогосподарських підприємствах підтвердили теоретично обґрунтоване формування в процесі експлуатації зубчастих або хвилястих форм ґрунторіжучих лез зі зносостійким наплавленням за біонічно обґрунтованими параметрами, що призводить до зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь удвічі.

Ключові слова: плуг, леміш, зношування, наплавлення, твердіть, поверхня.

ANNOTATION

Denesiuk Vasyl. Increasing the durability and wear resistance of plow working bodies. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2024.

To improve the reliability and efficiency of tillage machines and tools, the master's thesis proposes new methods of intermittent surfacing with wear-resistant materials based on bionically sound parameters of tillage parts. These methods make it possible to obtain toothed or wavy shapes of the cutting edges of the blades during their operation, which helps to reduce the soil's resistance to cutting, reduce its pressure on the working surfaces of tillage parts, resulting in a decrease in the intensity of their wear and an increase in the durability of the working bodies.

Production tests in agricultural enterprises have confirmed the theoretically justified formation of toothed or wavy forms of tillage blades with wear-resistant surfacing in the course of operation according to bionically justified parameters, which leads to a halving of the wear rate of working surfaces.

Keywords: plow, plowshare, wear, surfacing, harden, surface.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	22
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Основне завдання сільськогосподарського виробництва – отримувати стабільні та високі врожаї вирощуваних культур. Для цього необхідно впроваджувати нові, прогресивні технології обробітку ґрунту з використанням машин і знарядь, робочі органи яких здатні забезпечити задані якісні показники технологічних процесів за мінімально можливої їхньої енергоємності.

При цьому актуальною залишається проблема збереження та підвищення ґрунтової родючості, оскільки надмірно інтенсивне руйнування структурних агрегатів ґрунту машинно-тракторними агрегатами призводить до його деградації.

Досягти необхідних якісних показників обробітку ґрунту з урахуванням енергетичних, агротехнологічних та екологічних вимог можна шляхом упровадження принципово нових ґрунтообробних машин, робочі органи яких використовують ефективні принципи впливу на ґрунт із можливістю зміни ступеня такого впливу, а отже, й управління якістю технологічного процесу.

Необхідною умовою для створення таких робочих органів слугує розроблення фундаментальних теоретичних моделей взаємодії робочих органів із ґрунтом, здатних математично описувати закономірності процесів, що протікають у зоні контакту робочого органа з ґрунтом. Використання таких моделей відкриває широкі перспективи вдосконалення робочих органів і обґрунтування їхніх конструктивно-технологічних параметрів із метою поліпшення якості обробітку ґрунту, підвищення надійності та зниження енергоємності процесів.

Робочі органи ґрунтообробних машин і знарядь у процесі експлуатації змінюють свої форму та розміри через інтенсивне зношування в ґрунтовому

абразивному середовищі, внаслідок чого погіршуються агротехнічні, енергетичні показники та надійність технологічного процесу обробітку ґрунту [1-6].

Незважаючи на проведені раніше дослідницькі роботи, проблема підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь до теперішнього часу залишається неповністю вирішеною [1-8].

Деталі ґрунтообробних робочих органів, що серійно випускаються, мають недостатній ресурс: залежно від ґрунтових умов він становить для лемешів плугів від 5 до 22 га, дискових знарядь від 8 до 20 га, лап і наральників культиваторів від 7 до 18 га. Це негативно позначається на надійності ґрунтообробних машин і знарядь, знижує показники їхньої ефективності та призводить до необхідності випуску великої кількості запасних частин [1-12].

Багато серійних ґрунтообробних робочих органів мають великий тяговий опір (особливо в зношеному стані), що супроводжується підвищеною витратою пального двигунами тракторів під час агрегування ґрунтообробних машин. Обробіток ґрунту плугами та культиваторами із затупленими лезами руйнує його структурні агрегати, погіршуючи стійкість до ерозії, що призводить до втрати родючості ґрунтів і недоотримання врожаю сільськогосподарських культур [6].

Істотно підвищити ресурс і поліпшити працездатність робочих органів, і як наслідок, ефективність ґрунтообробних машин, можливо шляхом комплексного, системного підходу до розв'язання цієї проблеми, під яким мається на увазі спільний розгляд технологічних, конструктивних і силових чинників, що впливають на міцність, зносостійкість і працездатність деталей ґрунтообробних машин, які функціонують у біотехнічній системі «ґрунт-рослина-атмосфера-машина» [6, 12].

Обґрунтування параметрів, що забезпечують збільшення конструктивної зносостійкості та довговічності ґрунторізальних деталей, становлять наукову проблему цієї роботи, від розв'язання якої, значною мірою, залежить ефективність використання ґрунтообробних машин і знарядь.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії лемішів плугів з ґрунтом.

Предмет досліджень – закономірності впливу параметрів біонічно подібних робочих органів, зміцнених різними способами, з урахуванням вібраційної взаємодії з ґрунтом, на показники надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь.

Мета досліджень – обґрунтування принципово нових способів комплексного розв'язання проблеми підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь на основі біосистемного підходу.

Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення таких **завдань** досліджень:

- проаналізувати відомі способи підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь;
- вивчити закономірності функціонування системи «ґрунт-рослина-атмосфера-машина», що зумовлюють її ефективність, та обґрунтувати концепцію підвищення надійності й ефективності ґрунтообробних машин на основі біосистемного підходу;
- обґрунтувати біонічні методи підвищення працездатності, довговічності та ефективності робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь з урахуванням конструктивних, технологічних, матеріалознавчих та екологічних чинників;
- розробити програму і провести лабораторні, польові дослідження та виробничі випробування основних типів біонічно подібних робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь, зміцнених пропонованими способами.

Методи наукового дослідження. В основу методології досліджень покладено біосистемний підхід до підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь. Теоретичні дослідження базуються на математичному та фізичному моделюванні умов експлуатації, навантаження та зношування робочих органів, а також на основних положеннях механіки суцільного середовища, теорії коливань та удару й теорії різання ґрунтів. Експериментальні дослідження виконували в лабораторних і польових умовах за

методиками чинних стандартів і багатофакторного експерименту з використанням лабораторного та технологічного обладнання. Обробку експериментальних даних проводили методами математичної статистики, дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В. М., **Денесюк В. В.**, Тертерян Р. С. Аналіз застосування конструктивних способів підвищення надійності ґрунтообробних машин і знарядь. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 51-55.

2. **Денесюк В.**, Тертерян Р. Системний підхід до підвищення надійності ґрунтообробних машин і знарядь. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 24 - 25 жовтня 2024 р., Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2024. С. 157-159.

3. **Денесюк В.В.** Характер навантажень, що діють на основні вузли та робочі органи ґрунтообробних машин і знарядь. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 11-13.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для аграрної галузі представляє розроблений спосіб підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 48 сторінок комп'ютерного тексту, містить 29 рисунків та 6 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Характер навантажень, що діють на основні вузли та робочі органи ґрунтообробних машин і знарядь

На робочі органи ґрунтообробних машин і знарядь у процесі експлуатації діють великі навантаження, що досягають 7000-10000 Н і більше на деталь (леміш плуга, лапу культиватора, ніж плоскорізу, долото та стійку глибокорозпушувача тощо), та високі зношувальні навантаження (тиск на робочі поверхні), що можуть досягати 0,8 МПа [19].

На показники надійності ґрунтообробних машин і знарядь впливають ціла низка чинників: конструкційні – форма і параметри робочих органів, спосіб їх кріплення до рами (болтове, шарнірне, пружна підвіска тощо); матеріалознавчі – марка матеріалу, метод термообробки тощо; технологічні – вид і параметри зміцнення робочих поверхонь), а також принципи взаємодії з оброблюваним ґрунтом (пасивний, вібраційний, автоколивальний) [19].

Також найважливішою особливістю експлуатації ґрунтообробних машин і знарядь є умова жорсткого абразивного зношування і, відповідно, істотний вплив фактора зношування на їхню надійність і ефективність.

Важливими характеристиками працездатності ґрунтообробних машин і знарядь є також показники міцності деталей їхніх робочих органів, особливо під час експлуатації на кам'янистих ґрунтах [19].

Крім загальних характеристик навантаження та зношування, що проявляються для більшості ґрунтообробних робочих органів, є також певні особливості, якими відрізняються умови експлуатації різних типів робочих

органів (лемешів та відвалів плугів, лап культиваторів, ножів плоскорізів, стійок та доліт глибокорозпушувачів, дискових робочих органів та ін.) [19].

У корпусах плугів найзношуванішими деталями є лемеші, причому навантаження з боку ґрунту на носок лемеша у 2,5-5 разів більше за навантаження на лезо лемеша, що спричиняє випереджувальне спрацьовування носка лемеша (рис. 1.1) [19].

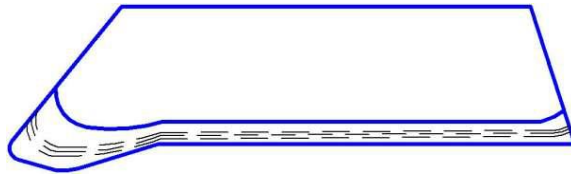


Рис. 1.1 Схема зношування леміша плуга.

На навантаження, що діє на леміш плуга, впливають глибина оранки ґрунту, твердість і вологість ґрунту, швидкість оранки, величина перекриття пластів ґрунту під час оранки, а також розташування корпусу на плузі. Так, опір ґрунту передньому корпусу плуга (і, відповідно, навантаження, що діють на леміш) приблизно в 1,7-2,1 рази перевищують опори, що діють на інші корпуси. Унаслідок цього інтенсивність зношування лемішів передніх корпусів плугів більша, ніж лемішів решти корпусів, і це необхідно враховувати під час проектування цих деталей [19].

