

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет конструювання та дизайну

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**В.о. завідувача кафедри
технічного сервісу та інженерного
менеджменту імені
М. П. Момотенка**

_____ **Руслан ШАТРОВ**

«_____» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Розробка конструкції лапи культиватора ґрунтообробного агрегату»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Гарант освітньої програми

_____ **Д.Т.Н., професор**
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

_____ **Володимир БУЛГАКОВ**
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ **К.Т.Н., доц.**

_____ **Соломка Олексій Валерійович**

Виконав

_____ **Бугай Максим Юрійович**

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного менеджменту

імені М. П. Момотенка

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ПІБ)

«___» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Бугаю Максиму Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Розробка конструкції лапи
культиватора ґрунтообробного агрегату»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «15» квітня 2026 р. № 1044 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 20 травня 2026 року

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Матеріали первинного
бухгалтерського обліку, нормативно-методичні матеріали, науково-технічна
література

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій лап культиваторів та умов їх роботи.
2. Дослідити фактори, що впливають на якість обробітку ґрунту та зношування
робочих органів.
3. Розробити удосконалену конструкцію лапи культиватора.
4. Виконати розрахунок основних конструктивних параметрів робочого органу.
5. Провести перевірочні розрахунки на міцність та працездатність конструкції.

Перелік графічних документів: **Електронна презентація на 14 слайдів**

Дата видачі завдання «06» січня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Соломка Олексій Валерійович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Бугай Максим Юрійович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається з 72 аркушів пояснювальної записки, одного додатку і 14 листів презентацій. Пояснювальна записка містить 12 рисунків, 17 таблиць.

У зв'язку з тим істотних змін зазнають традиційній технології мілкового обробітку ґрунту та розвиваються енергоощадні технології, застосування яких дає змогу зменшити витрати палива в 1,4 - 4,4 рази, а енерговитрат в 1,6 - 4,7 рази. Робочі органи для мілкового обробітку ґрунту ще недостатньо досліджені та мають ряд недоліків. Основним з них є недостатня якість роботи, що потребує додаткових затрат на доведення ґрунтового середовища у відповідність з вимогами агротехніки. У відомих розробках технічних засобів значну увагу приділено зменшенню питомого тягового опору знаряддя. Проте залишається невирішеною проблема визначення мінімально необхідної величини затрат енергії для руйнування зв'язків між елементами скиби, переміщення елемента скиби ґрунту робочим органом і ін.

Метою роботи є підвищення якості та зниження собівартості виконання операцій по основному обробітку ґрунту.

В роботі проаналізовано технології та технічні засоби вітчизняного і зарубіжного виробництва для мілкового обробітку ґрунту проведено розрахунок основних параметрів робочих органів стрілкового культиватора, висвітлено основні вимоги з охорони праці та проведений розрахунок економічної ефективності застосування удосконаленого культиватора.

Ключові слова: АГРЕГАТ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ, МІЛКИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОЦЕСИ, РОБОЧИЙ ОРГАН ҐРУНТООБРОБНОЇ МАШИНИ, СТІЛЧАСТА ЛАПА, ПІДПРУЖИНЕНА СТОВБА, ЕНЕГЕТИЧНА ОЦІНКА.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ДОБРИВ І ХІМЗАХИСТУ РОСЛИН	8
1.1. Розробка комбінованих робочих органів для ґрунтообробки внесення рідких добрив і інших засобів хімзахисту рослин	8
1.2. Суцільнозварний стрілочастий робочий орган для внутрішнього ґрунтового внесення гербіцидів.....	12
1.3. Робочий орган із криволінійними лемешами і розбірною стійкою.....	16
1.4. Ергономічний робочий орган.....	25
1.5. Робочий орган для усередині ґрунту і внесення гербіцидів на грудкуватих ґрунтах.....	27
1.6. Робочий орган для внутрішнього ґрунтового внесення гербіцидів із застосуванням технології розмазання.....	28
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТРІЧКОВОГО ВНУТРІШНЬО ҐРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ ГЕРБІЦИДІВ	33
2.1. Обґрунтування і аналіз можливих варіантів реалізації технології стрічкового внутрішнього ґрунтового внесення гербіцидів..	33
2.2. Обґрунтування і аналіз перспективних гідравлічних схем машин для стрічкового внутрішнього ґрунтового внесення гербіцидів.....	34
2.2.1. Розробка математичної моделі процесу пневмосепарації в похилому повітряному каналі	35
2.2.2. Аналіз умов введення матеріалу до похилого ПСК.....	40
2.2.3. Обґрунтування глибини похилого ПСК	42
2.3. Аналіз руху зернового матеріалу під час його розділення багатоструменевим ділильником.....	43
2.4. Обґрунтування аеродинамічних параметрів замкненої пневмосистеми ЗОМ	45
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА РОБОТИ.....	50
3.1. Програма роботи	50
3.2. Опис пристрою для визначення мінімальної енергії руйнування зв'язків між елементами скиби.....	50
3.3. Опис пристрою для визначення величини переміщення елемента скиби культиваторним робочим органом для мілкового обробітку ґрунту.....	51
3.4. Методика визначення енергетичних затрат і показників якості обробітку ґрунту експериментальним робочим органом.....	52
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ	55
4.1. Мінімальної потенціальної енергії руйнування ґрунту.....	55
4.2. Величина переміщення елемента скиби експериментальним робочим органом для мілкового обробітку ґрунту.....	56
4.3. Енергетична оцінка та показники якості роботи експериментального робочого органу для мілкового обробітку ґрунту.....	59

РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	65
5.1. Методика та результати розрахунку економічної ефективності застосування агрегату з новим робочим органом	65
5.2. Застосування культиватора для мілкового обробітку ґрунту	65
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво потребує впровадження високопродуктивних та енергоефективних машин для обробітку ґрунту, які забезпечують створення оптимальних умов для росту і розвитку сільськогосподарських культур. Одним із найважливіших етапів технології вирощування культур є передпосівний та основний обробіток ґрунту, які суттєво впливають на врожайність, водно-повітряний режим, накопичення та збереження вологи, а також боротьбу з бур'янами.

Серед великої кількості ґрунтообробних машин особливе місце займають культиватори, які широко використовуються для розпушування ґрунту, підрізання бур'янів, вирівнювання поверхні поля та підготовки посівного ложа. Основним робочим органом культиватора є лапа, від конструктивних параметрів якої значною мірою залежать якість виконання технологічного процесу, тяговий опір агрегату, інтенсивність кришення ґрунту та довговічність самої машини.

У процесі роботи лапа культиватора зазнає значних механічних навантажень, впливу абразивного зношування та динамічних навантажень, що призводить до поступової втрати її працездатності. Зношування лез робочих органів спричиняє збільшення тягового опору агрегату, погіршення якості обробітку ґрунту та зростання експлуатаційних витрат. Тому вдосконалення конструкції лап культиваторів є актуальним науково-технічним завданням, спрямованим на підвищення ефективності роботи ґрунтообробних агрегатів.

Аналіз сучасних конструкцій культиваторів показує, що підвищення ефективності роботи робочих органів досягається шляхом оптимізації їх геометричних параметрів, удосконалення форми різальних елементів, застосування зносостійких матеріалів та проведення міцнісних розрахунків найбільш навантажених елементів конструкції. Значна увага приділяється дослідженню напружено-деформованого стану лап культиваторів, визначенню раціональних кутів установлення та розробці конструкцій, які забезпечують зниження енергетичних витрат під час обробітку ґрунту.

У зв'язку з цим тема бакалаврської роботи «Розробка конструкції лапи

культиватора ґрунтообробного агрегату» є актуальною та має практичне значення для аграрного виробництва. Розроблення вдосконаленої конструкції лапи дозволить підвищити якість обробітку ґрунту, зменшити енерговитрати на виконання технологічних операцій та збільшити ресурс роботи культиватора.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії лапи культиватора з ґрунтом під час виконання технологічного процесу обробітку.

Предмет дослідження – конструктивні та геометричні параметри лапи культиватора, що впливають на якість обробітку ґрунту, тяговий опір та довговічність робочого органу.

Мета роботи – розробка та обґрунтування конструкції лапи культиватора ґрунтообробного агрегату, яка забезпечує підвищення ефективності обробітку ґрунту, зменшення енерговитрат і підвищення експлуатаційної надійності робочого органу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій лап культиваторів та умов їх роботи.
2. Дослідити фактори, що впливають на якість обробітку ґрунту та зношування робочих органів.
3. Розробити удосконалену конструкцію лапи культиватора.
4. Виконати розрахунок основних конструктивних параметрів робочого органу.
5. Провести перевіірочні розрахунки на міцність та працездатність конструкції.
6. Оцінити економічну ефективність запропонованого технічного рішення.
7. Розробити заходи з охорони праці та безпеки під час експлуатації ґрунтообробного агрегату.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої конструкції лапи культиватора на серійних ґрунтообробних агрегатах для підвищення якості обробітку ґрунту, зменшення витрат палива та збільшення ресурсу роботи робочих органів.

РОЗДІЛ 1 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ДОБРИВ І ХІМЗАХИСТУ РОСЛИН

1.1 Розробка комбінованих робочих органів для ґрунтообробки і внесення рідких добрив та інших засобів хімічного захисту рослин

Сучасне сільськогосподарське виробництво потребує застосування високопродуктивних технологій, які забезпечують одночасне виконання кількох технологічних операцій за один прохід агрегату. Одним із перспективних напрямків розвитку ґрунтообробної техніки є створення комбінованих робочих органів, здатних одночасно здійснювати механічний обробіток ґрунту та локальне внесення рідких добрив, гербіцидів, фунгіцидів і біологічних препаратів.

Традиційні технології передбачають окреме виконання операцій обробітку ґрунту та внесення засобів живлення і захисту рослин. Це призводить до збільшення кількості проходів техніки по полю, підвищення витрат пального, ущільнення ґрунту та зростання виробничих витрат. Застосування комбінованих робочих органів дозволяє значно підвищити ефективність використання машинно-тракторних агрегатів і скоротити енергетичні витрати.

Комбінований робочий орган являє собою конструкцію, що поєднує ґрунтообробну лапу та систему подачі рідких препаратів. Під час руху агрегату лапа розпушує ґрунт на задану глибину, а через спеціальні канали або трубопроводи в зону обробітку подаються рідкі добрива чи засоби захисту рослин. Така технологія забезпечує локальне внесення препаратів безпосередньо в кореневу зону рослин або в оброблений шар ґрунту, що підвищує коефіцієнт використання поживних речовин і зменшує їх втрати.

Найбільш поширеними конструкціями комбінованих робочих органів є:

- стрілочасті лапи з трубчастими розподільниками добрив;
- чизельні робочі органи з внутрішніми каналами для подачі рідин;
- дисково-лапові системи з локальним внесенням препаратів;
- щілинорізи з інжекторними пристроями для внутрішньоґрунтового

внесення рідких добрив;

- комбіновані культиваторні лапи з форсунками для подачі рідких препаратів у зону розпушування.

Основними перевагами комбінованих робочих органів є:

- скорочення кількості технологічних операцій;
- зменшення ущільнення ґрунту;
- підвищення продуктивності агрегату;
- економія паливно-мастильних матеріалів;
- рівномірний розподіл добрив у ґрунті;
- зменшення втрат діючих речовин через випаровування та змивання;
- покращення екологічних показників технологічного процесу.

Разом з тим конструкція комбінованих робочих органів повинна забезпечувати високу міцність, стійкість до абразивного зношування та надійний захист системи подачі рідких препаратів від механічних пошкоджень і засмічення. Особливу увагу необхідно приділяти розташуванню каналів подачі робочої рідини, вибору матеріалів та забезпеченню рівномірності внесення препаратів по всій ширині захвату робочого органу.

Перспективним напрямком удосконалення є розробка стрілчастої лапи культиватора із вбудованою системою локального внесення рідких добрив. Така конструкція дозволяє одночасно здійснювати підрізання бур'янів, розпушування ґрунту та внесення рідких мінеральних добрив або засобів захисту рослин на задану глибину. Завдяки цьому досягається підвищення агротехнічної ефективності обробітку та зниження експлуатаційних витрат.

Отже, розробка комбінованих робочих органів для ґрунтообробки та внесення рідких добрив і засобів хімічного захисту рослин є актуальним напрямком розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування, що сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів та забезпечує реалізацію принципів точного землеробства.

внесення рідких добрив і засобів захисту рослин у ґрунт необхідно забезпечити мінімальне порушення поверхневого шару ґрунту. Досвід використання традиційних борознорізів і щілинорізів показує, що утворення відкритих борозен після проходження робочих органів сприяє інтенсивнішому випаровуванню вологи, особливо в посушливих умовах вирощування сільськогосподарських культур.

Застосування шлейфів та загортачів дозволяє частково закривати утворені борозни розпушеним ґрунтом. Проте повне закриття борозни на всю її глибину досягається не завжди, що може призводити до додаткових втрат ґрунтової вологи та погіршення умов проростання насіння. Крім того, наявність борозен ускладнює виконання наступних технологічних операцій та підвищує вимоги до точності водіння машинно-тракторних агрегатів.

Одним із напрямків удосконалення технології є використання комбінованих культиваторних лап, які забезпечують одночасне розпушування ґрунту та локальне внесення рідких добрив або засобів хімічного захисту рослин без утворення значних борозен. Такий підхід дозволяє зберегти природну структуру верхнього шару ґрунту, зменшити випаровування вологи та забезпечити більш рівномірний розподіл робочого розчину в зоні розташування кореневої системи рослин.

Зменшення ширини оброблюваної смуги та локальне внесення препаратів дають можливість суттєво скоротити витрати агрохімікатів порівняно із суцільним способом обробки. При цьому забезпечується необхідна ефективність захисту рослин і живлення культур за рахунок концентрації препаратів безпосередньо в зоні їх використання. Додатковою перевагою є зниження хімічного навантаження на навколишнє середовище та підвищення економічної ефективності технологічного процесу.

З метою усунення недоліків традиційних робочих органів у даній роботі запропоновано конструкцію стрілчастої лапи культиватора із системою локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин. Конструкція передбачає подачу робочої рідини через внутрішні канали безпосередньо в розпушений шар ґрунту з одночасним закриттям місця внесення частинками ґрунту, що утворюються робочими крилами лапи. Це забезпечує мінімальне перемішування ґрунту,

збереження вологості та підвищення ефективності використання внесених препаратів.

Таким чином, застосування удосконаленої культиваторної лапи дозволяє поєднати операції обробки ґрунту, локального внесення рідких добрив і засобів захисту рослин, скоротити кількість проходів агрегату по полю, зменшити енергетичні витрати та підвищити ефективність використання земельних ресурсів.

1.2. Суцільнозварний стрілочастий робочий орган для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів.

Одним із перспективних напрямків удосконалення технологій локального внесення засобів захисту рослин є застосування суцільнозварних стрілочастих робочих органів, які забезпечують одночасне розпушування ґрунту та внутрішньогрунтове внесення гербіцидів. Такі конструкції дозволяють поєднати декілька технологічних операцій за один прохід агрегату, що сприяє зниженню енерговитрат та підвищенню продуктивності польових робіт.

Суцільнозварний стрілочастий робочий орган являє собою жорстку металеву конструкцію, яка складається зі стійки, носка, крил лапи та системи подачі робочої рідини. Канал для подачі гербіциду може бути розташований усередині стійки або приварений до її задньої поверхні у вигляді металевої трубки. Робочий розчин через дозувальну систему надходить до розподільника, розташованого в нижній частині лапи, та вноситься безпосередньо в розпушений шар ґрунту.

Під час руху агрегату стрілочаста лапа підрізає бур'яни, розпушує ґрунт і формує потік частинок, який частково закриває місце внесення гербіциду. Завдяки цьому діюча речовина потрапляє в прикореневу зону бур'янів і захищена від впливу сонячного випромінювання, випаровування та змивання атмосферними опадами.

Основною перевагою суцільнозварної конструкції є висока жорсткість та надійність роботи. Відсутність рознімних з'єднань у зоні найбільших навантажень зменшує ризик виникнення люфтів, деформацій та руйнування елементів під час роботи в ущільнених або засмічених ґрунтах. Крім того, спрощується технологія виготовлення робочого органу та зменшуються витрати на його обслуговування.

До переваг суцільнозварного стрілочастого робочого органу належать:

- одночасне виконання операцій обробки ґрунту та внесення гербіцидів;

- зменшення кількості проходів агрегату по полю;
- скорочення витрат палива та трудових ресурсів;
- підвищення ефективності використання гербіцидів;
- зменшення втрат препарату від випаровування;
- покращення екологічних показників технології;
- висока міцність і довговічність конструкції.

Для забезпечення рівномірності внесення робочого розчину особливу увагу приділяють формі розподільного наконечника та місцю його встановлення. Найбільш ефективним є розміщення випускних отворів у задній частині носка лапи або вздовж крил стрілки, що дозволяє рівномірно розподіляти гербіцид по всій ширині оброблюваної смуги.

Таким чином, застосування суцільнозварного стрілкового робочого органу для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів забезпечує підвищення ефективності захисту рослин, покращення агротехнічних показників обробітку ґрунту та створює передумови для впровадження ресурсозберігаючих технологій у сучасному землеробстві.

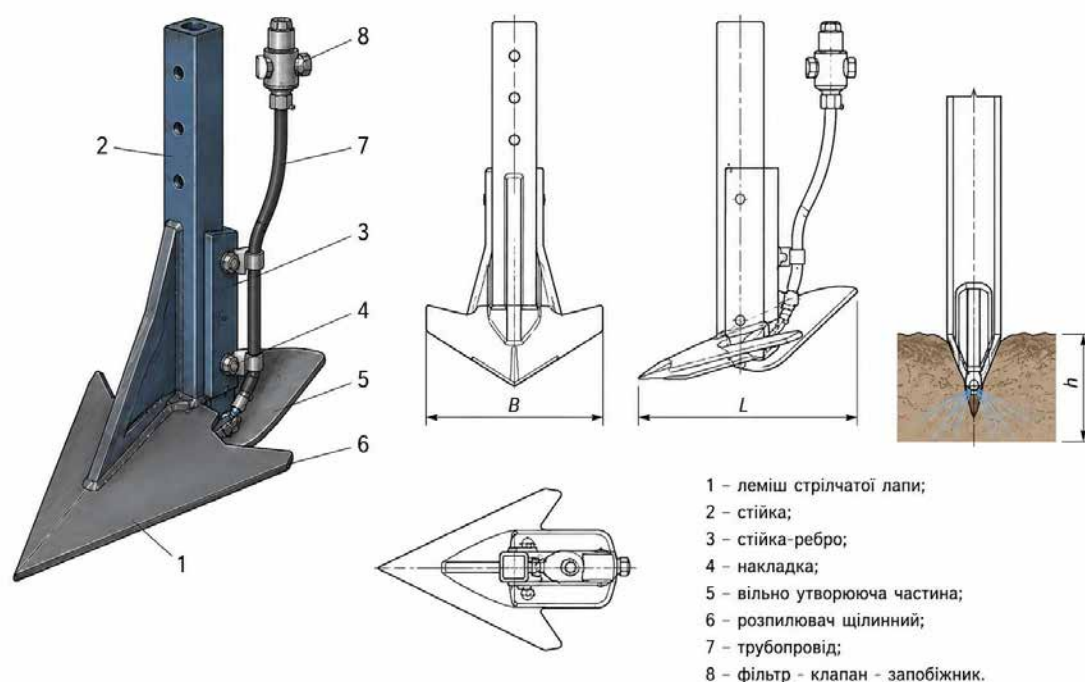
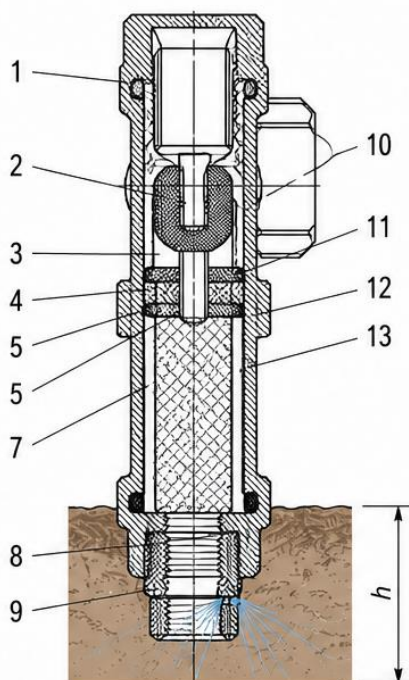


Рисунок 1.4 – Розроблений робочий орган для внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин: 1 – леміш стрілкової лапи; 2 –

стійка; 3 – стійка-ребро; 4 – накладка; 5 – вільноутворююча частина; 6 – щілинний розпилювач; 7 – трубопровід; 8 – фільтр-клапан-запобіжник.



- 1 – корпус;
- 2 – клапан - запобіжник;
- 3 – сідло клапана;
- 4 – втулка;
- 5 – шайба підтримує;
- 5 – кільце;
- 7 – тканина фільтрувальна;
- 8 – ніпель;
- 9 – гайка накидна;
- 10, 11, 12, 13 – кільця ущільнювачі гумові.

Рисунок 1.5 – Конструкція фільтра-клапана-запобіжника: 1 – корпус; 2 – клапан-запобіжник; 3 – сідло клапана; 4 – втулка; 5 – підтримуюча шайба; 6 – кільце; 7 – фільтрувальна тканина; 8 – ніпель; 9 – накидна гайка; 10–13 – гумові ущільнювальні кільця.

Розроблений робочий орган для внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин забезпечує виконання декількох технологічних операцій за один прохід агрегату: розпушування ґрунту, підрізання бур'янів, локальне внесення робочого розчину та його закладення в оброблений шар ґрунту. Основною вимогою при розробці конструкції було забезпечення мінімального порушення поверхневого шару ґрунту при одночасному збереженні високої якості внесення робочої рідини.

Поставлені завдання були вирішені шляхом використання стрілчастої лапи з малим профілем та зменшеним кутом кришення різальної частини. Застосування компактного щілинного розпилювача, розташованого безпосередньо за носком лапи, дозволило суттєво зменшити висоту робочого органу та забезпечити рівномірний розподіл робочої рідини в зоні обробітку ґрунту.

Важливою особливістю конструкції є наявність вільноутворюючої частини мінімальної площі. Таке рішення дозволяє зменшити налипання ґрунту на поверхню лапи під час початкового етапу роботи, коли робоча рідина ще не досягла сталого режиму подачі. Мінімізація площі поверхонь, які контактують із зволженим ґрунтом, забезпечує швидке самоочищення робочого органу та стабільність технологічного процесу навіть при невеликих витратах робочої рідини.

Конструктивні особливості лапи забезпечують можливість локального внесення робочого розчину на глибину від 40 мм із подальшим його закриттям потоком ґрунту, який формується крилами стрілчастої лапи. Завдяки цьому зменшуються втрати діючої речовини внаслідок випаровування та покращується ефективність її використання рослинами.

Мала висота профілю та зменшена площа поверхні стрілчастої лапи сприяють зниженню тягового опору агрегату, зменшенню розкидання ґрунту та підвищенню робочої швидкості виконання технологічної операції. Це позитивно впливає на продуктивність агрегату та знижує питомі витрати пального.

Особливу увагу при проектуванні було приділено забезпеченню самоочищення робочого органу від рослинних решток і бур'янів. Для цього стійка виконана прямолінійною та нахиленою вперед за напрямком руху агрегату. Така форма забезпечує плавне проходження рослинних залишків через робочу зону та знижує ймовірність їх накопичення перед стійкою.

Стійка-ребро виступає за межі лемеша і виконує функцію додаткового різального елемента. Рослинні рештки, які потрапляють на її поверхню, спрямовуються до різучих крайок лапи, де подрібнюються та перемішуються з ґрунтом. Завдяки цьому забезпечується стабільність технологічного процесу навіть на полях із великою кількістю післяжнивних решток.

Для підвищення надійності роботи робочий орган обладнаний індивідуальним фільтром-клапаном-запобіжником (рис. 1.5), який забезпечує очищення робочої рідини перед її подачею до щілинного розпилювача. Наявність фільтра дозволяє запобігти засміченню розпилювача та забезпечити стабільність норми внесення протягом усього робочого циклу.

Конструкція фільтра складається з корпусу, клапана-запобіжника, сидла клапана, втулки, підтримуючої шайби, фільтрувального елемента, ніпеля та системи ущільнювальних кілець. При подачі робочої рідини вона проходить через фільтрувальний елемент, очищується від механічних домішок і надходить до розпилювача. Клапан-запобіжник автоматично перекриває подачу рідини після зняття тиску, що виключає її підтікання та забезпечує рівномірність внесення.

Для формування рівномірної смуги внесення використовується щілинний розпилювач прямокутного перерізу. Його конструкція забезпечує більш рівномірний розподіл робочої рідини по ширині оброблюваної смуги порівняно з традиційними форсунками. Матеріал розпилювача повинен мати високу зносостійкість та корозійну стійкість, що особливо важливо при роботі з концентрованими добривами та засобами захисту рослин.

Таким чином, запропонована конструкція робочого органу забезпечує якісне локальне внутрішньогрунтове внесення рідких добрив і засобів захисту рослин, знижує витрати препаратів, зменшує втрати вологи з ґрунту та підвищує ефективність виконання технологічних операцій у сучасних системах ресурсозберігаючого землеробства.

1.3. Робочий орган із криволінійними лемешами і розбірною стійкою.

Одним із напрямків удосконалення робочих органів для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин є використання конструкцій із криволінійними лемешами та розбірною стійкою. Така конструкція дозволяє покращити характер взаємодії робочого органу з ґрунтом, забезпечити більш плавний рух ґрунтового потоку та знизити тяговий опір агрегату.

Особливістю даного робочого органу є застосування криволінійних лемешів, форма яких забезпечує поступове підрізання та піднімання шару ґрунту без різких змін напрямку його руху. У результаті зменшується інтенсивність руйнування структури ґрунту, знижуються енерговитрати на виконання технологічного процесу та покращуються умови для локального внесення робочої рідини.

Криволінійні лемеші формують спрямований потік ґрунту, який після проходження розпилювача забезпечує надійне закриття внесеного препарату. Завдяки цьому зменшуються втрати діючої речовини внаслідок випаровування та покращується рівномірність її розподілу в обробленому горизонті.

Розбірна стійка складається з декількох окремих елементів, з'єднаних між собою болтовими з'єднаннями. Така конструкція значно спрощує виготовлення, транспортування та ремонт робочого органу. У разі зношування окремих деталей їх можна замінити без демонтажу всієї конструкції, що знижує експлуатаційні витрати та скорочує час технічного обслуговування.

Внутрішньо стійки або вздовж її поверхні розміщується трубопровід подачі робочої рідини до розпилювача. Розпилювач встановлюється у нижній частині робочого органу та забезпечує локальне внесення робочого розчину безпосередньо у зону розпушеного ґрунту. Після виходу рідини з розпилювача потік ґрунту, сформований криволінійними лемешами, закриває місце внесення та створює сприятливі умови для утримання вологи й ефективного використання препаратів.

До основних переваг робочого органу з криволінійними лемешами та розбіркою стійкою належать:

- зниження тягового опору під час роботи;
- покращення якості розпушування ґрунту;
- рівномірне закриття внесених препаратів;
- зменшення втрат вологи з обробленого шару;
- підвищення ремонтпридатності конструкції;
- можливість швидкої заміни зношених елементів;
- зменшення експлуатаційних витрат.

Разом з тим розбірна конструкція потребує більшої кількості кріпильних елементів і має меншу жорсткість порівняно із суцільнозварними робочими органами. Тому при проектуванні необхідно забезпечити достатню міцність з'єднань та надійність роботи вузлів в умовах динамічних навантажень.