На характер зносу відвалів істотно впливає тип ґрунту. Оранка слабкозв'язних піщаних і супіщаних ґрунтів супроводжується найбільшим зношуванням грудей відвалу в зона першого нижнього кріпильного отвору (рис. 1.2) [19].

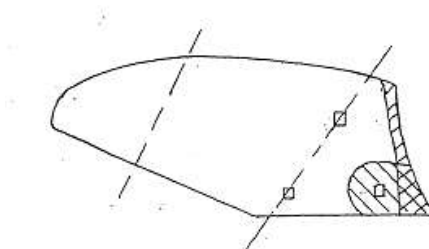


Рис. 1.2. Схеми зон найбільшого зносу та ліній небезпечних перерізів відвалів плугів [19].

У цьому разі відвали вибраковуюються через наскрізне протирання в місцях стиків їх із лемешами або через зношування головок кріпильних болтів і отворів у відвалах [19].

Оранка суглинних і глинистих ґрунтів, що мають високий ступінь зв'язності, супроводжується найбільшим зносом відвалів у зонах польового обрізу. У цьому разі відвали вибраковують через лінійне зношування польового обрізу на рівні центрів нижніх кріпильних отворів [19].

Межі зміни ресурсу відвалів плугів широкі: від 12 га за оранки піщаних і супіщаних ґрунтів до 240 га на суглинкових чорноземах. Відвали найчастіше ламаються в зонах крила в перерізах, які проходять через верхній і лівий нижній кріпильні отвори, що концентрують напруження, або в лівій частині крила на вигині в місцях найбільших напружень [19].

Аналогічно лемеху плуга, на носову частину культиваторної лапи з боку ґрунту діє в 2,5-4 рази більше навантаження, ніж леза крил, що спричиняє випереджальний знос носової частини (рис. 1.3) [19].

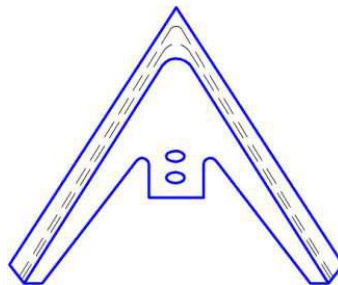


Рис. 1.3. Схема зносу лапи культиватора.

Опір ґрунту лапам переднього ряду культиватора більший за опір лапам інших рядів приблизно вдвічі, оскільки лапи переднього ряду обробляють недеформований ґрунт, а лапи решти рядів обробляють ґрунт, частково розпушений лапами переднього ряду. Тому на культиваторі в передньому ряду лапи зношуються швидше [19].

1.2. Аналіз застосування конструктивних способів підвищення надійності ґрунтообробних машин і знарядь

До першої групи способів підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь належить розробка більш досконалих конструкцій робочих органів (конструктивні способи). Проведені патентні дослідження дали змогу виявити основні шляхи розроблення та вдосконалення конструкцій ґрунтообробних машин і знарядь. Залежно від особливостей конструкції та принципу дії запропоновані технічні рішення конструкцій ґрунтообробних робочих органів пропонується класифікувати за такими типами.

1. Робочі органи із зубчастими або хвилястими формами робочих поверхонь.

2. Вібраційні глибокорозпушувачі з примусовим приводом, у яких стійка, долото або розрізний ніж приводяться в примусовий коливальний рух за допомогою вібраторів через ексцентрики, кривошипно-шатунні або важільні механізми.

3. Робочі органи, що використовують принцип автоколивальної взаємодії з ґрунтом: 3.1) з пружними розпушувальними елементами; 3.2) з пружними стійками; 3.3) з жорсткими стійками на пружній підвісці; 3.4) з жорсткими стійками на пружній підвісці з обмежувачами коливань [17].

4. Робочі органи з гвинтовими розпушувальними елементами.

Робочі органи із зубчастими або хвилястими формами робочих поверхонь (рис. 1.4) створюють у ґрунті концентрацію напружень перед виступами ножів і згинальні моменти, які діють на оброблюваний шар ґрунту, що сприяє його інтенсивному подрібненню [17].

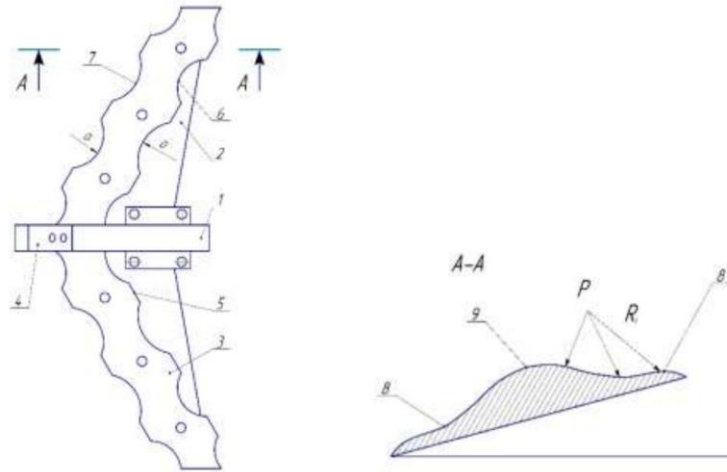


Рис. 1.4. Робочі органи із зубчастими або хвилястими формами робочих поверхонь [17].

Виконання ножів двосторонніми забезпечує можливість їхнього перевстановлення на робочому органі в разі спрацювання однієї з робочих сторін, що збільшує довговічність робочих органів [17].

Вібраційні глибокорозпушувачі з віброприводом (рис. 1.5 а, б, в) [1] підвищують якісні показники обробітку ґрунту та дають змогу знизити тяговий опір. Однак такі конструкції вирізняються складністю виготовлення і технічного обслуговування, підвищеною металоємністю, малою довговічністю, високою вартістю, потребують додаткових витрат енергії на привід, і тому їх застосування обмежене [17].

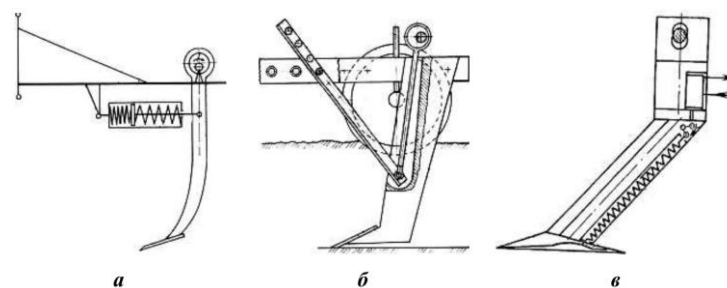


Рис. 1.6. Вібраційні глибокорозпушувачі.

До другого типу відносяться робочі органи (рис. 1.7 а, б, в), у яких розпушувальні елементи з'єднані зі стійкою рухомо та підпружинені відносно неї [1].

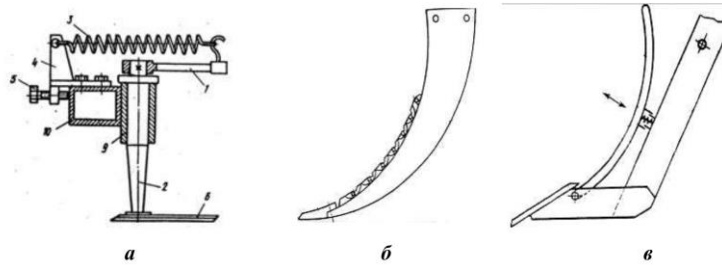


Рис. 1.7. Робочі органи з пружними розпушувальними елементами.

Під час роботи вони вібрують за рахунок нерівномірного опору ґрунту, що сприяє кращому його розпушуванню та зниженню енергоємності обробітку. Однак стійки таких розпушувачів мають жорстке нерухоме кріплення до рами і в разі забивання ґрунтом такі конструкції втрачають свою ефективність [17].

Наступну велику групу становлять робочі органи з пружними стійками (рис. 1.8 а, б, в). Під час роботи вони менше залипають вологим ґрунтом, завдяки вібрації відбуваються їхнє самоочищення від навислих бур'янів і зниження тягового опору [17].

Загальні недоліки таких конструкцій - складність виготовлення, порушення стійкості ходу робочих органів за глибиною та великий розкид ґрунту по поверхні поля під час роботи, складність регулювання режиму коливань [17].

Крім того, ці робочі органи ефективні лише під час обробітку ґрунту на невелику глибину (до 20 см), а в разі зламання пружних стійок необхідна заміна їх новими [17].

Зазначених вище недоліків не мають робочі органи з жорсткими стійками на пружних підвісках (рис. 1.9 а, б). Пружна підвіска дає змогу налаштовувати режим коливань робочих органів на різні умови їхньої роботи, однак можливостей її регулювання недостатньо для одержання оптимальних параметрів коливань, що є суттєвим недоліком таких конструкцій [17].

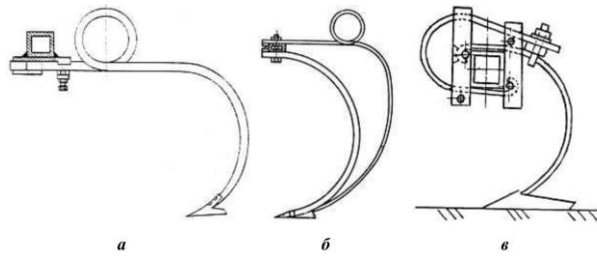


Рис. 1.8. Робочі органи з пружними стійками

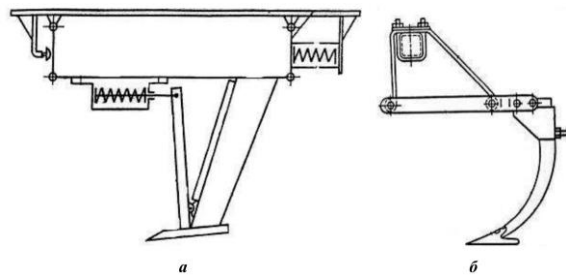


Рис. 1.9. Робочі органи з жорсткими стійками на пружних підвісках.

Досконалішими з погляду можливостей налаштування на стійкий коливальний режим є віброударні робочі органи, у конструкцію яких введено обмежувачі величини коливань робочих елементів (рис. 1.10) [17].

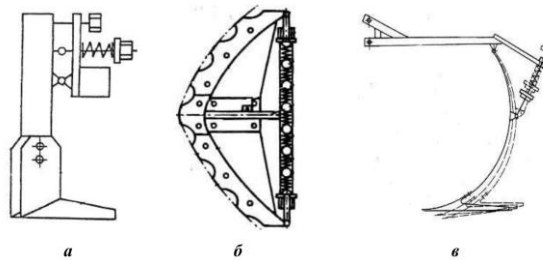


Рис. 1.10. Віброударні робочі органи

Обмежувачі дають змогу регулювати розмах і частоту коливань робочого органу, тим самим покращуючи стійкість його ходу і розширюючи діапазон стійкості коливань. Крім того, поєднання коливань робочого органу з ударами сприяє підвищенню ступеня подрібнення ґрунту та поліпшенню його самоочищення від ґрунту й рослинних решток. Однак у відомих конструкціях передбачено лише односторонні обмежувачі коливань, а форма контактуючих поверхонь ударних елементів, від якої суттєво залежить їхня ефективність, не обґрунтована. Тому ефект удару в таких конструкціях реалізується недостатньо.

Становлять інтерес конструкції робочих органів, у яких розпушувальні елементи розташовані по гвинтових лініях і здійснюють у процесі роботи гвинтовий рух (рис. 1.11 а, б, в) [17].

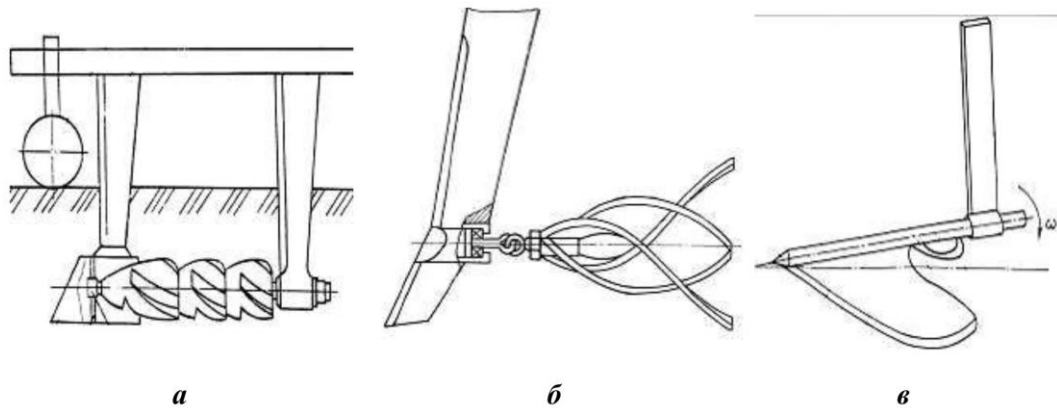


Рис. 1.11. Робочі органи з гвинтовими розпушувальними елементами.

Використання принципу гвинтового руху робочого органу в ґрунті дає змогу виключити енергоємну деформацію зминання ґрунту та зменшити непродуктивне переміщення ґрунту в напрямі руху знаряддя, а отже, суттєво знизити енерговитрати на обробіток ґрунту. Перемішування ґрунту такими робочими органами сприяє поліпшенню його фізико-механічних та агробіологічних властивостей. Однак у відомих конструкціях цього типу не реалізовано принцип ударного впливу на ґрунт. Тому створення нових типів розпушувачів ґрунту з використанням принципу гвинтового руху в поєднанні з ударною дією є перспективним напрямом у ґрунтообробці та становить науковий і практичний інтерес [17].

До другої групи способів підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь належать матеріалознавчі способи підвищення зносостійкості робочих поверхонь [17].

Зміцнювальні методи підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин застосовують із середини 30-х років двадцятого століття [17].

Умовно можна виділити п'ять напрямів:

- термічна обробка матеріалів робочих органів;

- застосування різних видів біметалевих з'єднань (двошарових сталей, плакованих порошкових з'єднань тощо);
- різні види напилення зносостійких покриттів;
- наплавочні (зварювальні) методи нанесення зносостійких сплавів;
- встановлення керамічних вставок і накладок.

Термообробка металевих матеріалів ефективно збільшує міцність деталей, але недостатньо підвищує їхню зносостійкість.

У 60-70-ті роки двадцятого століття в нашій країні проводилися дослідження з використання двошарового прокату для виготовлення ґрунтообробних робочих органів. Хоча в низці випадків зносостійкість ґрунторізальних деталей підвищувалася до двох і більше разів, але часто в жорстких експлуатаційних умовах можливе розшарування матеріалів. Крім того, за даними К.В. Борака, технологія виготовлення ґрунторізальних деталей із двошарових сталей має суттєві технологічні та економічні обмеження [3].

Відомі роботи зі зміцнення ґрунтообробних робочих органів електроімпульсним нарощуванням чавуну, електромеханічною обробкою, електромагнітним напиленням тощо. Загальні недоліки перерахованих методів - мала продуктивність і суттєві обмеження щодо товщини зносостійких шарів, що наносяться, при цьому зносостійкість поверхонь зростає не більше ніж у 1,4-1,9 рази [17].

Методи напилення зносостійких матеріалів (детонаційне, газополум'яне, плазмове тощо) не підходять для ґрунтообробних робочих органів через недостатню міцність зчеплення покриттів з основним матеріалом (не більше 0,7 МПа). Недоліком методу напилення зносостійких матеріалів з оплавленням, використовуваного під час зміцнення і відновлення робочих органів ґрунтообробних машин, схожого за своєю сутністю на напавлення, є висока собівартість нанесення зносостійких покриттів.

Найбільшого застосування у виробництві та відновленні ґрунторізальних деталей набули наплавочні методи зміцнення. Газополумєневий метод

нанесення на поверхні робочих органів різних твердих сплавів (стеллита, сормаїта, спартана, вокара, блекора та ін.) низькопродуктивний і слабо піддається механізації.

Найбільш широкого поширення в нашій країні набуло індукційне наплавлення твердих сплавів на поверхні робочих органів. Перевагами цього методу є його досить висока продуктивність, економічність і можливість механізації та автоматизації. Однак він також має суттєві недоліки: обмеження за товщиною і хімічним складом шарів твердих сплавів, що наплавляються, складність витримувати задану товщину наплавленого матеріалу, недостатня міцність зчеплення наплавленого шару з основою деталі, що призводить до його відколювання при ударних навантаженнях [17].

Наплавлення наморожуванням, що є різновидом індукційного наплавлення, застосовують під час зміцнення і відновлення деяких частин робочих органів (шкарпеток лемешів і культиваторних лап, доліт тощо). Для зміцнення лезових частин робочих органів цей метод непридатний. Для нього необхідна ретельна підготовка поверхонь деталей, і він має суттєві обмеження за товщиною шарів, що наносяться.

За кордоном для зміцнення ґрунтообробних робочих органів застосовують напаявання або наклеювання вставок із металокерамічних сплавів і мінералокерамічних матеріалів.

На думку низки дослідників [1, 5, 7, 9, 11], найефективнішим для підвищення зносостійкості ґрунторізальних деталей є спосіб електродугового наплавлення зносостійких сплавів.

Електродугове наплавлення дає змогу наносити зносостійкі матеріали як суцільним шаром, так і переривчастим, наносити шари змінної по довжині леза товщини, отримувати заданий хімічний склад наплавленого шару завдяки використанню порошкових матеріалів із необмеженою кількістю компонентів. Деталі з наплавленим шаром можна піддавати термічній обробці та іншим способам зміцнення, що додатково підвищує їхню зносостійкість [17].

1.3. Створення самоналаштувальних робочих органів

Останніми роками виник такий новий напрямок підвищення ефективності ґрунтообробних машин і знарядь, як створення самоналаштувальних робочих органів. Як встановлено в багатьох роботах [1, 4, 7, 8], характерною особливістю ґрунту є значна мінливість і мінливість фізико-механічних властивостей, що знижує ефективність ґрунтообробних машин і знарядь, що використовуються, та обмежує сфери їх застосування, а також призводить до виходу агротехнологічних показників за межі поля допуску. Це спонукає дослідників, що займаються підвищенням ефективності механізованого обробітку ґрунту, до пошуку принципово нових шляхів її вирішення.

Як приклад можна навести дослідження зі створення так званих «динамічних» робочих органів, активна фронтальна площа яких змінюється в певних межах залежно від характеристик ґрунту (густини та твердості). Один із варіантів конструкції «динамічного» робочого органу показано на рис. 1.12.