Таким чином, робочий орган із криволінійними лемешами і розбіркою є перспективною конструкцією для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин, оскільки поєднує задовільні агротехнічні показники з високою ремонтпридатністю та зручністю експлуатації.

Описаний вище робочий орган показав високі агротехнічні та експлуатаційні показники під час внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин. Тому в подальших дослідженнях його загальна компоновка була збережена, а вдосконалення стосувалися окремих конструктивних елементів, насамперед стрілкової лапи.

За своєю геометрією лапа залишалася близькою до серійної конструкції культиваторної лапи типу С-5.3. Незмінними залишалися кут розчину крил 65° та ширина захвату 270 мм, оскільки саме такі параметри забезпечують ефективне підрізання бур'янів і формування необхідного потоку ґрунту. Основна увага приділялася удосконаленню конструкції лемешів та вибору раціонального кута кришіння.

Базовим варіантом стала конструкція плоского лемеша з верхнім заточуванням та нижнім зміцнювальним наплавленням (рис. 1.6, А). Дослідження показали, що така конструкція забезпечує достатньо високі показники якості обробітку ґрунту та стабільне загортання робочої рідини. Проте в процесі експлуатації спостерігалось поступове зменшення висоти профілю лапи внаслідок зношування різальних крайок, що негативно впливало на стабільність технологічного процесу.

З метою підвищення довговічності було розглянуто інший варіант лемеша (рис. 1.6, В) з нижнім заточуванням та зміцнювальним наплавленням на нижній поверхні. Така конструкція забезпечує ефект самозаточування та дозволяє тривалий час зберігати геометричні параметри робочого органу. При цьому висота профілю

лапи практично не змінюється до повного зношування наплавленого шару, що позитивно впливає на стабільність глибини обробітку і рівномірність внесення робочого розчину.

Водночас збільшення кута кришіння лемешів призводить до зміни характеру взаємодії робочого органу з ґрунтом. Зі збільшенням цього кута зростає інтенсивність переміщення ґрунту в бокових напрямках, що може спричиняти збільшення ширини борозни та погіршення умов загортання внесеного препарату. З іншого боку, надмірне зменшення кута кришіння потребує збільшення ширини лемешів, що також призводить до зростання тягового опору та погіршення агротехнічних показників.

У результаті проведеного аналізу було встановлено, що оптимальним рішенням є використання лемешів із кутом кришіння близько 20° . За таких параметрів забезпечується прийнятний компроміс між довговічністю робочого органу, якістю розпушування ґрунту, мінімальною глибиною внесення робочої рідини та ефективністю її загортання. Ширина лемешів при цьому становить близько 50 мм, що дозволяє розмістити елементи системи подачі робочої рідини без істотного збільшення габаритів робочого органу.

Проведені дослідження показали, що використання лемешів із нижнім заточуванням та зміцнювальним наплавленням забезпечує більш стабільні показники роботи порівняно з традиційними конструкціями. Такий підхід дозволяє підвищити ресурс робочого органу, зменшити витрати на його обслуговування та забезпечити стабільну якість внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин протягом усього періоду експлуатації.

Важливим елементом робочого органу для внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин є леміш, від конструкції якого залежать тяговий опір, якість розпушування ґрунту, інтенсивність зношування та довговічність робочого органу. Для підвищення ресурсу роботи лемешів широко застосовують різні способи заточування різальних кромek та зміцнення найбільш навантажених ділянок шляхом наплавлення зносостійких матеріалів.

На рисунку 1.6 наведено найбільш поширені варіанти нормального перерізу лемешів робочих органів для внутрішньогрунтового стрічкового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин.

Варіант А являє собою плоский леміш з верхнім заточуванням та нижнім зміцнювальним наплавленням. У процесі роботи наплавлений шар сприймає основне абразивне навантаження, а зношування металу відбувається нерівномірно. Завдяки цьому частково зберігається гострота різальної кромки. Проте в міру експлуатації змінюється форма профілю лемеша, що може призводити до збільшення тягового опору та погіршення агротехнічних показників.

Варіант В являє собою плоский леміш із нижнім заточуванням та наплавленням на нижній поверхні. Така конструкція забезпечує ефект самозаточування, оскільки м'якший метал зношується швидше, ніж наплавлений шар. У результаті різальна кромка тривалий час зберігає необхідну гостроту, що позитивно впливає на якість обробітку ґрунту та знижує енергетичні витрати.

Схема С демонструє характер зношування плоского лемеша з верхнім заточуванням. Аналіз показує, що в процесі експлуатації відбувається поступове заокруглення різальної кромки та зміна геометричних параметрів лемеша. Це призводить до збільшення сили різання ґрунту та підвищення тягового опору агрегату.

Варіант Д являє собою гнутий леміш із нижнім заточуванням та наплавленням. Завдяки криволінійній формі забезпечується більш плавна взаємодія з ґрунтом, покращується розподіл навантажень по поверхні лемеша та знижується інтенсивність його зношування. Крім того, гнута форма сприяє покращенню руху ґрунтового потоку і більш ефективному закриттю внесеної робочої рідини.

Для сучасних комбінованих робочих органів, призначених для локального внесення рідких добрив і засобів захисту рослин, найбільш перспективними є конструкції з нижнім заточуванням та зміцнювальним наплавленням. Вони забезпечують стабільність геометричних параметрів протягом тривалого терміну експлуатації, мають менший тяговий опір та характеризуються підвищеною зносостійкістю.

Таким чином, вибір конструкції лемеша суттєво впливає на довговічність робочого органу, якість обробітку ґрунту та ефективність технологічного процесу локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин.

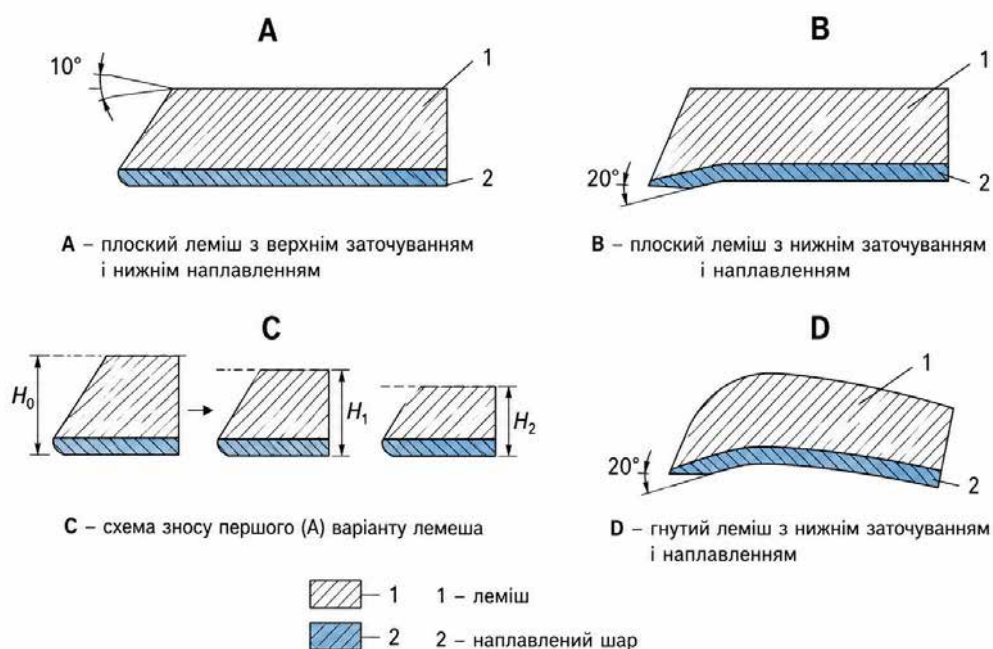


Рисунок 1.6 – Нормальний переріз лемешів робочих органів для внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин: А – плоский леміш з верхнім заточуванням і нижнім наплавленням; В – плоский леміш з нижнім заточуванням і наплавленням; С – схема зношування лемеша варіанта А; Д – гнутий леміш з нижнім заточуванням і наплавленням; 1 – леміш; 2 – наплавлений зносостійкий шар.

Проведені експериментальні дослідження показали, що другий варіант конструкції лемеша, незважаючи на підвищений ресурс роботи, поступався першому за агротехнічними показниками. Це зумовило необхідність подальшого вдосконалення конструкції стрілкової лапи для внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин.

Аналіз першого варіанта лемеша (рис. 1.6, А) показав, що його особливістю є змінний кут кришіння. У зоні різальної кромки кут становить 28–30°, що забезпечує інтенсивне підрізання та кришення ґрунту. У міру віддалення від різальної крайки кут поступово зменшується до 10°, забезпечуючи плавний рух ґрунтового потоку та мінімальне порушення структури оброблюваного шару.

У процесі експлуатації поверхні лемеша зазнають абразивного зношування. Внаслідок цього форма різальної частини поступово змінюється, а кут кришіння

набуває плавно змінного характеру. Саме ця особливість значною мірою забезпечувала прийнятні агротехнічні показники першого варіанта конструкції.

Спроба реалізувати компромісне рішення у вигляді плоского лемеша з нижнім заточуванням і горизонтально орієнтованим зміцнювальним шаром (рис. 1.6, В) дозволила збільшити ресурс роботи лапи, однак не забезпечила необхідної якості розподілу ґрунту та загортання робочої рідини. Тому виникла необхідність пошуку нової конструкції, яка б поєднувала переваги обох попередніх варіантів.

У результаті було розроблено третій варіант стрілчастої лапи з криволінійними поверхнями лемешів (рис. 1.6, D). Така конструкція забезпечує поступову зміну кута кришіння від 23° у передній частині до 10° у задній. При цьому геометричні параметри лапи залишилися практично такими ж, як і в першому варіанті, а зміцнювальний шар розташовано майже горизонтально. Завдяки цьому вдалося поєднати високу якість обробітку ґрунту з підвищеною довговічністю робочого органу.

Наявність невеликого кута нахилу криволінійної поверхні сприяє покращенню самозаглиблення робочого органу та стабілізує його рух по глибині. Це особливо важливо під час локального внесення рідких добрив, коли необхідно забезпечити рівномірне розташування робочої рідини на заданій глибині.

Результати досліджень були реалізовані в конструкції робочого органу з розбірною стійкою (рис. 1.7). На відміну від попередньої конструкції стрілчаста лапа виконана окремим вузлом і кріпиться до вертикальної частини стійки за допомогою болтового з'єднання. Таке рішення дозволяє здійснювати заміну лише зношеної лапи без необхідності заміни всієї стійки, що значно знижує витрати на ремонт та технічне обслуговування.

Щілинний розпилювач, як і раніше, розташовується у зоні мінімального впливу ґрунтового потоку під вільноутворюючою частиною лапи. Робоча рідина подається до нього через трубопровід із безрізьбовим герметичним з'єднанням, що підвищує надійність системи та спрощує монтаж.

Подальшого вдосконалення зазнав і фільтр-клапан-запобіжник. Нова конструкція характеризується компактністю, меншою кількістю деталей та

підвищеною надійністю. Фільтрувальний елемент отримав гумовий кант, який забезпечує герметичність вузла та дозволяє відмовитися від додаткових ущільнювальних кілець. Як запірний елемент використано стандартну гумову манжету, яка забезпечує стабільну роботу клапана та знижує гідравлічний опір потоку рідини.

Удосконалено також конструкцію щілинного розпилювача. Його проточна частина залишилася без змін, однак було модернізовано вузол приєднання до трубопроводу. Використання безрізбового з'єднання з ущільнювальним гумовим кільцем підвищило герметичність системи та спростило заміну розпилювача під час технічного обслуговування.

Таким чином, модернізований робочий орган із криволінійними лемешами, розбірною стійкою, удосконаленим фільтром-клапаном-запобіжником та модернізованим щілинним розпилювачем забезпечує підвищений ресурс роботи, стабільну глибину внесення, покращений розподіл робочої рідини в ґрунті та зручність експлуатації. Запропоновані конструктивні рішення сприяють підвищенню ефективності локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин у сучасних технологіях точного землеробства.

Табл.. 1.1

Параметри	
Найменування	Величина
Тип робочого органу: лапа стрілчаста плоскоріжуча	
Кут розчину лапи, град.	65
Кут кришіння лемешів лапи, град.	10-23
Висота лапи, мм	17
Ширина захоплення лапи, мм	270
Ширина смуги внесення, мм	240
Глибина обробки, см	5-10
Робоча швидкість, км/ч	5-9
Робочий тиск рідини, МПа	0,2-0,4

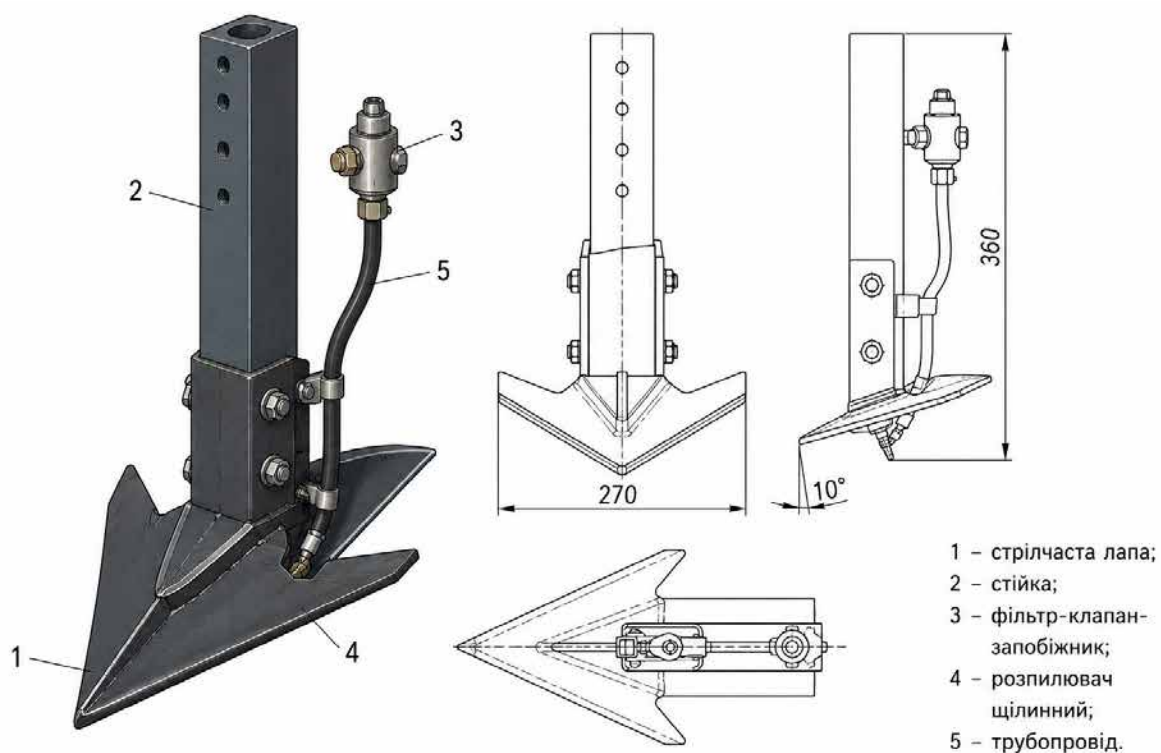


Рис. 1.7. Розроблений робочий орган для внутрішньогрантового внесення гербіцидів: 1 - стрілочаста лапа; 2 - стійка; 3 - фільтр-клапан-запобіжник; 4 - розпилювач щілинний; 5 - трубопровід.