Рис. 1.12. Динамічний (ліворуч) і нединамічний (праворуч) ґрунтообробні робочі органи.

Активна фронтальна площа нединамічного ґрунтообробного робочого органу в процесі роботи залишається постійною, а динамічного робочого органу залежно від характеристики ґрунту (густини і твердості) коливається в певних межах, які задаються його конструкцією. Динамічні робочі органи, завдяки

Використання легованих сталей	↑	↑	↑						↓	↑	±
Наплавлення лез твердими сплавами	↑	↑	↑	↓		↓			↑	↑	±
Використання керамічних вставок і накладок	↑	↑	↑							↓	±
Штучне залипання робочих поверхонь грунтом	↑	↑		↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	
Застосування складових робочих органів	↑	↑	↑						↓	↓	±
Застосування віброприводів	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	±
Застосування в конструкції пружних елементів	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓		↓	↓	±
Застосування комбінованих робочих органів			↑	↑	↑	↑	↑		↓	↓	±

Примітки: ↑ показник підвищується; ↓ показник знижується;

- спосіб загалом малоефективний; ± спосіб частково ефективний.

Як видно з таблиці 1.1, жоден із відомих способів підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин не розв'язує цю проблему повністю через суперечності, які виникають, зазвичай, між змінами показників надійності та ефективності машин, що вимагає пошуку принципово нових шляхів розв'язання проблеми, що розглядається, на основі інтегрального підходу.

Висновки по розділу

Проведений аналіз стану та основних напрямів розв'язання проблеми підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь дозволив зробити такі основні висновки:

1) відомі наукові праці спрямовані на розв'язання однієї зі складових проблеми: або підвищення надійності, або підвищення ефективності ґрунтообробних машин. Дослідження з комплексного вирішення проблеми підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь раніше не проводилися;

2) жоден із відомих способів підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин не розв'язує цю проблему повністю через внутрішні суперечності;

3) ефективність ґрунтообробних машин, створених для «середньостатистичних» ґрунтово-кліматичних умов, обмежена значною неоднорідністю і мінливістю властивостей ґрунту;

4) у відомих дослідженнях не використовується біосистемний підхід до розв'язання проблеми підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь;

5) для комплексного підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь необхідне проведення наукових досліджень із пошуку принципово нових способів розв'язання означеної науково-технічної проблеми на основі біосистемного підходу.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ

2.1. Системний підхід до підвищення надійності ґрунтообробних машин і знарядь

Для обґрунтування способів підвищення надійності ґрунтообробних машин і знарядь необхідно розглядати їх з погляду системного аналізу за методикою, запропонованою в роботі [1, 2]. Згідно з таким підходом, ґрунтообробна машина являє собою складну багаторівневу технічну систему, загальний рівень надійності якої визначається сукупним впливом надійності підсистем, що входять до неї.

Цей підхід дає змогу визначити вплив показників надійності підсистем на загальну надійність ґрунтообробної машини. Знаходження підсистем із найменшими показниками безвідмовності та подальше їх підвищення дає змогу

збільшити надійність функціонування всієї технічної системи. Підвищити безвідмовність функціонування вузлів і елементів можливо за рахунок поліпшення їхніх функціональних властивостей під час проектування технологічного процесу виготовлення [18].

Як відомо з роботи [1], робочі поверхні ґрунторізальних деталей (лапи, леміша, ножа) посідають найнижчий рівень у технічній системі ґрунтообробної машини, проте саме вони перебувають в абразивній та ударній взаємодії з оброблювальним середовищем - ґрунтом, тому від параметрів цих деталей найбільшою мірою залежать показники надійності системи, яку ми розглядаємо. У цьому разі відмова одного з елементів, а саме, затуплення леза, досягнення граничного стану зі зношування, злам під дією ударного навантаження ґрунторізальної деталі (лапи, леміша, ножа) призводить до втрати працездатності всієї системи, що супроводжується порушенням агротехнічних вимог робочого процесу ґрунтообробної машини [18].

Відповідно до теорії надійності, у робочому органі ґрунтообробної машини є послідовне з'єднання елементів, схематично показане на рис. 2.2 [18].

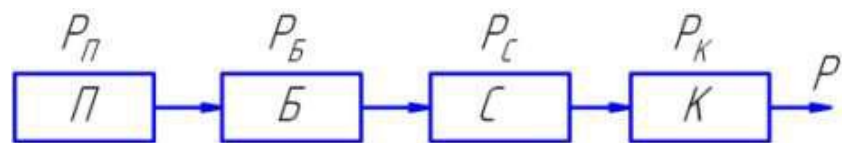


Рис. 2.1. Схема з'єднання елементів робочого органу ґрунтообробної машини.

Імовірність безвідмовної роботи P конструкції робочого органу, відповідно до рис. 1, розраховується за виразом:

Імовірність безвідмовної роботи P конструкції робочого органу, відповідно до рис. 1, розраховується за виразом:

$$P = P_{\Pi} \times P_{\text{Б}} \times P_{\text{С}} \times P_{\text{К}}, \quad (2.1)$$

де P_{Π} , $P_{\text{Б}}$, $P_{\text{С}}$, $P_{\text{К}}$ – ймовірності безвідмовної роботи відповідно ґрунторізальної деталі, черевика, стійки, кронштейна.

У розглянутій системі найменшу ймовірність безвідмовної роботи має ґрунторізальна деталь. Для підвищення її безвідмовності, а, відповідно, рівня

надійності всієї системи, пропонується оснащувати робочий орган додатковими зносостійкими елементами, які виконують ту саму функцію, що й ґрунторіжуча деталь і працюють разом із нею. Схему робочого органу з додатковими зносостійкими елементами ґрунтообробної машини показано на рис. 2.2 [18].

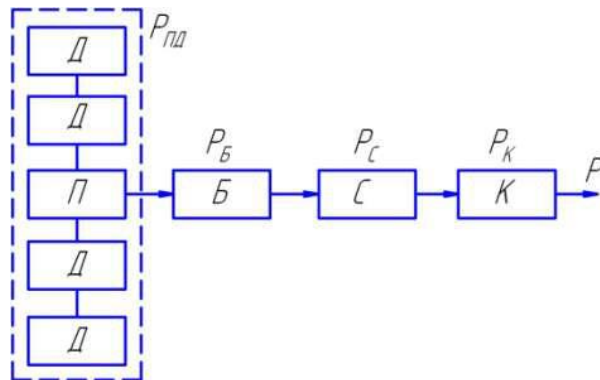


Рис. 2.2. Схема з'єднання елементів робочого органу з додатковими зносостійкими елементами ґрунтообробної машини.

Імовірність відмови системи з паралельним з'єднанням елементів дорівнює добутку ймовірностей відмови окремих її елементів, отже, імовірність відмови Q ґрунторіжучої деталі Q з додатковими зносостійкими елементами, у разі однакових їхніх імовірностей безвідмовної роботи, визначається виразом:

$$Q = (1 - P_D) \times (1 - P_H^n) \quad (2.2)$$

де P_H – імовірність безвідмовної роботи додаткового зносостійкого елемента; n – кількість додаткових зносостійких елементів на робочому органі.

Тоді, з урахуванням формул (1) і (2), вираз для ймовірності безвідмовної роботи конструкції робочого органу з додатковими зносостійкими елементами ґрунтообробної машини набуде вигляду:

$$P = [1 - (1 - P_D) \times (1 - P_H^n)] \times P_B \times P_C \times P_K \quad (2.3)$$

Із порівняння виразів (1) і (3) видно, що встановлення додаткових зносостійких елементів на робочий орган підвищує ймовірність його безвідмовної роботи, а отже, збільшує рівень надійності ґрунтообробної машини.

Як було раніше зазначено, надійність і ефективність ґрунтообробних машин і знарядь, що експлуатуються в умовах інтенсивного зношування їхніх робочих органів, визначається, головним чином, зносостійкістю ґрунторізальних

деталей. Під час культивуації піщаних і супіщаних кам'янистих ґрунтів відбувається швидке зношування культиваторних лап [18].

Аналіз відомих способів зміцнення лемешів і ножів ґрунтообробних машин показав, що вони дають змогу підвищити зносостійкість робочих поверхонь, але не забезпечують стійкого ефекту самозаточування лез робочих органів. Тому необхідно дослідити закономірності зношування ґрунторізальних лез, установити характер зміни форми їхніх різальних крайок, розподілу контактних тисків на леза під час взаємодії з ґрунтом, що обробляється, та, на підставі одержаних даних, обґрунтувати такі способи підвищення зносостійкості ґрунторізальних деталей робочих органів, які забезпечували б самозагострювання лез у ширших діапазонах умов експлуатації ґрунтообробних машин і знарядь, ніж відомі способи [18].

2.2. Методика визначення зносостійкості деталей ґрунтообробних робочих органів

Для визначення зносостійкості матеріалів ґрунтообробних робочих органів достатніми є лабораторні випробування з моделюванням умов, близьких до ґрунтових умов зношування [3].

Відсутність уніфікованого методу лабораторних випробувань і відповідного випробувального обладнання зажадало розробити установку для дослідження зношування деталей робочих органів під час взаємодії з ґрунтом.

Під час розроблення конструкції лабораторної установки ставилося завдання якнайповніше змоделювати експлуатаційні умови роботи деталей ґрунтообробного органа (швидкість ковзання ґрунту, напрямок вектора навантаження, реологічні властивості абразиву та його гранулометричний склад, зволоженість), а також мати можливість варіювати цими факторами.