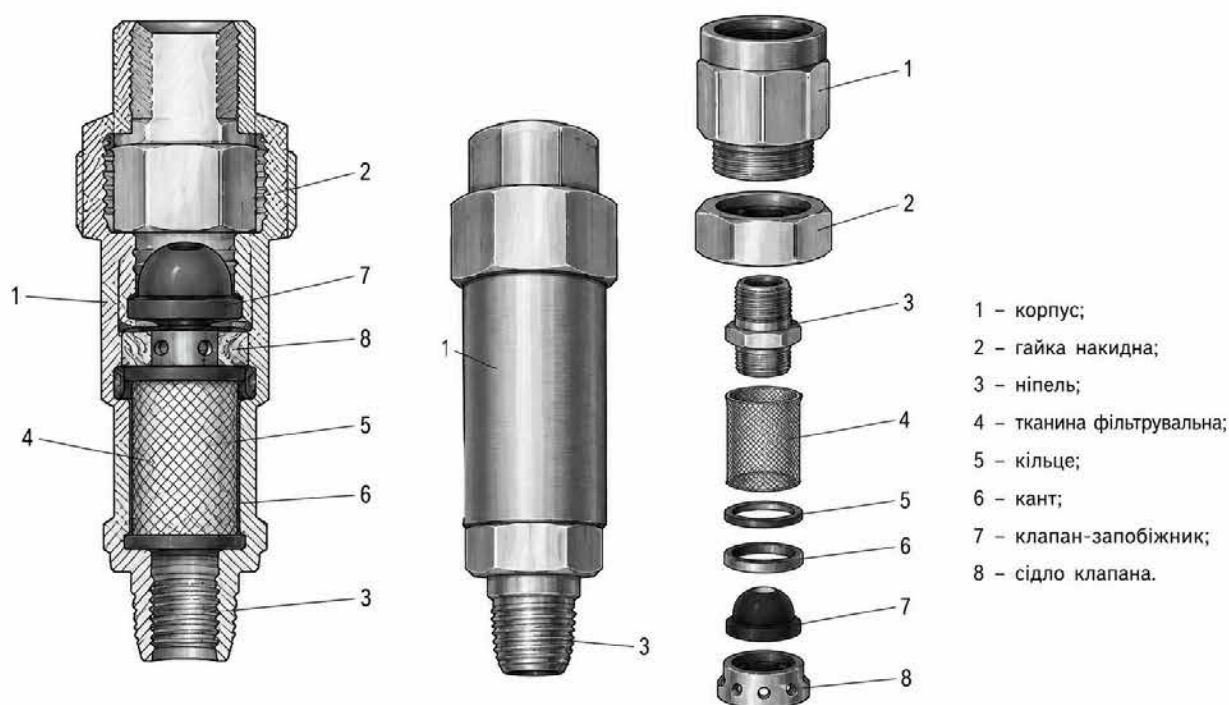


Рис. 1.8. Розроблений фільтр: 1 - корпус; 2 - гайка накидна; 3 - ніпель; 4 - тканина фільтрувальна; 5 - кільце; 6 - кант; 7 - клапан-запобіжник; 8 - сидло клапана.

1.4 Ергономічний робочий орган

Одним із важливих напрямків удосконалення робочих органів для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин є підвищення ергономічності конструкції та зниження трудомісткості технічного обслуговування. Особливого значення набуває скорочення часу, необхідного для заміни, очищення, регулювання та контролю стану розпилювачів, оскільки саме ці операції найчастіше виконуються під час експлуатації агрегату.

З цією метою була розроблена конструкція ергономічного робочого органу (рис. 1.10), основу якого становить стрілчаста лапа зі стійкою, нахиленою вперед за напрямком руху агрегату. Верхня вертикальна частина стійки виконана окремим вузлом, що забезпечує зручність складання, ремонту та заміни окремих елементів конструкції.

Основні зміни були внесені до конструкції розпилювача, каналу підведення робочої рідини та нижньої частини стійки. Канал підведення робочої рідини виконаний у вигляді пружної трубки спеціальної форми, яка одночасно виконує функції трубопроводу та фіксуючого елемента. Верхня частина трубопроводу герметично з'єднана з корпусом фільтра, а середня частина закріплена на стійці за допомогою кронштейна.

Для виготовлення трубопроводу використовується пружинна корозійностійка сталь або полімерний матеріал підвищеної міцності, що забезпечує тривалий термін служби та стійкість до агресивного впливу мінеральних добрив і засобів захисту рослин.

Розпилювач встановлюється між лемешами стрілчастої лапи на спеціальних напрямних, виконаних уздовж внутрішніх поверхонь крил лапи. Таке розташування забезпечує його захист від механічних пошкоджень, сприяє рівномірному розподілу робочої рідини та дозволяє використовувати корпус розпилювача як елемент, що формує потік ґрунту.

Важливою перевагою запропонованої конструкції є можливість швидкого демонтажу розпилювача без використання спеціального інструменту та без необхідності піднімати робочий орган із ґрунту. Для зняття розпилювача достатньо

відвести пружний кінець трубопроводу від фіксуючої канавки та перемістити розпилювач вздовж напрямних до повного звільнення. Це суттєво скорочує час обслуговування та підвищує зручність експлуатації агрегату в польових умовах.

Вузол з'єднання розпилювача з каналом підведення робочої рідини виконано за безрізьбовою схемою. Герметичність забезпечується ущільнювальним гумовим кільцем, а необхідне притискне зусилля створюється пружними властивостями трубопроводу. Такий спосіб з'єднання дозволяє уникнути самовідгвинчування деталей під дією вібрацій та спрощує виконання монтажних робіт.

На бокових поверхнях корпусу розпилювача передбачені спеціальні напрямні канавки, які забезпечують його точне позиціонування між лемешами лапи. Фіксація здійснюється автоматично за рахунок пружного елемента трубопроводу, що виконує функцію стопора. Завдяки цьому монтаж і демонтаж розпилювача займає мінімальний час та не потребує додаткових регулювань.

Для підвищення якості локального внесення робочої рідини використовується щілинний розпилювач із шириною вихідної щілини 0,2 мм. Таке конструктивне рішення дозволяє формувати рівномірну плоску струминну завісу та забезпечує точне дозування робочого розчину навіть при невеликих витратах рідини.

Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення ергономічності конструкції, зменшення витрат часу на технічне обслуговування, скорочення трудових витрат під час експлуатації агрегату та покращення умов праці механізатора. Крім того, спрощення конструкції сприяє підвищенню надійності роботи системи внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин, що позитивно впливає на загальну ефективність технологічного процесу.

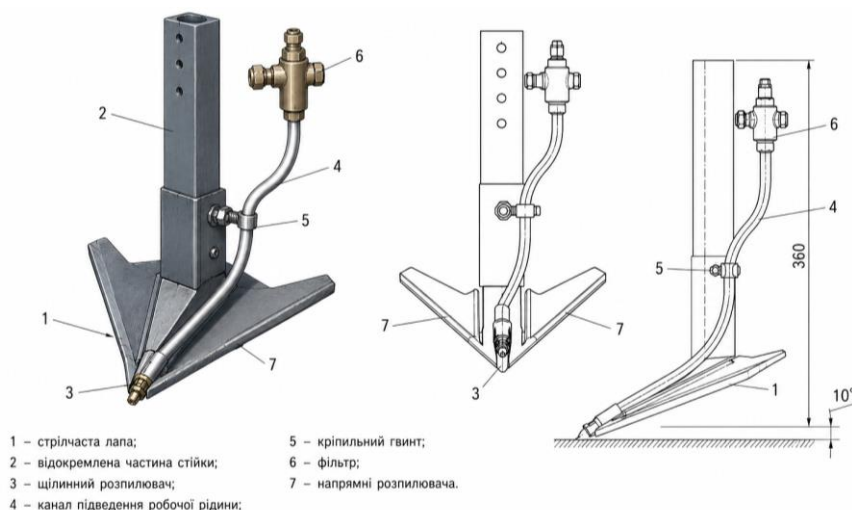


Рис. 1.10. Розроблений робочий орган для стрічкового внутрішньо ґрунтового внесення гербіцидів: 1 - стрілчаста лапа; 2 - відокремлена частина стійки; 3 - розпилювач; 4 - канал для підведення робочої рідини; 5 - гвинт; 6 - фільтр-клапан-запобіжник; 7- напрямна РЖ каналу 4.

1.5 Робочий орган для внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин на грудкуватих ґрунтах

Різноманітність ґрунтово-кліматичних умов та технологій вирощування сільськогосподарських культур зумовлює необхідність створення робочих органів, здатних ефективно працювати на полях із недостатньо підготовленою поверхнею та значною кількістю ґрунтових грудок. Особливо актуальною ця проблема є під час локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив і засобів захисту рослин на невеликій глибині, коли великі грудки можуть порушувати рівномірність розподілу робочої рідини в оброблюваному шарі.

Практика показує, що при глибині внесення робочого розчину 40–120 мм найбільший вплив на якість технологічного процесу мають грудки розміром понад 30 мм. Якщо їх міцність достатня для збереження форми після контакту з робочим органом, вони можуть порушувати структуру потоку ґрунту та змінювати форму порожнини, яка утворюється в зоні розташування розпилювача. У результаті цього погіршується рівномірність внесення робочої рідини та знижується ефективність використання препаратів.

Для забезпечення стабільної роботи в таких умовах розроблено спеціальний робочий орган (рис. 1.13), конструкція якого базується на перевірених технічних рішеннях, але доповнена елементами, що підвищують його працездатність на грудкуватих ґрунтах.

Основу конструкції становить стрілчаста лапа із шириною захвату 270 мм та кутом розчину крил 65° . Лапа утворена двома криволінійними лемешами, які з'єднані з вільноутворюючою частиною та похилою частиною стійки. Похила частина стійки кріпиться до вертикальної стійки за допомогою болтового з'єднання, що забезпечує ремонтпридатність конструкції та можливість швидкої заміни зношених елементів.

Лемеші виконані з циліндричною поверхнею та мінімальним кутом нахилу до горизонту. Їх опуклість орієнтована за напрямком руху агрегату, що забезпечує плавне переміщення ґрунту та зменшує енергетичні витрати на виконання технологічного процесу.

Для підвищення довговічності робочого органу застосовано нижнє заточування та зміцнювальне наплавлення ріжучих крайок твердосплавними матеріалами. Таке рішення дозволяє тривалий час підтримувати постійну геометрію лемешів і забезпечує стабільну глибину внесення робочої рідини протягом усього терміну експлуатації.

Щілинний розпилювач розташований у центрі кінематичної тіні робочого органу під вільноутворюючою частиною лапи. Для забезпечення рівномірного розподілу робочої рідини він орієнтований під невеликим кутом до вертикалі, що сприяє формуванню стабільного факела розпилення та покращує якість внесення препарату в ґрунт.

Особливістю конструкції є застосування еластичного козирка, встановленого у верхній частині лапи між лемешами. Козирок виконаний у вигляді системи паралельних пружних елементів із зносостійкого полімерного матеріалу. Його основне призначення полягає у захисті зони розпилення від потрапляння великих грудок ґрунту та стабілізації потоку ґрунтових частинок у зоні внесення робочої рідини.

Завдяки високій еластичності козирок постійно деформується під час роботи, що забезпечує його самоочищення від налиплого ґрунту. На відміну від жорстких елементів конструкції, на яких можуть накопичуватися частинки вологого ґрунту, еластичні елементи практично не схильні до забивання та забезпечують стабільність технологічного процесу навіть за складних польових умов.

Подача робочої рідини до розпилювача здійснюється через трубопровід та індивідуальний фільтр-клапан-запобіжник, який забезпечує очищення рідини від механічних домішок та запобігає засміченню розпилювача. Така схема дозволяє підтримувати стабільну норму внесення та високу якість виконання технологічної операції.

Таким чином, запропонований робочий орган забезпечує ефективне внутрішньогрунтове внесення рідких добрив і засобів захисту рослин на грудкуватих ґрунтах, характеризується високою надійністю роботи, стійкістю до забивання та покращеними агротехнічними показниками. Використання еластичного козирка дозволяє мінімізувати негативний вплив великих ґрунтових грудок на процес внесення препаратів та забезпечити рівномірний розподіл робочої рідини по ширині оброблюваної смуги.

1.6. Робочий орган для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів із застосуванням технології розмазання.

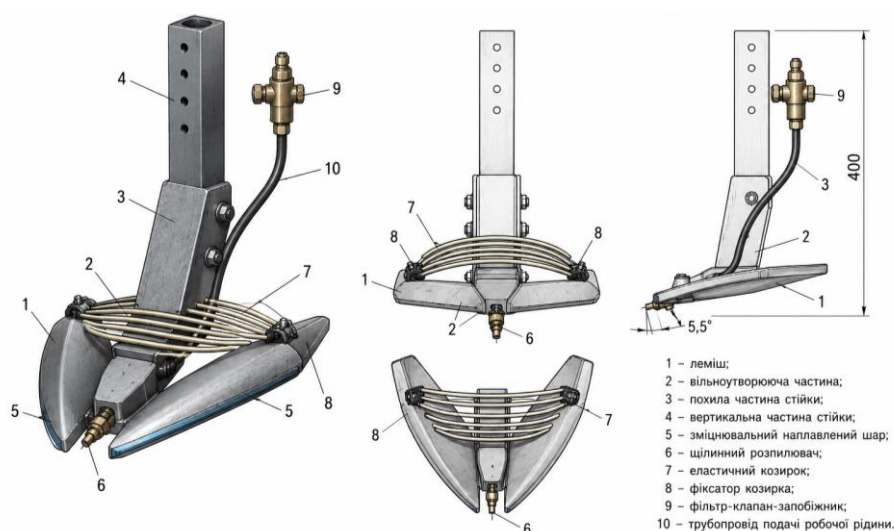


Рис. 1.13. Розроблений робочий орган для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів на грудкуватих ґрунтах: 1 - леміш; 2 - вільно утворююча частина; 3

і 4 - частини похилої і вертикальної стійки; 5 - наплавлений шар; 6 - розпилювач; 7 - козирок лозини; 8 - фіксатор козирка; 9 - фільтр-клапан-запобіжник; 10 - канал для підведення робочої рідини.

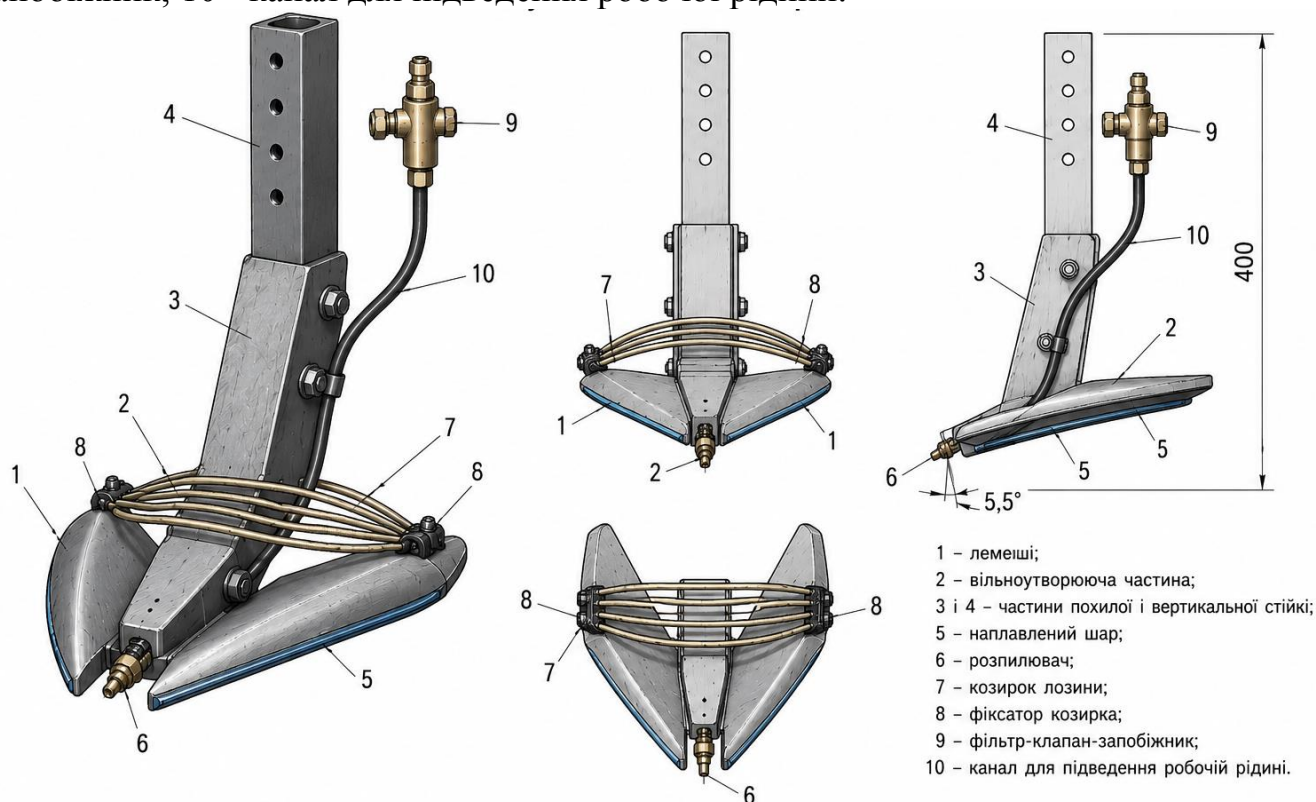


Рис. 1.14. Розроблений робочий орган для внутрішньо ґрунтового внесення гербіцидів із застосуванням технології розмазання: 1 - лемеші; 2 - вільно утворююча частина; 3 і 4 - частини похилої і вертикальної стійки; 5 - наплавлений шар; 6 - розпилювач; 7 - козирок лозини; 8 - фіксатор козирка; 9 - фільтр-клапан-запобіжник; 10 - канал для підведення робочій рідині.

Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз сучасних технологій локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин показав, що найбільш перспективним напрямком є поєднання операцій обробітку ґрунту і внесення робочих рідин за один прохід агрегату. Такий підхід дозволяє скоротити кількість технологічних операцій, зменшити витрати пального та підвищити продуктивність виконання польових робіт.

2. Встановлено, що локальне внутрішньогрунтове внесення робочих розчинів забезпечує значне зменшення витрат препаратів порівняно із суцільним способом внесення, підвищує коефіцієнт

використання діючих речовин та знижує негативний вплив на навколишнє середовище.

3. Аналіз існуючих конструкцій робочих органів показав, що утворення відкритих борозен після проходу агрегату сприяє додатковим втратам ґрунтової вологи. Тому найбільш ефективними є конструкції, які забезпечують локальне внесення препаратів із мінімальним порушенням поверхневого шару ґрунту та одночасним закриттям зони внесення потоком розпушеного ґрунту.

4. Розроблена компоновальна схема робочого органу, яка включає стрілчасту лапу, розпилювач, трубопровід подачі робочої рідини та індивідуальний фільтр-клапан-запобіжник, забезпечує стабільність технологічного процесу, рівномірність внесення робочої рідини та високу надійність роботи системи.

5. Встановлено, що використання розбірної конструкції стійки підвищує ремонтпридатність робочого органу, спрощує заміну зношених елементів та зменшує витрати на технічне обслуговування агрегату.

6. Дослідження конструкцій лемешів показали переваги гнутих лемешів із нижнім заточуванням та зміцнювальним наплавленням твердим сплавом. Таке конструктивне рішення забезпечує ефект самозаточування, підвищує ресурс роботи лапи та дозволяє зберігати стабільні геометричні параметри робочого органу протягом тривалого періоду експлуатації.

7. Запропоновані конструкції ергономічного робочого органу, швидкознімного розпилювача та удосконаленого фільтра-клапана-запобіжника забезпечують скорочення трудомісткості обслуговування, підвищують зручність експлуатації та покращують умови праці оператора.

8. Для роботи на грудкуватих ґрунтах розроблено конструкцію робочого органу з еластичним козирком, який стабілізує рух ґрунтового потоку в зоні внесення робочої рідини, зменшує вплив великих ґрунтових

грудок на процес внесення та сприяє рівномірному розподілу препарату в оброблюваному шарі.

9. Результати проведеного аналізу та розроблені конструктивні рішення підтверджують доцільність подальшого вдосконалення комбінованих культиваторних лап для одночасного обробітку ґрунту, локального внесення рідких добрив і засобів захисту рослин, що є перспективним напрямком розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування.

10. На підставі проведених досліджень сформульовано вимоги до нової конструкції лапи культиватора, які будуть використані при виконанні конструкторської частини дипломного проекту та проведенні розрахунків її основних параметрів.

РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА РОБОТИ

2.1 Програма роботи

Метою експериментальних досліджень є оцінка ефективності роботи розробленої лапи культиватора для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин.

Програмою досліджень передбачалося вирішення таких завдань:

1. Визначення умов взаємодії робочого органу з ґрунтом:
 - визначення зусиль руйнування ґрунтового шару;
 - дослідження процесу переміщення ґрунту робочим органом;
 - оцінка впливу геометричних параметрів лапи на характер деформації ґрунту.
2. Дослідження процесу локального внесення робочої рідини:
 - визначення рівномірності розподілу робочого розчину в ґрунті;
 - встановлення оптимальної глибини внесення;
 - оцінка впливу швидкості руху агрегату на якість внесення.
3. Визначення енергетичних показників роботи розробленої лапи:
 - вимірювання тягового опору;
 - визначення питомих енерговитрат;
 - оцінка впливу режимів роботи на витрату палива.
4. Визначення якісних показників технологічного процесу:
 - ступінь кришення ґрунту;
 - рівномірність глибини обробітку;
 - ступінь підрізання бур'янів;
 - рівномірність локального внесення робочої рідини;
 - вирівняність поверхні поля після проходу агрегату.

Отримані результати використовувалися для обґрунтування конструктивних параметрів розробленого робочого органу та оцінки ефективності його застосування.

2.2 Опис пристрою для визначення енергетичних характеристик взаємодії лапи з ґрунтом

Для проведення лабораторних досліджень було розроблено експериментальний пристрій, призначений для визначення зусиль руйнування ґрунтового шару та дослідження характеру його деформації під дією робочого органу.

Конструкція пристрою складається з основи у вигляді металевого жолоба прямокутного перерізу, який служить контейнером для формування дослідного зразка ґрунту. На основі жорстко закріплена вертикальна напрямна стійка з нанесеною вимірювальною шкалою, що дозволяє контролювати переміщення робочого елемента під час проведення дослідів.

На напрямній стійці встановлений рухомий вузол, положення якого може змінюватися по висоті та фіксуватися у необхідному положенні. До рухомого вузла приєднаний пружинний механізм із робочою лопаткою, форма якої моделює взаємодію елементів культиваторної лапи з ґрунтовим середовищем.

Пружинний механізм дозволяє накопичувати потенційну енергію та передавати її робочому елементу під час виконання дослідів. Положення лопатки регулюється шляхом попереднього натягу пружини та фіксується спеціальним запірним пристроєм.

Під час експерименту робочий елемент взаємодіє із підготовленим зразком ґрунту, що дає можливість визначити мінімальну енергію, необхідну для руйнування структурних зв'язків між ґрунтовими агрегатами. За результатами вимірювань встановлюються закономірності руйнування ґрунтового шару та оцінюється вплив конструктивних параметрів робочого органу на процес обробітку.

Розроблений експериментальний пристрій забезпечує достатню точність вимірювань, простоту експлуатації та можливість проведення серії повторних дослідів за однакових умов, що дозволяє отримати достовірні результати для подальшого аналізу та обґрунтування конструкції лапи культиватора.

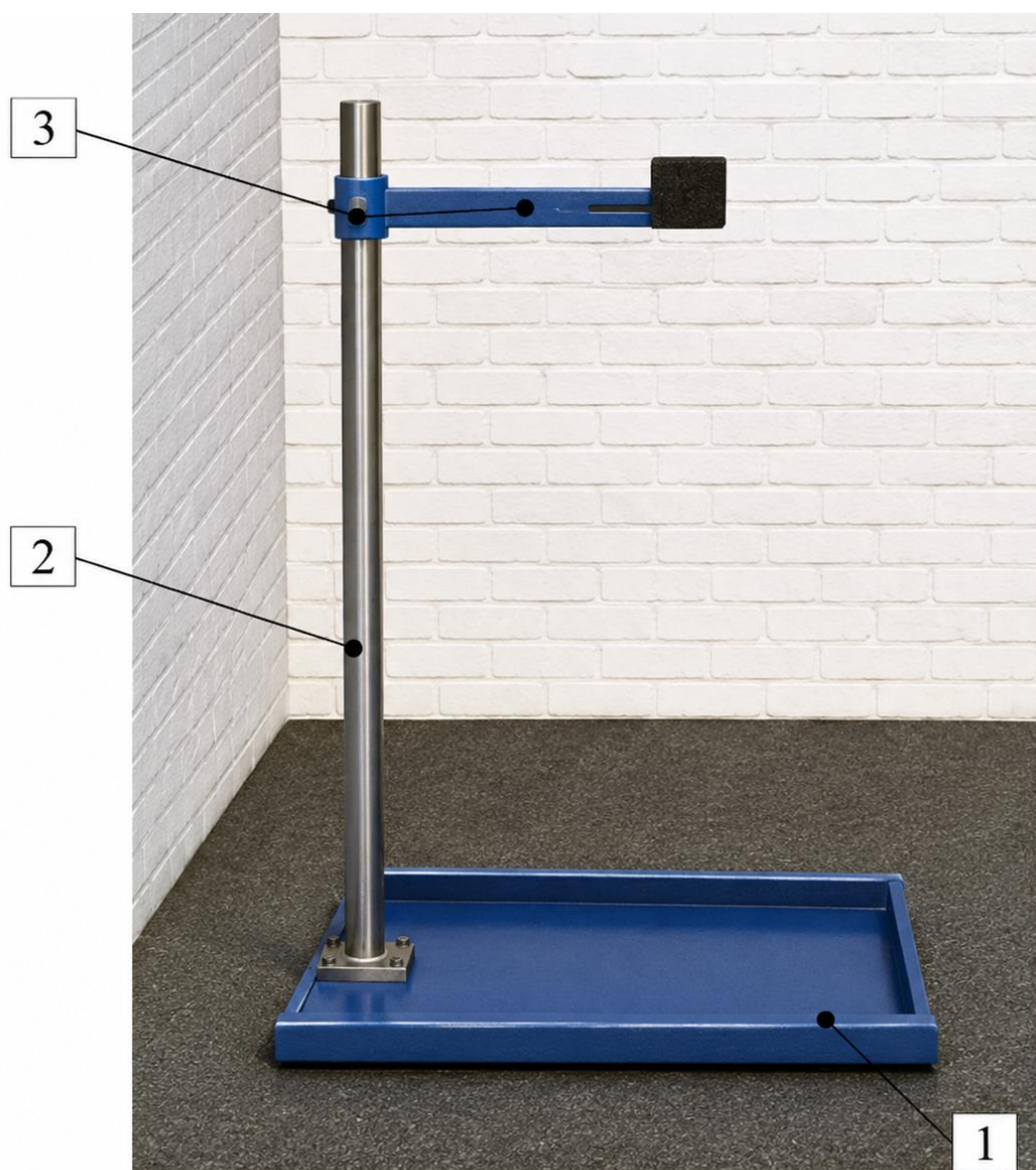


Рис. 2.1. Пристрій для визначення енергії руйнування елемента скиби

2.2.1. Методика визначення мінімальної енергії руйнування зв'язків між елементами ґрунтового шару

Для перевірки теоретичних положень щодо процесу руйнування ґрунтового шару та визначення мінімальної енергії, необхідної для руйнування зв'язків між його структурними елементами, були проведені лабораторно-польові дослідження. Експериментальні роботи виконувалися на ґрунтах чорноземного типу за різних значень вологості та щільності орного шару.