Для досліджень зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин у лабораторних умовах розроблено експериментальну установку кругового типу [2], яка є аналогом (за метою використання) відомого лабораторного стенда

проф. Борака К.В. Від відомого стенда розроблена експериментальна установка має відмінності, які дають змогу більш суттєво зблизити умови лабораторних випробувань з умовами реальної експлуатації.

До цих відмінностей належать такі:

- в експериментальній установці кругового типу зразки рухаються в ґрунті, а не ґрунт по відношенню до нерухомих зразків, що більш наближено до реальних умов;

- установка має більш досконалі конструктивні параметри, що дає змогу зменшити негативний вплив «дна» на результати випробувань зразків;

- установка дає змогу проводити випробування з лінійною швидкістю, близькою до швидкості експлуатації реальних робочих органів (2 м/с і більше).

Загальний вигляд лабораторної установки для випробування на зношування деталей робочих органів ґрунтообробних машин представлено на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження зношування деталей робочих органів під час взаємодії з ґрунтом

Загальний вигляд випробувального вузла показано на рис. 2.4, а його схема – на рис. 2.5.



Рис. 2.4. Загальний вигляд випробувального вузла.

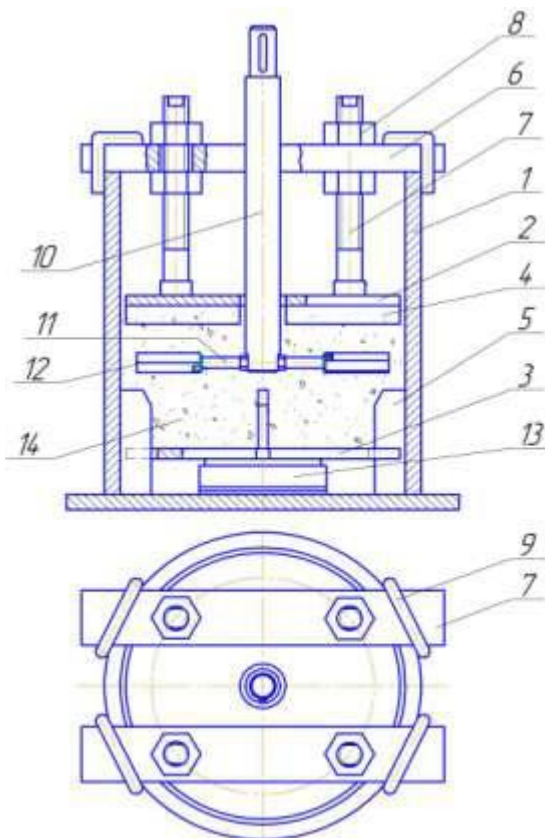


Рис. 2.5. Схема випробувального вузла.

Випробувальний вузол складається з корпусу 1, кришки 2, рухомого днища 3, пластин 4 і 5 на кришці та стінках корпусу, двох напольгливих балок 6, чотирьох навантажувальних гвинтів 7 і гайок 8, обмежувальних скоб 9, приводного вала 10, двох водил 11, до яких кріпляться випробовувані зразки 12,

датчика зусилля 13 [5] Схему з розмірами випробовуваних зразків показано на рис. 2.6.

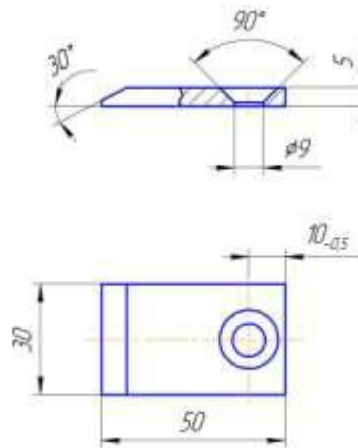


Рис. 2.6. Схема з розмірами експериментальних зразків.

Вузол кріплення зразків показано на рис. 2.7.



а

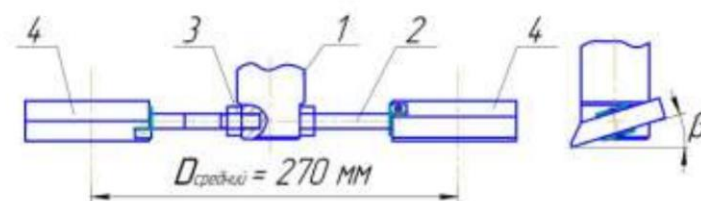


Рис. 2.7. Вузол кріплення зразків: а – загальний вигляд; б – схема з розмірами; 1 – вал; 2 – водило; 3 – гайка стопорна; 4 – випробувані зразки.

Зразок кріпиться до водила через скобу на його кінці за допомогою гвинта з головкою, що тоне. До веденого валу водило кріпиться шляхом утвинчування різьбовою ділянкою в різьбовий отвір на валу. Стопорна гайка в місці кріплення забезпечує фіксацію положення випробуваного зразка під певним кутом β [7].

Для проведення випробувань у корпусі вузла на днище 2 засипається ґрунт певного складу (на рис. 2.5 поз. 14). Потім у ґрунтове середовище, шляхом опускання шпинделя верстата, заглиблюється приводний вал вузла 10 із закріпленими на ньому випробовуваними зразками [2].

На ґрунт у корпусі кладеться кришка 2, яка вгвинчуванням навантажувальних гвинтів 7 ущільнює ґрунт до необхідного ступеня [2].

Ступінь ущільнення ґрунту у випробувальному вузлі можна контролювати датчиком тиску 13, який розміщується під рухомим днищем 14. Як такий датчик тиску підходить модель ДСТ 5.2.

Потужність на шпинделі верстата і, відповідно, на приводному валу випробувального вузла 2,2 кВт. Частота обертання шпинделя 26-120 хв⁻¹.

За такої частоти обертання приводного вала швидкість руху випробовуваних зразків можна ступінчасто змінити від 0,37 м/с до 14 м/с.

Установка для випробування на зношуваність деталей робочих органів у ґрунті працює таким чином. Перед початком випробувань на дно камери поміщають датчик зусилля стиснення. Провідники електричних сигналів, що йдуть від нього, пропускають через отвір у стінці камери і з'єднують із реєструвальним приладом. На контактну поверхню датчика зусилля зверху поміщають диск із радіальними пазами таким чином, що в пази входять пластини, встановлені по периметру камери. Потім простір у камері над диском заповнюють ґрунтом експериментального складу.

Зразки випробовуваних деталей робочих органів закріплюються гвинтами на водилах, які угвинчуються різьбовими кінцями в різьбові отвори на кінці приводного вала. При цьому випробовувані зразки встановлюються під кутом β , передбаченим умовами випробувань, і фіксуються в установленому положенні шляхом затягування стопорних гайок. Після цього приводний вал, зі встановленими на ньому випробовуваними зразками, опускається в камеру на стільки, щоб зразки перебували на середині висоти частини камери, заповненої

грунтом. Потім у камеру слід помістити притискний диск, при цьому крізь отвір, наявний у ньому, має пройти приводний вал, а пластини зануритися в ґрунт.

Потім навантажувальні стрижні прикріплюються шарнірними пальцями до втулок притискного диска. Далі на різбову ділянку кожного стрижня нагвинчується наполеглива гайка настільки, щоб кінець стрижня був вільний [2].

Над прорізом камери встановлюють бруси, для закріплення від зсуву їх поміщають під скоби, а в наявні в брусах отвори пропускають кінці з нарізкою різблення стрижнів, потім на них нагвинчують фіксувальні гайки [2].

Після складання установки її приводний вал приєднується до приводу, що повідомляє валу обертальний рух і утримує його в певному положенні [2].

Обертанням гайок повідомляється навантажувальним стрижням і, відповідно, притискному диску переміщення вниз, тим самим ущільнюється ґрунт у камері.

Після досягнення ущільнення ґрунту в камері, що відповідає умовам випробувань, затягують гайки (притягують до поверхні брусів), що забезпечує нерухомість навантажувальних стрижнів і притискного диска та стабільне ущільнення ґрунту в камері, що не змінюється в процесі випробувань [5].

Зусилля ущільнення ґрунту кількісно контролюється датчиком зусилля стиснення і реєструється записуючим приладом (на малюнку не показано).

Для проведення випробування на зношування деталей робочих органів, закріплених на водилах установки, запускається привід, який приводить в обертальний рух приводний вал, разом із валом рухаються водила, і відповідно, деталей робочих органів [2].

Характер взаємодії зразка з ґрунтом, у якому вони рухаються під час випробувань, має відповідати експлуатаційним умовам, а саме - випробовувані зразки 6 повинні ковзати своєю поверхнею по ґрунту, що можливе за нерухомості ґрунту в камері. Нерухомість (не обертання) ґрунту в камері щодо

рухомих випробовуваних зразків забезпечують пластини в робочій зоні камери, встановлені по периметру стінки та на притискному диску [2].

Ущільнений ґрунт, у якому рухаються випробовувані зразки матеріалів, чинить на них зношувальний вплив, унаслідок чого зразки зношуються. Зношування проявляється у зміні геометричних розмірів і маси зразків. Для визначення кількісних значень зносу зразки витягуються з установки і піддаються обмірам і зважуванню. Для вилучення зразків установку розбирають у послідовності, зворотній збірці [2].

Зразком для випробувань є прямокутна пластина, заточена під кутом 20° . Для визначення оптимальної форми зміцнювального наплавлення зразок зміцнюється (наплавляється) шаром зносостійкого сплаву необхідної товщини за теоретично обґрунтованими параметрами. Як еталон використовується зразок, виготовлений зі сталі 65Г, термооброблений до твердості 40-42 HRC і наплавлений зносостійким сплавом того самого складу, що й наплавлення експериментальних зразків. Еталонний зразок наплавлений суцільним шаром однакової товщини по всій довжині ріжучої кромки.

Одночасно випробовуються два зразки, один з яких еталон. Зносостійкість зразків-фрагментів наплавлених деталей робочих органів оцінюється за лінійним і масовим зносом. Для наплавлених зразків визначається відносна зносостійкість біметалевих з'єднань із твердими сплавами (зміцнених лез).

Оскільки на процес зношування ґрунтообробних робочих органів впливає велика кількість чинників, для вивчення їхнього впливу необхідне проведення значної кількості дослідів. У наших дослідженнях кількість дослідів скорочено введенням таких обмежень і припущень:

- лабораторні дослідження на зносостійкість проводяться на одній швидкості, за якої експлуатуються більшість видів ґрунтообробних робочих органів ($2,0 \pm 0,2$ м/с);

- за основу взято найпоширенішу модель ґрунту середньосуглинистого механічного складу (33 % глини + 67 % піску) з твердістю 0,9-1,3 МПа на глибині обробітку;

- лабораторні дослідження на зносостійкість проводять за двох кутів подрібнення (різання): перший кут встановлюють за 15° , за цього моделюють умови експлуатації та зношування лез культиваторних лап, ножів культиваторів-плоскорізів та інших подібних знарядь; другий кут встановлюють за 30° , за цього моделюють умови експлуатації та зношування лемешів плугів загального призначення, наральників культиваторів та ін.;

- випробовують зразки, наплавлені як із верхнього, так і з нижнього боку леза.

Оскільки кожен зразок випробовується одночасно з еталоном, повторність дослідів прийнято одноразовою. У разі отримання непорівнянних результатів дослід повторюють.

Для визначення твердості та межі міцності матеріалу деталей робочих органів використовується універсальний твердомір NOVOTEST Т-УД2 (з датчиками Д1 і У1), показаний на рис. 2.8.

Величина зносу визначалася шляхом зважування зразка на лабораторних вагах (рис. 2.8) з точністю 0,01 г до і після випробувань і визначенням зменшення його маси.



Рис. 2.8. Універсальний твердомір NOVOTEST T-УД2

Величину об'ємного зносу V , що визначає зміну геометрії та працездатності деталі, обчислювали як частку від ділення масового зносу на щільність матеріалу.



Рис. 2.9. Лабораторні ваги.

Результати випробувань виражалися показником зносостійкості σ_w (хв/см³), що дорівнює відношенню тривалості випробувань t до величини об'ємного зношення V , і безрозмірним показником відносної зносостійкості ε , що дорівнює відношенню зносостійкості зразка $\sigma_{wобр}$ до зносостійкості еталона σ_{wet} .

2.3. Польові випробовування

Польові дослідження проводилися з метою доповнення результатів лабораторних досліджень даними щодо ефективності пропонованих робочих органів у реальних умовах і режимах роботи (характерних агрофонах і робочих швидкостях руху ґрунтообробних агрегатів).

Дослідження показників ефективності робочих органів у польових умовах містили в собі такі етапи [6]:

- вибір і характеристику ділянки;

- агротехнічну оцінку якості роботи;
- визначення енергетичних показників обробітку ґрунту.

Для проведення досліджень обирали земельні ділянки, розміри та площа яких давали змогу виконати всі намічені за програмою досліджень роботи [6].

Під час характеристики обраної ділянки встановлювали рельєф місцевості, мікрорельєф поверхні поля, тип ґрунту та його характеристику, засміченість ґрунту камінням, глибину попереднього обробітку, глибину розташування ущільненого шару ґрунту згідно з відомими методиками [1, 6].

У день проведення дослідів враховувалися метеорологічні умови (за даними метеостанції), визначалися вологість, твердість і деформаційний показник ґрунту на досліджуваних глибинах.

Для визначення вологості ґрунту експрес-методом використовували ґрунтовий вологомір TR 46908.

Для проведення дослідів використовували польову установку (рис. 2.10), яка має раму 1 з передніми 2 і задніми 3 опорними колесами [3].

На рамі установки за допомогою пластин 4 закріплюють досліджувані зразки робочих органів 5. Між сережкою 6 трактора та причіпним пристроєм установки встановлювали модернізований тяговий гідравлічний динамограф 8 марки ДТ-3 з аналогово-цифровим перетворювачем для реєстрації показань на переносний комп'ютер (ноутбук) 11.

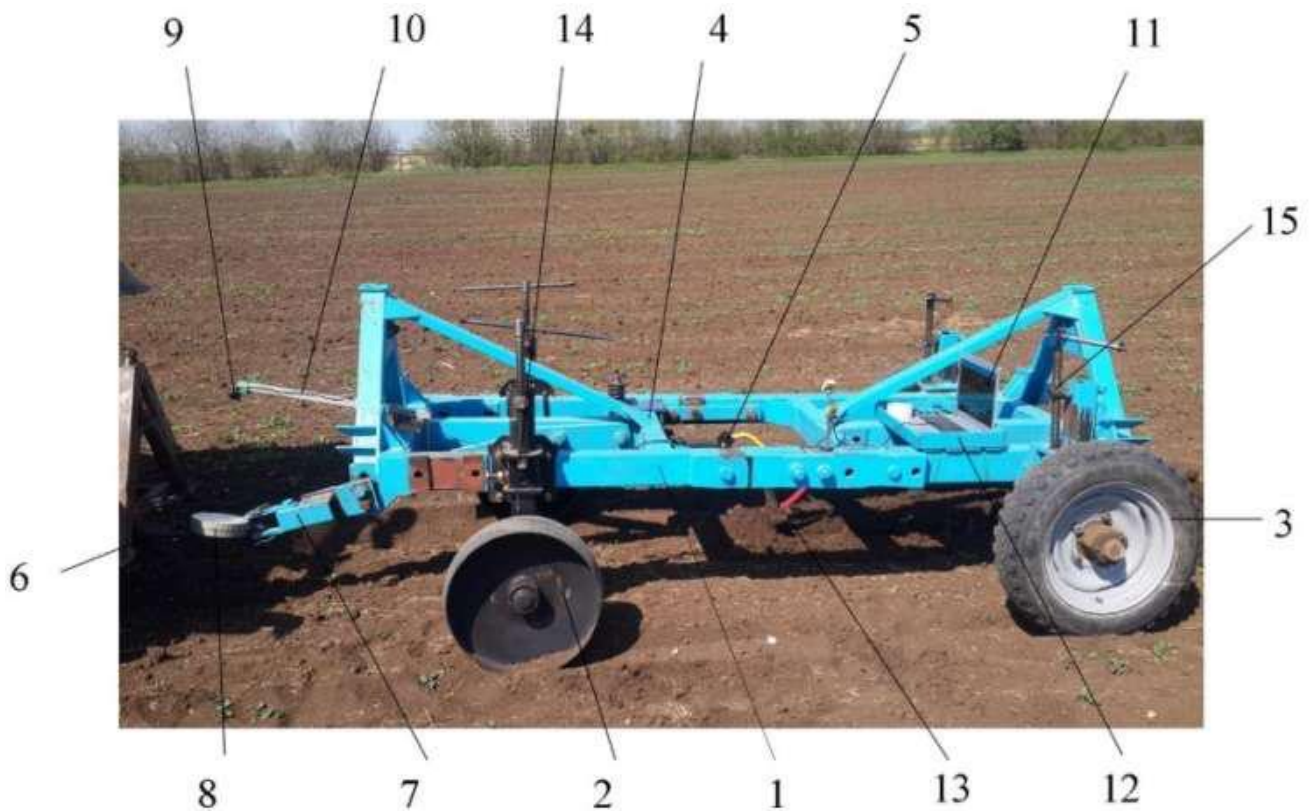


Рис. 2.10. Загальний вигляд польової установки.

Схему реєстрації показань модернізованого тягового гідравлічного динамографа на ноутбук показано на рис. 2.9.

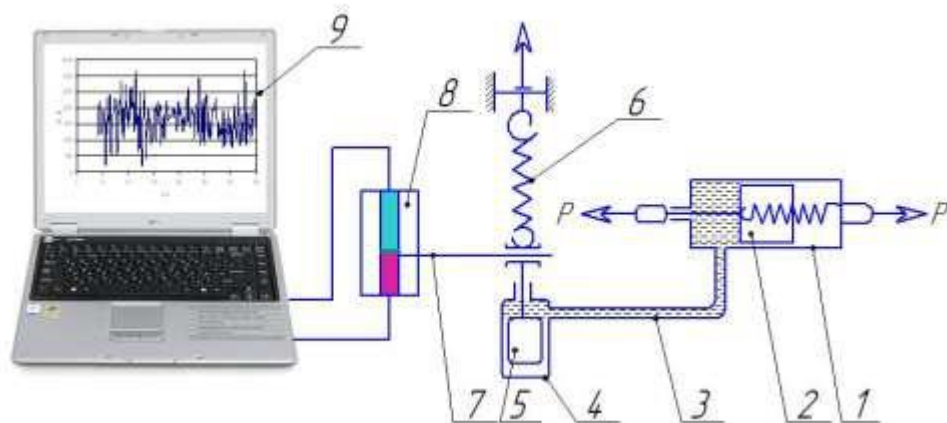


Рис. 2.11. Схема реєстрації показань модернізованого тягового гідравлічного динамографа на ноутбук.