Перед початком досліджень відбиралися зразки ґрунту з глибини 0–150 мм для визначення його фізико-механічних властивостей, зокрема вологості та об'ємної

маси. Отримані показники використовувалися для аналізу впливу стану ґрунту на процес його руйнування під дією зовнішнього навантаження.

Для проведення експериментів використовувався спеціально розроблений пристрій (рис. 2.1), до складу якого входять жолоб, вертикальна напрямна стійка з вимірювальною шкалою, рухомий рукав із пружинним механізмом та робочою лопаткою. Конструкція пристрою забезпечує можливість регулювання висоти падіння зразка та фіксації положення рухомих елементів.

Дослідження проводили в такій послідовності. Пристрій встановлювали на рівній горизонтальній поверхні, після чого перевіряли вертикальність розташування напрямної стійки. Далі відбирали монолітний зразок ґрунту мінімального об'єму, достатнього для збереження природної структури та внутрішніх зв'язків ґрунтового середовища.

Підготовлений зразок зважували та встановлювали на робочу лопатку механізму. Після цього здійснювали спрацьовування фіксатора, внаслідок чого лопатка миттєво звільнялася, а зразок під дією власної ваги падав на металеве днище пристрою. Висоту падіння змінювали шляхом переміщення рухомого рукава вздовж напрямної стійки.

Досліди проводили при різних висотах падіння, поступово збільшуючи запас потенціальної енергії зразка. Для кожного режиму виконували серію повторних випробувань. Після удару об днище зразок обережно збирали та піддавали гранулометричному аналізу шляхом просіювання через комплект сит із різними розмірами отворів.

За результатами просіювання визначали кількісний вміст кожної фракції та оцінювали ступінь руйнування структури ґрунту. Отримані дані використовували для встановлення залежності між енергією падіння та характером подрібнення ґрунтового моноліту.

Мінімальну енергію руйнування визначали як найменше значення потенціальної енергії, за якого відбувалося стійке руйнування структурних зв'язків між елементами ґрунтового шару та утворення заданого фракційного складу.

Результати експериментальних досліджень заносили до спеціальних протоколів спостережень та використовували для подальшого аналізу процесу взаємодії робочих органів культиватора з ґрунтом, а також для обґрунтування конструктивних параметрів розроблюваної лапи.



Рис. 2.2. Жолоб



Рис.2.3. Лінійка

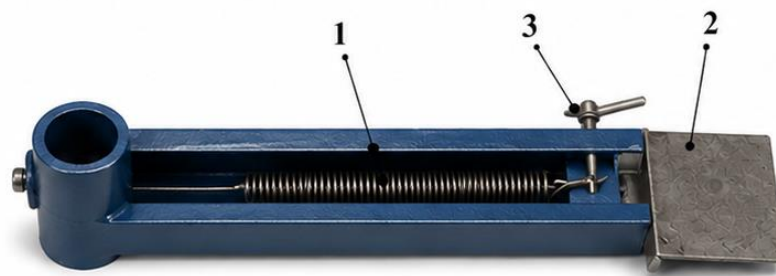


Рис. 2.4. Рукав

Для нарізання експериментальних зразків розроблено ніж 1, який має циліндричну форму, а також штовхач 2 (рис. 3.5).



Рис. 2.5. Ніж та штовхач

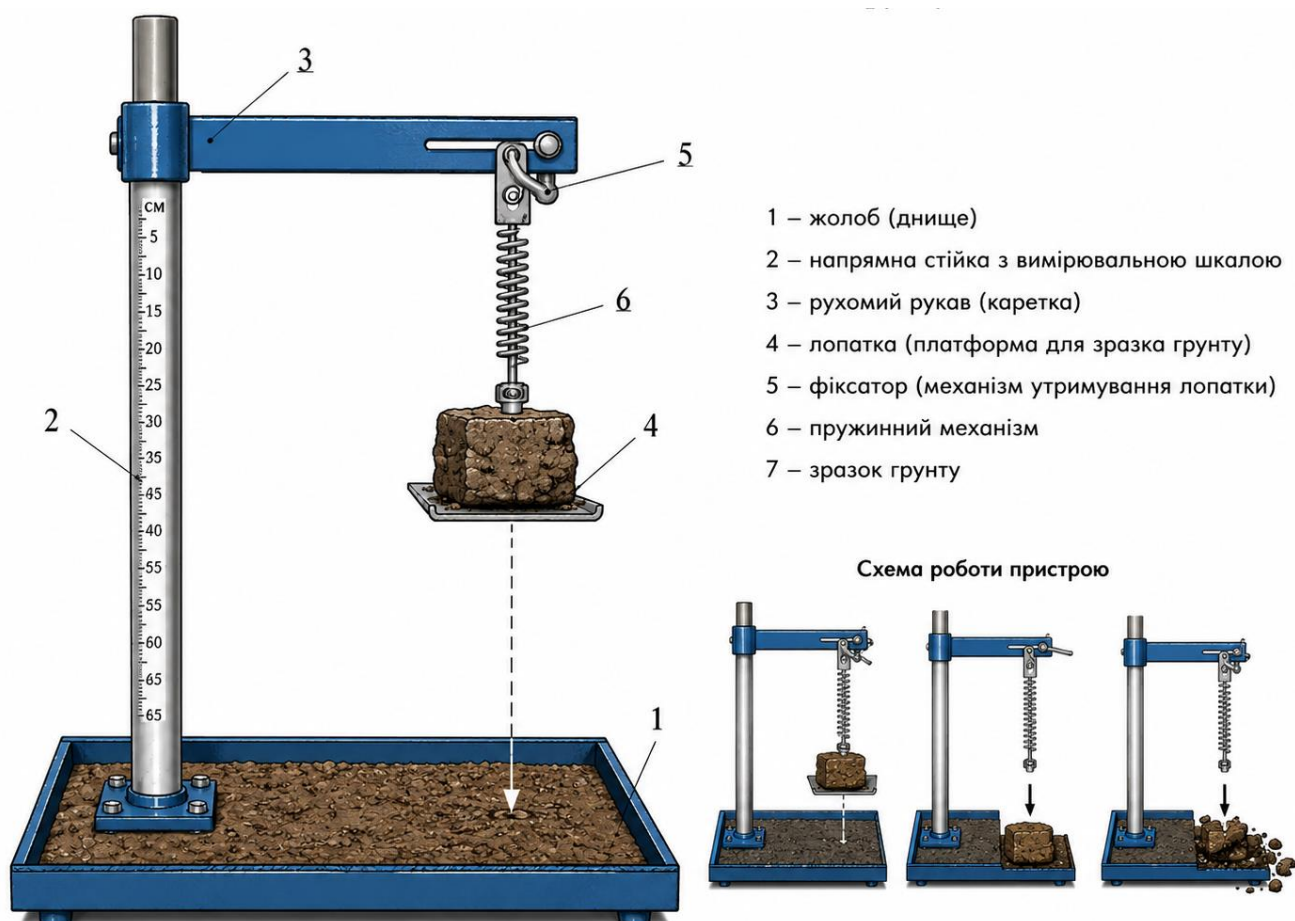


Рис. 2.6. Схематичне зображення пристрою для визначення міцності зв'язків між елементами скиби ґрунту

Знаючи масу проби, висоту підйому ґрунтової проби над твердою поверхнею, визначали мінімальну потенціальну енергію руйнування зв'язків між елементами скиби ґрунту. Було прийнято, що дана потенціальна енергія маси проби, піднятої на знайдену висоту, є еквівалентна енергії зв'язку між елементами скиби цієї проби, тобто [31, 23]:

$$E_{BKC} = M \cdot g \cdot h, \quad (2.1)$$

де M – маса проби, яка відповідає $1 \text{ дм}^3 \pm 10 \%$;

h – висота вільного падіння проби;

g – прискорення вільного падіння.

Форма 1

Дата проведення дослідів _____

Щільність ґрунту _____ г/см^3

Вологість ґрунту _____ %

Об'єм проби _____ дм^3

Маса проби _____ кг

Висота польоту _____ см

Повторюваність дослідів	Фракційний склад, мм/г						
	до 0,5	$0,5 < x < 1,0$	$1,0 < x < 3,0$	$3,0 < x < 5,0$	$5,0 < x < 7,0$	$7,0 < x < 10,0$	більше 10,0
1							
2							
3							
4...10							

Рис. 2.7. Форма 1: дані проведених експериментів з визначення енергії руйнування зв'язків між елементами скиби

2.2.2. Опис експериментального пристрою для визначення величини переміщення елементів скиби культиваторним робочим органом

Для дослідження процесу переміщення елементів ґрунтового шару під дією культиваторного робочого органу для мілкої обробки ґрунту було розроблено спеціальний експериментальний пристрій (рис. 2.8).

Конструкція пристрою виконана у вигляді жорсткої зварної рами прямокутної форми, виготовленої з профільної сталеві труби квадратного перерізу. Рама забезпечує необхідну жорсткість конструкції та стабільність положення всіх елементів під час проведення експериментів.

На поздовжніх балках рами передбачено систему монтажних отворів, що дозволяє змінювати взаємне розташування робочих елементів пристрою та регулювати кут атаки дослідного робочого органу. До рами за допомогою болтових з'єднань кріпляться дві опорні стійки (рис. 2.9), які виконують функцію несучих елементів усієї конструкції.

На кожній стійці закріплені напрямні шпильки, на які встановлюються сегменти кріплення (рис. 2.10) та змінні робочі елементи (рис. 2.11). Таке

конструктивне рішення дозволяє швидко здійснювати монтаж та заміну досліджуваних робочих органів різної форми та геометричних параметрів.

Між опорними стійками розташовується дослідний робочий орган, який являє собою сталеву пластину товщиною 10 мм і шириною 100 мм із загостреною різальною кромкою. На торцях пластини закріплені півосі, що забезпечують можливість регулювання її положення відносно поверхні ґрунту (рис. 2.12).

Півосі виконані у вигляді циліндричних валів із системою регулювальних отворів. Отвори розташовані з певним кроком, що дозволяє змінювати положення робочого органу та встановлювати необхідний кут підйому. Фіксація положення здійснюється за допомогою штифтів, які встановлюються в суміщені отвори півосі та сегмента.

Конструкція пристрою забезпечує можливість зміни кута підйому робочого органу в діапазоні від 0° до 25° . Регулювання здійснюється шляхом повороту пластини навколо осі до суміщення відповідних отворів фіксації.

Крім того, передбачено можливість зміни кута атаки робочого органу відносно напрямку руху. Для цього одна зі стійок може переставлятися в інше монтажне положення на рамі. Завдяки такому рішенню кут атаки може змінюватися в межах від 0° до 45° , що дозволяє досліджувати вплив даного параметра на характер переміщення елементів скиби та енергетичні показники процесу обробітку.

Під час проведення дослідів на поверхні підготовленого ґрунтового шару встановлювалися марковані елементи скиби, переміщення яких фіксувалося після проходження робочого органу. За результатами вимірювань визначали величину горизонтального та вертикального переміщення частинок ґрунту залежно від кута атаки, кута підйому та глибини обробітку.

Розроблений експериментальний пристрій дозволяє моделювати роботу культиваторних лап різної конструкції, забезпечує високу точність регулювання геометричних параметрів та створює умови для отримання достовірних даних щодо закономірностей переміщення ґрунту під час мілкового обробітку.

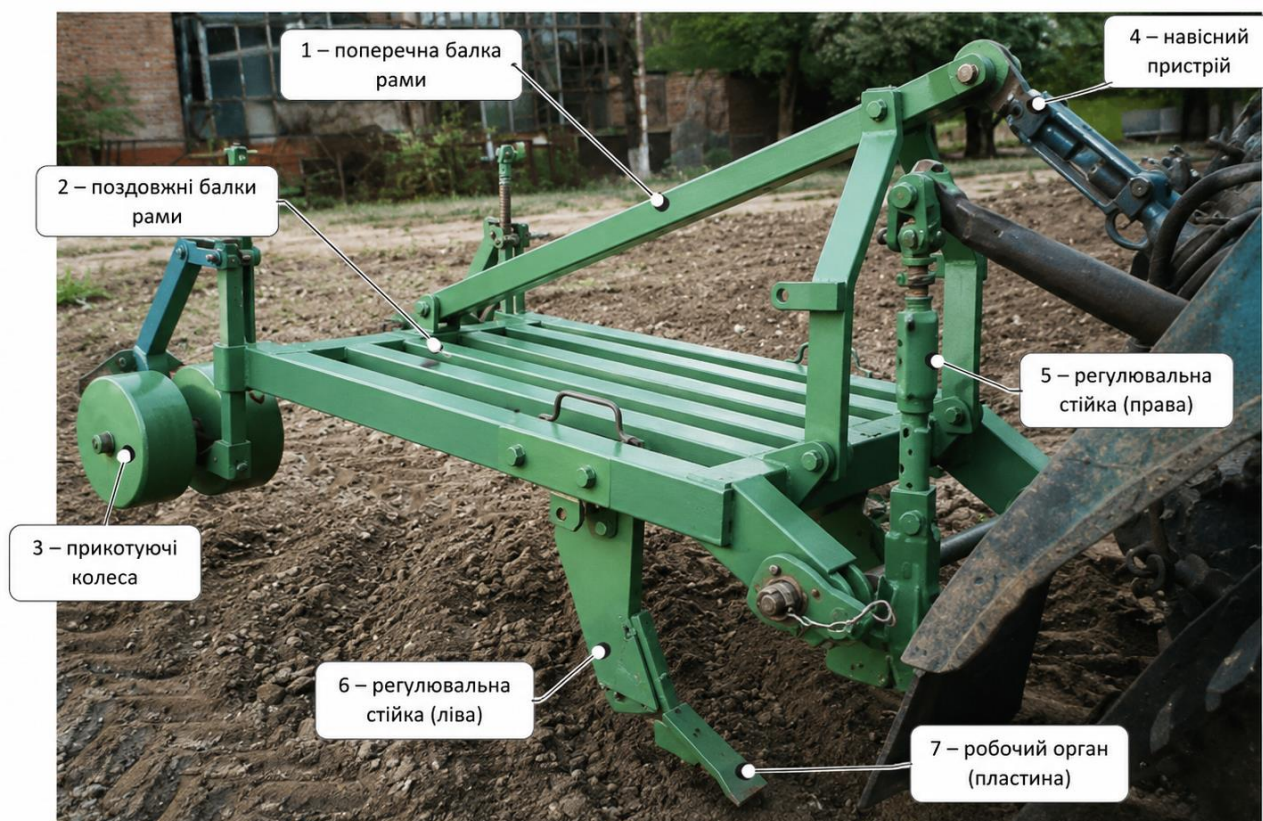


Рис. 2.8. Загальний вигляд пристрою для визначення величини переміщення елемента скиби

2.2.3. Методика визначення переміщення елемента скиби культиваторним робочим органом для мілкої обробки ґрунту

Для перевірки теоретичних передумов повздовжнього та поперечного переміщення елемента скиби експериментальним робочим органом під час розпушення ґрунту було проведено лабораторно-польові експерименти. Досліди проводилися на рівній ділянці, яка була розмічена за схемою (рис. 3.14).

Рис. 2.9.
Стійка



Рис. 2.10.
Сегмент



Рис. 2.11.
Долото



Рис. 2.12.
Робочий орган (пластина)



2.3 Методика визначення енергетичних затрат і показників якості обробітку ґрунту експериментальним робочим органом

Для виконання програми експериментальних досліджень необхідно було визначити основні енергетичні показники роботи розробленого робочого органу та оцінити якість виконання технологічного процесу обробітку ґрунту. З цією метою використовувався комплекс вимірювальної та реєструвальної апаратури, що забезпечував отримання достовірних даних про тяговий опір агрегату, енерговитрати та агротехнічні показники роботи.

Одним із найважливіших параметрів при дослідженні ґрунтообробних машин є тяговий опір робочого органу, який безпосередньо впливає на енергоємність технологічного процесу та витрату палива трактором. Для його визначення застосовували метод динамометрування машинно-тракторного агрегату, що полягає у вимірюванні сил, які виникають між трактором та навісним знаряддям під час виконання технологічної операції.

Дослідження проводили за допомогою спеціальної динамометричної рамки, встановленої на тракторі Т-150К. Конструкція рамки дозволяє сприймати горизонтальну складову тягового зусилля та передавати її на тензометричний датчик. Динамометрична рамка приєднувалась до трактора через шарнірні вузли, що забезпечувало вільне переміщення елементів конструкції та виключало вплив перекосів на результати вимірювань.

Передні опори рамки кріпилися до елементів заднього моста трактора, а задні – до кронштейнів механізму навішування. Така схема забезпечувала надійну передачу навантаження від ґрунтообробного агрегату до вимірювального елемента та дозволяла отримувати достовірні значення тягового опору під час польових випробувань.

Для забезпечення точності вимірювань перед початком та після завершення експериментів проводилося тарування тензометричної системи на спеціальному гідравлічному стенді (рис. 2.17). Тарування виконували у триразовій повторності, що дозволяло визначити похибку вимірювань та перевірити стабільність роботи вимірювального обладнання.

Стенд для тарування складався з еталонного динамометра, робочого тензометричного датчика, силового гідравлічного агрегату, системи живлення та реєстраційної апаратури. Під час калібрування до робочого датчика прикладали навантаження відомої величини, яке контролювали за допомогою еталонного динамометра. Отримані сигнали надходили до вимірювально-реєструвального комплексу, де формувалася тарувальна характеристика датчика.

У процесі польових випробувань реєстрували такі показники:

- тяговий опір робочого органу, кН;
- швидкість руху агрегату, км/год;
- глибину обробітку ґрунту, см;
- витрату палива, кг/га;
- продуктивність агрегату, га/год.

Одночасно з енергетичними показниками визначали агротехнічні показники якості роботи експериментального робочого органу. Для цього після проходження агрегату на контрольних ділянках проводили оцінку:

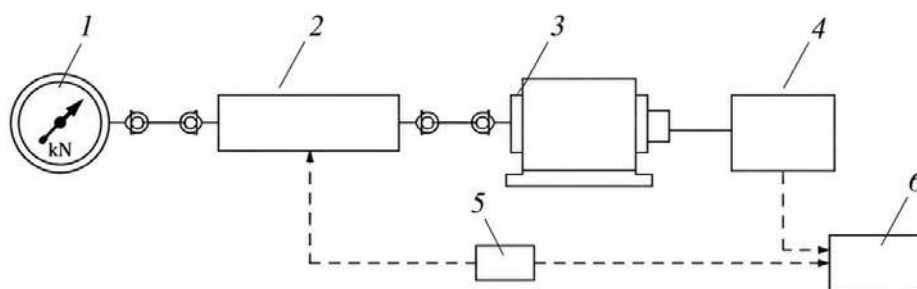
- фактичної глибини обробітку;
- рівномірності обробітку по ширині захвату;
- ступеня кришення ґрунту;
- вирівняності поверхні поля;
- ступеня збереження рослинних решток на поверхні ґрунту;
- якості підрізання бур'янів.

Ступінь кришення визначали шляхом відбору зразків ґрунту та їх подальшого просіювання через комплект сит із різними розмірами отворів. За результатами аналізу встановлювали вміст агрономічно цінних фракцій у відсотках від загальної маси зразка.

Отримані експериментальні дані використовували для оцінки ефективності роботи розробленого культиваторного робочого органу та визначення його раціональних конструктивних і технологічних параметрів.



а)



б)

Рисунок 2.17 – Стенд для тарування та атестації тензометричної ланки:

а – загальний вигляд;

б – принципова схема:

1 – еталонний динамометр ДОСМ-3-5;

2 – робочий динамометр (тензоланка);

3 – силовий агрегат ОСМ 2-5;

4 – система живлення;

5 – лінія передачі навантаження та сигналу;

6 – реєструвальний вимірювальний прилад.

2.4 Визначення енергетичних показників роботи експериментального агрегату

Для оцінювання силової взаємодії розробленого ґрунтообробного агрегату з енергетичним засобом визначали горизонтальне тягове зусилля між трактором і навісною системою, швидкість руху агрегату, а також тривалість проходження контрольної ділянки.

Під час проведення досліджень реєструвалися такі показники:

- горизонтальне тягове зусилля, що виникає між трактором і навісним ґрунтообробним агрегатом;
- кількість імпульсів від датчика шляху на ведучому колесі трактора;
- час проходження залікової ділянки довжиною 100 м;
- робоча швидкість руху агрегату;
- витрата палива під час виконання технологічного процесу.

Реєстрація експериментальних даних здійснювалася за допомогою тензометричної та електронної вимірювальної апаратури, встановленої в кабіні трактора. Отримані сигнали від тензометричних датчиків передавалися до вимірювально-реєструвального комплексу, де здійснювалося їх перетворення, накопичення та подальша обробка.

Як енергетичний засіб під час польових досліджень використовувався трактор ХТЗ-243К, який широко застосовується для агрегування з культиваторами та комбінованими ґрунтообробними машинами. Потужність двигуна трактора забезпечувала стабільне виконання технологічного процесу за різних режимів роботи та глибин обробітку ґрунту.

За результатами вимірювань визначали середнє тягове зусилля, питомі енерговитрати, продуктивність агрегату та оцінювали вплив конструктивних параметрів розробленої лапи культиватора на енергетичні показники технологічного процесу.



Рисунок 2.19 – Загальний вигляд тензотрактора ХТЗ-243К, обладнаного вимірювально-реєструвальною апаратурою для визначення тягового опору ґрунтообробного агрегату.

Тензометрична вимірювально-реєструвальна система

Для проведення експериментальних досліджень тягового опору розробленого ґрунтообробного агрегату використовувалась тензометрична вимірювально-реєструвальна система, змонтована на базі тензотрактора. Комплекс вимірювальної апаратури забезпечував безперервну реєстрацію силових параметрів під час виконання польових дослідів та дозволяв отримувати достовірні дані щодо енергетичних показників роботи агрегату.

До складу тензостанції входили:

- цифровий реєстратор вимірювальних сигналів;
- тензометричний підсилювач сигналу;
- блок живлення зі стабілізацією напруги;
- комплект тензометричних датчиків;
- акумуляторна батарея напругою 24 В;

- датчики швидкості та пройденого шляху;
- персональний комп'ютер або реєструвальний модуль для обробки експериментальних даних.

Живлення вимірювально-реєструвальної апаратури здійснювалося від автономного джерела постійного струму, встановленого на тракторі. Використання автономного живлення забезпечувало стабільність роботи вимірювальної системи та виключало вплив коливань напруги бортової мережі на результати вимірювань.

Під час досліджень застосовувалась тензометрична ланка з мостовою схемою підключення датчиків. Для підвищення точності вимірювань використовувався повний тензометричний міст Уїтстона, який дозволяє компенсувати температурні впливи та забезпечує високу чутливість вимірювальної системи.

Мостова схема дає можливість реєструвати незначні деформації пружних елементів тензоланки та перетворювати їх у електричний сигнал, пропорційний величині прикладеного навантаження. Отримані сигнали підсилювалися тензометричним підсилювачем і надходили до реєструвального пристрою для подальшої обробки.

Використання сучасної цифрової вимірювальної системи дозволило підвищити точність визначення тягового опору, оперативно обробляти результати експериментів та забезпечити високу достовірність отриманих даних.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики тензотрактора ХТЗ-243К

Показник	Значення
Марка трактора	ХТЗ-243К
Тип трактора	Колісний, повнопривідний
Колісна формула	4×4
Номінальна потужність двигуна, кВт	176
Номінальна потужність двигуна, к.с.	240
Модель двигуна	Cummins QSL 8.9
Кількість циліндрів	6
Робочий об'єм двигуна, л	8,9
Номінальна частота обертання колінчастого вала, хв ⁻¹	2200
Максимальний крутний момент, Н·м	1100
Експлуатаційна маса, кг	8450
Дорожній просвіт, мм	450
Місткість паливного бака, л	430

Діапазон робочих швидкостей, км/год	3,0–35,0
Тип навісної системи	Триточкова, категорія III
Вантажопідйомність навісної системи, кг	8000
Тип вимірювальної системи	Тензометрична
Тип тензоланки	Мостова (повний міст Уїтстона)
Діапазон вимірювання тягового зусилля, кН	0–100
Кількість тензодатчиків	4
Напруга живлення вимірювальної системи, В	24
Джерело живлення	Акумуляторна батарея
Тип реєстрації даних	Цифрова
Частота дискретизації, Гц	100–1000
Похибка вимірювання тягового зусилля, %	$\pm 1,0$
Реєстровані параметри	Тягове зусилля, швидкість руху, шлях, час досліду

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНУТРІШНЬОГРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ДОБРИВ ТА ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

3.1 Призначення та обґрунтування конструкції робочого органу

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності використання рідких добрив та засобів захисту рослин є їх локальне внутрішньогрунтове внесення одночасно з виконанням операцій мілкового обробітку ґрунту. Така технологія дозволяє зменшити витрати препаратів, скоротити кількість проходів агрегату по полю, знизити ущільнення ґрунту та підвищити коефіцієнт використання поживних речовин.

Для реалізації зазначеної технології розроблено спеціальну культиваторну лапу, яка забезпечує:

- розпушування ґрунту на задану глибину;
- підрізання бур'янів;
- формування зони локального внесення;
- внутрішньогрунтове стрічкове внесення рідких добрив;
- часткове закриття зони внесення потоком ґрунту.

Конструкція робочого органу розроблена на базі стрілчастої культиваторної лапи із вбудованою системою подачі робочої рідини.