У модернізованому тяговому гідравлічному динамографі поршневого типу (рис. 2.9) вимірювана сила P впливає на поршень 2 у циліндрі 1, стискаючи в'язке мастило, тиск якого передається шлангом 3 до циліндра 4 приладу для реєстрації. Плунжер 5 під дією тиску масла розтягує вимірювальну пружину 6,

деформація якої, пропорційна вимірюваній силі, відхиляє важіль 7. Переміщення важеля 7 за допомогою оптико-електричного датчика аналогово-цифрового перетворювача 8 реєструється на персональний комп'ютер 9 у вигляді таблиць цифрових значень за відліками часу із заданою частотою. Це дає змогу прискорити опрацювання даних за рахунок його автоматизації та підвищити точність вимірювань.

Для верифікації показань модернізованого тягового гідравлічного динамографа проводилося його тарування ступінчастим навантаженням з використанням стандартного повіреного динамометра ДПУ-0,5-2.

2.4. Виробничі випробування машин із біонічно подібними робочими органами

Метою виробничих випробувань було визначення інтенсивності зношування, зносостійкості та ресурсу деталей ґрунтообробних робочих органів, а також показників їхньої ефективності [6].

Порівнянність результатів виробничих випробувань, проведених у різний час у різних ґрунтово-кліматичних умовах, забезпечувалася одночасним випробуванням серійних і дослідних зразків робочих органів.

Виробничі випробування робочих органів проводили на полях ТОВ «Полісся» Коростенського району, Житомирської області (рис. 2.12). Оранку проводили на глибину 0,35 м [3].

*а**б*

Рис. 2.12. Вигляд плугів, що використовували під час проведення досліджень: *а* – плуг «Diamant 11» фірми «Lemken» *б* – плуг «Kverneland»

Для визначення впливу виду наплавочного матеріалу і форми наплавлення лемішів на їхню зносостійкість виконано наплавлення за біонічно обґрунтованими параметрами порошковим дротом ПП-ЗСМ-022/1-Т(Н)-С-2,0 (рис. 2.13). Як контрольний варіант використовувалися заводські лемішів з нанесеним на поверхню леза шаром твердого сплаву «сормайт» (рис. 2.14).

Кожне знаряддя, що брало участь у випробуваннях, оснащували повним комплектом робочих органів таким чином, щоб серійні та дослідні зразки працювали в однакових умовах. Серійні та дослідні зразки нумерували та маркували.

Перед початком випробувань визначали розмірні параметри, твердість матеріалів і геометрію заточування лез деталей робочих органів для подальшого визначення величин їхнього зносу.

Розмірні параметри деталей робочих органів визначали за параметрами, зазначеними у відповідній технічній документації.

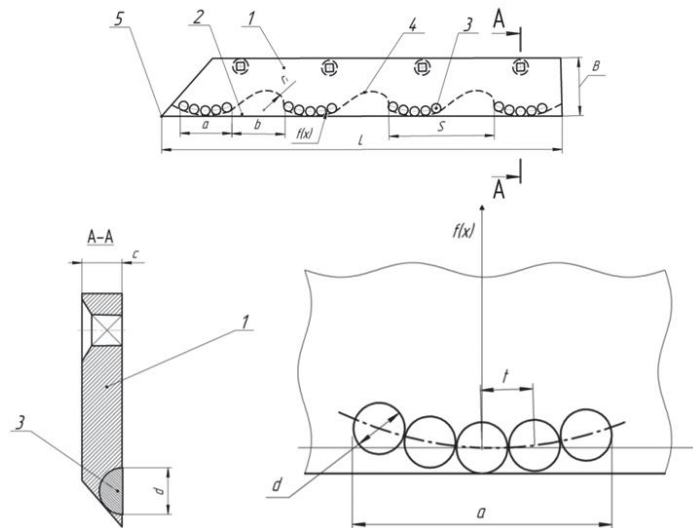


Рис. 2.13. Схема переривчастого наплавлення: 1 – леміш, 2 – початкове лезо ножа, 3 – півсфери зносостійкого твердого сплаву, 4 – лінія леза ножа, утворена в результаті його зношування в процесі експлуатації, 5 – носок ножа, a – ширина зон наплавлення, b – відстань між сусідніми зонами наплавлення, c – товщина основи ножа, d – діаметр півсфер твердого сплаву, що наплавляється, t – крок розташування півсфер зносостійкого твердого сплаву в групі, B – ширина ґрунторізального ножа, L – довжина первісного леза ножа, S – крок суміщення паралельним перенесенням сусідніх груп півсфер наплавлюваного твердого сплаву, $f(x)$ – дуга логарифмічної кривої, уздовж якої розміщують центри півсфер наплавлюваного твердого сплаву, r_i – радіус-вектор логарифмічної спіралі, яка описує форму ділянки лінії леза ножа між сусідніми зонами наплавлення, утвореної в результаті його зношування в процесі експлуатації.



Рис. 2.14. Серійний леміш

Висновки по розділу

1. Розроблені програма та методика експериментальних досліджень дають змогу перевірити гіпотезу про те, що зміцнення ґрунторізальних деталей за біонічно обґрунтованими параметрами у процесі експлуатації, самозагостренню їхніх лез із утворенням зубчастої та хвилястої форм ріжучої крайки, які знижують опір різанню та інтенсивність спрацьовування, внаслідок чого збільшуються довговічність робочих, а також дати комплексну оцінку впливу параметрів зміцнення ґрунтів на їхню довговічність.

2. Для проведення експериментальних досліджень розроблено та виготовлено лабораторні установки для досліджень спрацьовування деталей робочих органів під час взаємодії з ґрунтом та оброблення глибоким холодом на показники працездатності деталей зі зміцнювальним наплавленням ґрунтообробних машин, а також польова установка для дослідження впливу конструкційних параметрів і режимів роботи ґрунтообробних робочих органів на якісні й енергетичні показники обробітку ґрунту.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати визначення зносостійкості деталей ґрунтообробних робочих органів

На рис. 3.1 представлені зразки деталей ґрунтообробних машин, зміцнених різними способами, після випробування їх на зносостійкість.

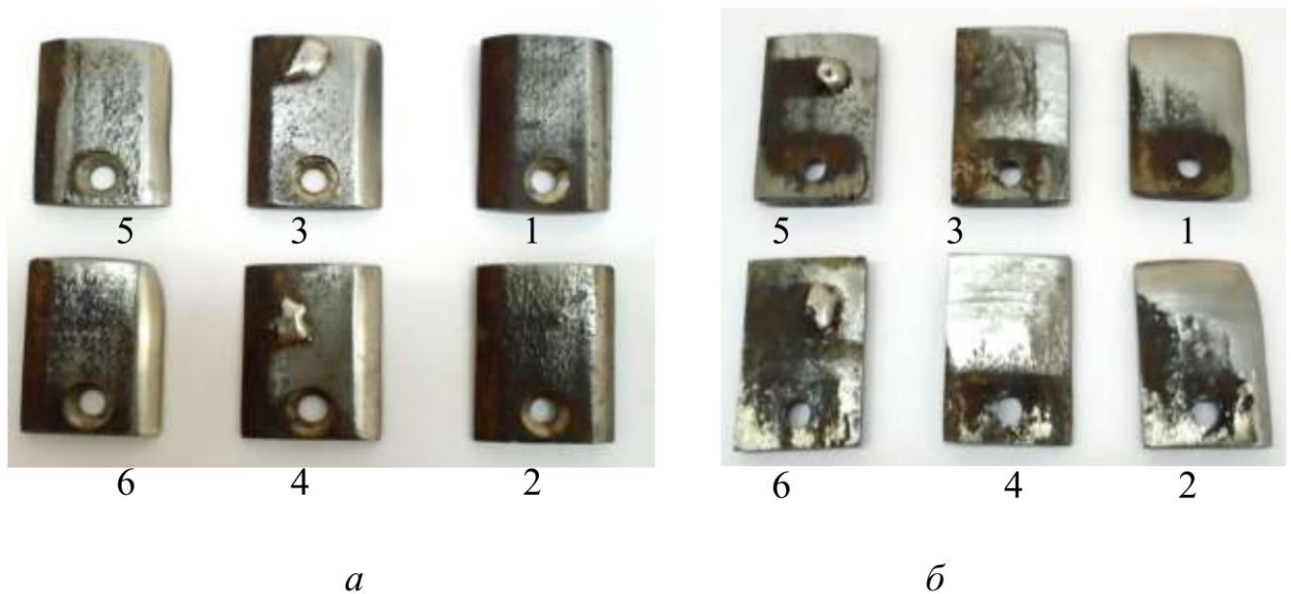


Рис. 3.1. Характер зносу зразків деталей ґрунтообробних машин: а – зверху, б – знизу.

У табл. 3.1 наведено середні значення виміряних показників твердості та межі міцності зразків деталей ґрунтообробних машин.

Результати порівняльних досліджень зносостійкості зразків деталей ґрунтообробних машин наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості зміцнених зразків деталей ґрунтообробних машин

Матеріал деталі	Твердість, HRC		Міцність в, МПа	
	до криогенної термообробки	після криогенної термообробки	до криогенної термообробки	після криогенної термообробки
Сталь 40Х (основа деталі)	35,9	38,1	1063,9	1131,5
Твердосплавне наплавлення	51,7	53,2	—	—

Таблиця 3.2 – Результати порівняльних досліджень зносостійкості зразків деталей ґрунтообробних машин

№ зразка	Знос по масі, г	Знос по ширині, мм	
		в зоні без наплавлення	в зоні з наплавленням
1	0,65	0,21	—
2	1,66	0,49	—
3	6,17	0,69	1,59
4	3,86	0,43	0,73
5	1,03	0,07	0,13
6	1,48	0,13	0,21

Аналіз результатів показує, що після обробки глибоким холодом твердість основного матеріалу (сталь 40Х) підвищилася в середньому з 35,8 до 38,0 одиниць HRC, а наплавленого шару - з 51,6 до 53,0 HRC. При цьому межа міцності основного матеріалу збільшилася з 1063,8 до 1121,4 МПа.

Унаслідок значного термічного впливу на матеріал зразків відбулося зниження його зносостійкості, унаслідок чого зразки з наплавленням № 3 і № 4 більше зносилися, як порівняти зі зразками без наплавлення.

Інтенсивність зношування за масою та зношування за товщиною зразків деталей ґрунтообробних машин унаслідок їхньої обробки глибоким холодом зменшилися відповідно в 1,4-2,5 і 1,6-2,4 рази.

Отримані результати пояснюються тим, що під час виконання переривчастого наплавлення зносостійким матеріалом робочих поверхонь деталей відбувається значне нерівномірне локальне нагрівання деталі в зонах впливу на неї електричної дуги, внаслідок якого в матеріалі виникають значні внутрішні механічні напруження. Обробка глибоким холодом забезпечує більш повне перетворення залишкового аустеніту на мартенсит у матеріалі деталей і в наплавленому шарі, внаслідок чого істотно підвищується твердість їхнього матеріалу з одночасним підвищенням міцності основного матеріалу [1].

На рис. 3.2, 3.3 представлено зразки елементів ґрунтообробних робочих органів, зміцнених різними способами та підданих кріогенній термообробці, після випробування їх на зносостійкість на розробленій лабораторній установці (див. рис. 3.1).

Результати порівняльних досліджень зносостійкості зразків матеріалів ґрунтообробних робочих органів наведено в таблиці 3.3



а



б

Рис. 3.2. Характер зносу зразків без кріообробки: а – сталь 40Х без наплавлення, б – сталь 40Х з наплавленням ріжучої кромки леза.



а



б

Рис. 3.3. Характер зношування зразків із кріообробкою: а – сталь 40Х без наплавлення, б – сталь 40Х з наплавленням ріжучої кромки леза

Таблиця 3.3 – Результати порівняльних досліджень зносостійкості зразків матеріалів ґрунтообробних робочих органів

Матеріал	Знос по масі, г	Лінійний знос по перерізу, мм					Лінійний знос по довжині, мм
		0	1	2	3	4	
Сталь 40Х без криогенної термообробки	11,57	4,7	2,2	0,4	0,11	0	2,8
Сталь 40Х після криогенної термообробки	7,68	2,5	0,5	0,6	0,11	0	1,9
Сталь 40Х з наплавлення твердим сплавом Т-590 без криогенної термообробки	5,52	0,3	0,2	0	0,11	0,4	0,4
Сталь 40Х з наплавленням твердим сплавом Т-590 після криогенної термообробки	3,52	0,2	0	0	0	0,11	0,11

Аналіз результатів (таблиця 3.3) показує, що кріогенне термооброблення зменшує інтенсивність зношування за масою зразків зі сталі 40Х у 1,5 раза, а їхнє лінійне спрацьовування відповідно в 1,6 раза. Водночас інтенсивність

зношування за масою та лінійне зношування за довжиною зразків зі сталі 40Х з наплавленням твердим сплавом Т-590 після кріообробки зменшилися відповідно в 1,6 і 3 рази [5].

3.2 Результати випробувань лемішів зі зносостійким наплавленням за біонічно обґрунтованими параметрами

Нижче наведено результати вимірювань твердості робочих поверхонь лемішів, установлених на плуги (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Твердість робочих поверхонь лемішів

Матеріал	Твердість, HRC
Основний матеріал леміша	16,26±3,19
Шар сормайт серійних лемішів	56,51±1,07
Елементи наплавлення порошковим матеріалом	46,26±2,89

У результаті обробітку посівних площ отримано такі результати зношування лемішів за масою (таблиці 3.5).

Таблиця 3.5 – Знос лемішів за масою

Вид наплавлення	Напрацювання на один леміш, га	Знос по масі, г
Суцільним сплавом «сормайт»	10	158
«Точкове» порошковим дротом	10	47
«Ступенева» порошковим дротом	10	107

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший знос отримано у контрольно го леміша з наплавленням сормайт (158 г), а найменший знос – у леміша з точковим наплавленням порошковим матеріалом (47 г).

У процесі експлуатації леза серійних лемішів із суцільним наплавленням лез твердим сплавом «сормайт» затупилися через відсутність ефекту «самозаточування». Товщина лез лемішів із переривчастим зносостійким наплавленням не перевищує 1,8 мм [4].

Висновки по розділу

У процесі експлуатації леза лемішів із переривчастим зносостійким наплавленням за біонічно обґрунтованими параметрами набувають зубчастої або хвилястої форми, лінійне зношування їхніх лез знижується на 32 %, а зношування за масою зменшується на 23 %. Новий спосіб переривчастого наплавлення лез робочих органів зносостійким електродним матеріалом за біонічно обґрунтованими параметрами забезпечує зниження в процесі експлуатації енерговитрат під час обробітку ґрунту до 70 % порівняно із суцільним наплавленням сормайт за рахунок ефекту самозаточування й утворення зубчастої форми лез. Це є додатковою перевагою, поряд зі збільшенням ресурсу, запропонованого способу наплавлення ріжучих частин ґрунтообробних робочих органів.

Інтенсивність вагового зношування лемішів із переривчастим зносостійким наплавленням менша в 1,2 рази, а лінійного зношування – в 2 рази, якщо порівнювати з інтенсивністю зношування лемішів із наплавленням сплавом «сормайт» за інших рівних умов.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виявлено протиріччя між наявними підходами до розв'язання проблеми підвищення надійності та ефективності ґрунтообробної техніки, яке полягає в тому, що застосовані методи підвищення надійності конструкцій ґрунтообробних машин часто призводять до зниження їхньої ефективності, а методи підвищення ефективності машин, у багатьох випадках, негативно впливають на показники їхньої надійності. Тому виникає потреба у створенні нової концепції спільного підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь, реалізувати яку пропонується на основі біосистемного підходу.

Для підвищення надійності та ефективності ґрунтообробних машин і знарядь пропонуються нові способи переривчастого наплавлення зносостійкими матеріалами за біонічно обґрунтованими параметрами ґрунторізальних деталей, що дають змогу одержувати в процесі їхньої експлуатації зубчасті або хвилясті форми ріжучих крайок лез, що сприяє зниженню опору ґрунту різанню, зменшенню його тиску на робочі поверхні ґрунторізальних деталей, унаслідок чого знижується інтенсивність їхнього зношування та збільшується довговічність робочих органів.

Виробничі випробування в сільськогосподарських підприємствах підтвердили теоретично обґрунтоване формування в процесі експлуатації зубчастих або хвилястих форм ґрунторіжучих лез зі зносостійким наплавленням за біонічно обґрунтованими параметрами, що призводить до зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь удвічі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2017. 278 с.
2. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.04 / Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 447 с.
3. Yang C. J., Huang X. P., Wu J. F., Wan F. X. Friction and Wear Behavior of 45# Steel with Different Plant Abrasive. *Advanced Materials Research*. 2013. p. 74-77.
4. 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.
5. Tylczak J. H. Abrasive wear. *ASM Handbook*. Materials Park, OH, ASM International. 1992. №18. P. 184–190.
6. 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.
7. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. №1. С. 30–36.
8. Wang Q., Li X. Effects of Nb, V, and W on Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys. *Welding Journal*. 2010. Vol. 89. P. 133-139.

9. Zhang J., Gao Y., Xing J., Ma S., Yi D, Yan J. Effects of chromium addition on microstructure and abrasion resistance of Fe–B cast alloy. *Tribology Letters*. 2011. P. 31-39.
10. Ma S., Zhang J. Wear resistant high boron cast alloy. A review. *Reviews on advanced materials science*. 2016. Vol. 44 №1. p. 54-62.
11. Kulka M., Mikolajczak D., Makuch N., Dziarski P., Miklaszewski A. Wear resistance improvement of austenitic 316L steel by laser alloying with boron. *Surface and Coatings Technology*. 2016. Vol. 291. P. 292-313.
12. 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.
13. 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.
14. Wu D., Zhang H., Liu S., Li Y., Li Z., Zou Y. Effect of Microstructure on Wear Resistance of Low-Alloy High-Strength Wear-Resistant Steel. *International journal of electrochemical science*. 2019. №14. p. 7570-7581. doi: 10.20964/2019.08.20
15. Bidulsky, R.; Grande, M. A.; Zago, A., Brytan, Z., Bidulska, J. Wear resistance of various type sintered steels. *Archives of metallurgy and materials*. 2010. Tom 55 (3). P. 623-629.
16. 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.
17. Савченко В. М., Денесюк В. В., Тертерян Р. С. Аналіз застосування конструктивних способів підвищення надійності ґрунтообробних машин і знарядь. *Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року)*. МОН України,

Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 51-55.

18. Денесюк В., Тертерян Р. Системний підхід до підвищення надійності ґрунтообробних машин і знарядь. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 24 - 25 жовтня 2024 р., Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2024. С. 157-159.

19. Денесюк В.В. Характер навантажень, що діють на основні вузли та робочі органи ґрунтообробних машин і знарядь. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 11-13.