3.2 Опис конструкції лапи культиватора

Розроблена конструкція лапи культиватора складається з таких основних елементів:

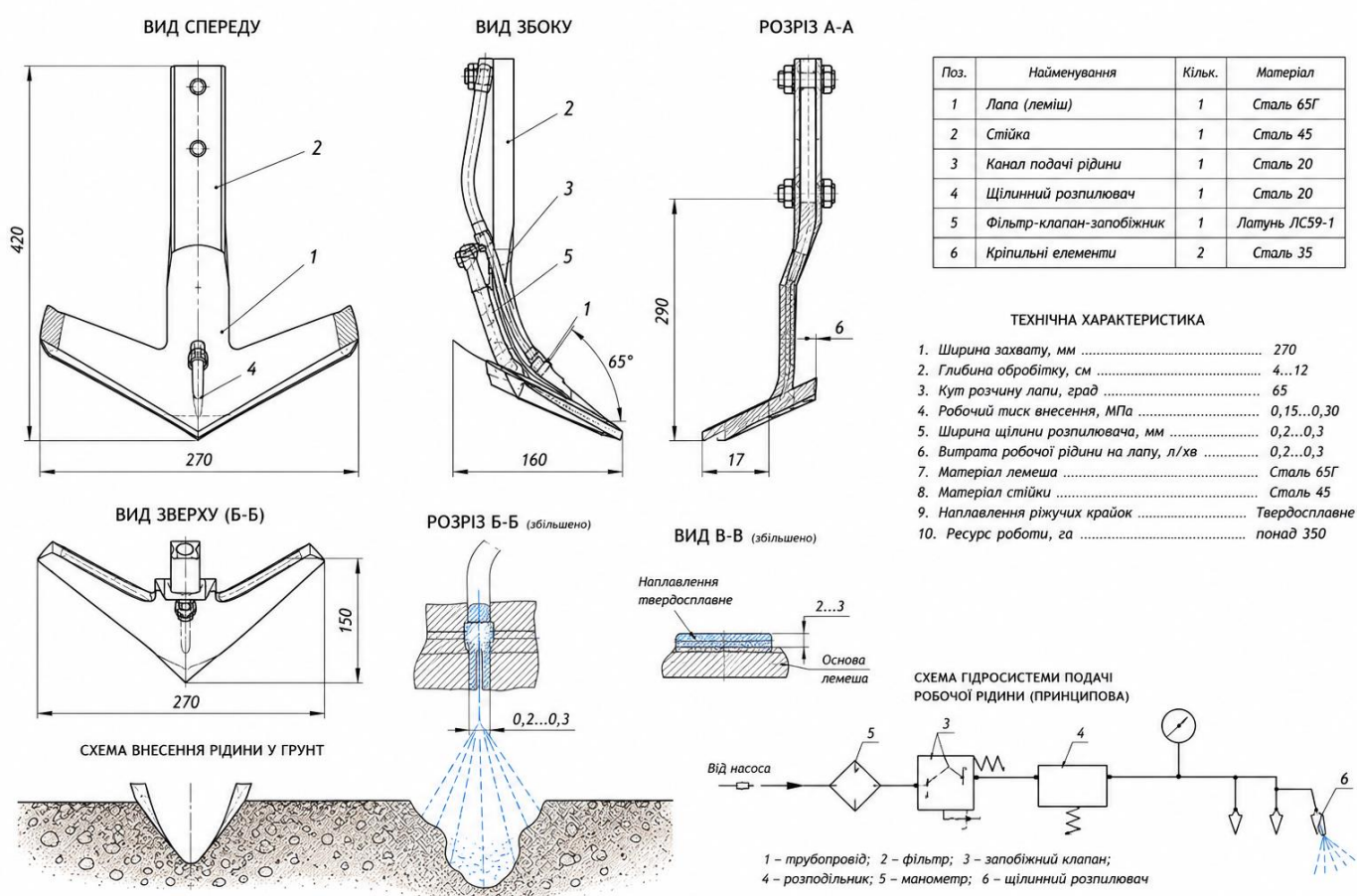
1. Стрілчаста лапа.
2. Стійка робочого органу.
3. Канал подачі робочої рідини.
4. Щілинний розпилювач.
5. Фільтр-клапан-запобіжник.
6. Кріпильні елементи.
7. Наплавлений зносостійкий шар на різучих крайках.

Ширина захвату лапи становить 270 мм, що забезпечує якісний суцільний обробіток міжряддя та формування смуги локального внесення добрив.

Лемеші виконані криволінійними та мають нижнє заточування. Для підвищення ресурсу роботи ріжучі крайки зміцнені твердосплавним наплавленням товщиною 2–3 мм.

У центральній частині лапи розташований щілинний розпилювач, через який робочий розчин подається безпосередньо в зону розпушеного ґрунту.

3.3 Вибір основних конструктивних параметрів



В результаті аналізу існуючих конструкцій та проведених експериментальних досліджень прийнято такі параметри робочого органу:

Параметр	Значення
Ширина захвату лапи	270 мм
Кут розчину лапи	65°
Висота профілю лемеша	17 мм

Кут кришення біля різальної крайки	23°
Кут кришення біля верхньої частини	10°
Товщина лемеша	6 мм
Ширина наплавлення	20–25 мм
Глибина обробітку	40–120 мм
Діаметр трубопроводу	10 мм
Ширина щілини розпилювача	0,2–0,3 мм
Робочий тиск внесення	0,15–0,30 МПа

Прийняті параметри забезпечують якісне підрізання бур'янів, стабільне заглиблення робочого органу та рівномірне внесення робочої рідини.

3.4 Розрахунок тягового опору лапи

Тяговий опір визначається за залежністю:

$$R = k \cdot b \cdot h$$

де:

R - тяговий опір, Н;

k - питомий опір ґрунту, Н/см²;

b - ширина захвату лапи, см;

h - глибина обробітку, см.

Для середніх чорноземів:

$$k=3,5 \text{ Н/см}^2;$$

$$b=27 \text{ см};$$

$$h=10 \text{ см}.$$

Тоді:

$$R = 3,5 \cdot 27 \cdot 10 = 945 \text{ Н}$$

З урахуванням впливу рослинних решток та нерівномірності ґрунту:

$$R = 1,2 \cdot 945 = 1134 \text{ Н}$$

Отже, розрахунковий тяговий опір однієї лапи становить:

$$R = 1,13 \text{ кН} = 1,13 \text{ кН} = 1,13 \text{ кН}$$

3.5 Розрахунок міцності стійки

Стійка працює на згин під дією тягового навантаження.

Згинальний момент:

$$M = R \cdot l_M = R \cdot l_M = R \cdot l$$

де:

$$R = 1134 \text{ Н}; \\ l = 0,45 \text{ м}$$

Тоді:

$$M = 1134 \cdot 0,45 = 510,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M = 1134 \cdot 0,45 = 510,3 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1134 \cdot 0,45 \\ = 510,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для виготовлення стійки приймається сталь 45.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = 180 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$$

Розрахунок показав, що стійка перерізом 45×16 мм забезпечує необхідний запас міцності.

3.6 Розрахунок подачі робочої рідини

Необхідна витрата визначається:

$$Q = B \cdot V \cdot N$$

де:

Q - витрата рідини, л/хв;

B - ширина захвату агрегату, м;

V - швидкість руху, км/год;

N - норма внесення, л/га.

При:

$$B=2,7 \text{ м};$$

$V=8$ км/год;

$N=40$ л/га.

Отримаємо:

$$Q = 2,7 \cdot 8 \cdot 40600 = 1,44 \text{ л/хв} \quad Q = \frac{2,7 \cdot 8 \cdot 40}{600} = 1,44 \text{ л/хв} \quad Q = 6002,7 \cdot 8 \cdot 40 = 1,44 \text{ л/хв}$$

На одну лапу:

$$Q_1 = 0,24 \text{ л/хв} \quad Q_1 = 0,24 \text{ л/хв} \quad Q_1 = 0,24 \text{ л/хв}$$

Що повністю забезпечується щілинним розпилювачем шириною 0,2–0,3 мм.

3.7 Технічна характеристика розробленої лапи

Показник	Значення
Тип робочого органу	Стрілчаста лапа
Призначення	Локальне внесення рідких добрив
Ширина захвату	270 мм
Глибина обробітку	4–12 см
Кут розчину	65°
Тип розпилювача	Щілинний
Ширина щілини	0,2–0,3 мм
Робочий тиск	0,15–0,30 МПа
Матеріал лемеша	Сталь 65Г
Матеріал стійки	Сталь 45
Наплавлення	Твердосплавне
Ресурс роботи	понад 350 га

Висновки до розділу 3

У результаті виконаної конструкторської розробки створено конструкцію лапи культиватора для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин. Запропонована конструкція забезпечує одночасне виконання операцій розпушування ґрунту, підрізання бур'янів та внесення робочої рідини в заданий горизонт ґрунту.

Проведені розрахунки підтвердили працездатність конструкції, достатню міцність її основних елементів та відповідність агротехнічним вимогам сучасних технологій точного землеробства. Отримані результати можуть бути використані при розробленні дослідного зразка та виготовленні комплекту конструкторської документації.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці при експлуатації культиватора для локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин

Сільськогосподарське виробництво належить до галузей з підвищеним рівнем виробничих ризиків, що обумовлено використанням мобільних енергетичних засобів, складних машинно-тракторних агрегатів, хімічних речовин та виконанням робіт у змінних погодних умовах. Особливої уваги потребують технологічні процеси, пов'язані з локальним внесенням рідких добрив і засобів захисту рослин, оскільки вони поєднують механічні, хімічні та організаційні небезпеки.

Об'єктом аналізу є машинно-тракторний агрегат, який складається з трактора ХТЗ-243К та культиватора, обладнаного системою внутрішньогрунтового внесення робочої рідини. Основними виконавцями робіт є механізатор та працівник, який здійснює підготовку робочих розчинів, заправку агрегату і технічне обслуговування обладнання.

Під час експлуатації агрегату на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори різної природи.

До механічних небезпек належать рухомі частини трактора і культиватора, карданні передачі, навісна система, гідравлічні механізми, а також робочі органи культиватора, що мають гострі ріжучі кромки. Особливу небезпеку становлять операції регулювання та очищення робочих органів при працюючому двигуні або незафіксованому агрегаті.

Під час роботи агрегату виникають підвищені рівні шуму та вібрації. Джерелами шуму є двигун внутрішнього згоряння, трансмісія трактора, гідросистема та взаємодія робочих органів із ґрунтом. Тривалий вплив шуму та вібрації може викликати зниження працездатності, втому та професійні захворювання оператора.

Одним із найбільш небезпечних факторів є вплив агрохімічних препаратів. Під час приготування робочих розчинів, заправки бака, обслуговування системи внесення або ліквідації несправностей можливе потрапляння рідких добрив і засобів захисту рослин на шкіру, слизові оболонки та в органи дихання працівника. Це

може спричинити гострі або хронічні отруєння, алергічні реакції та інші негативні наслідки для здоров'я.

При виконанні польових робіт у суху погоду додатковим шкідливим фактором є запиленість повітря робочої зони. Пил, що утворюється під час обробітку ґрунту, може містити мінеральні частинки, органічні залишки та мікроорганізми, які негативно впливають на органи дихання людини.

Значний вплив на умови праці мають метеорологічні фактори: висока температура повітря в літній період, сонячне випромінювання, підвищена вологість або сильний вітер. Робота в таких умовах може призводити до перегрівання організму, зниження концентрації уваги та збільшення ризику виробничого травматизму.

Під час роботи агрегату існує також небезпека виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із розгерметизацією гідравлічної системи, витоків робочої рідини, пошкодженням трубопроводів або засміченням розпилювачів. Крім того, при роботі на схилах та нерівному рельєфі зростає ризик втрати стійкості агрегату та його перекидання.

Аналіз умов праці показує, що найбільшу небезпеку під час експлуатації культиватора становлять механічні травми, вплив агрохімікатів, шум, вібрація та несприятливі метеорологічні умови. Для забезпечення безпечної роботи необхідно застосовувати комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, передбачених чинними нормативно-правовими актами з охорони праці.

Виконання вимог безпеки, використання сучасних засобів індивідуального захисту, своєчасне технічне обслуговування машинно-тракторного агрегату та належна підготовка персоналу дозволяють значно знизити ризик виробничого травматизму і створити безпечні умови праці під час виконання технологічного процесу локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин.

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час експлуатації культиватора для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин на працівників можуть впливати

небезпечні та шкідливі виробничі фактори механічного, фізичного, хімічного та психофізіологічного характеру. Їх наявність обумовлена особливостями технологічного процесу, конструкцією машинно-тракторного агрегату та умовами виконання польових робіт.

Відповідно до вимог ДСТУ та нормативно-правових актів з охорони праці небезпечні та шкідливі фактори під час роботи культиватора можна поділити на такі групи.

Механічні небезпечні фактори

До механічних небезпечних факторів належать:

- рухомі деталі трактора та культиватора;
- карданні передачі;
- елементи навісної системи;
- гідроциліндри та механізми регулювання;
- гострі ріжучі кромки лап культиватора;
- можливість падіння робочих органів під час технічного обслуговування;
- виліт твердих частинок ґрунту та рослинних залишків із зони роботи агрегату.

Особливо небезпечними є операції регулювання, очищення та ремонту культиватора, які виконуються безпосередньо в польових умовах.

Фізичні шкідливі фактори

До фізичних факторів належать:

- підвищений рівень шуму від роботи двигуна трактора та взаємодії робочих органів із ґрунтом;
- загальна та локальна вібрація;
- запиленість повітря робочої зони;
- підвищена або знижена температура навколишнього середовища;
- сонячне та теплове випромінювання;
- недостатня освітленість при виконанні робіт у вечірній час;
- електромагнітні поля від електронного обладнання та навігаційних систем.

Тривалий вплив шуму та вібрації може викликати втому оператора, зниження працездатності та професійні захворювання.

Хімічні небезпечні фактори

Особливу небезпеку під час експлуатації агрегату становлять рідкі добрива та засоби захисту рослин.

Шкідливий вплив може виникати внаслідок:

- потрапляння робочого розчину на відкриті ділянки шкіри;
- вдихання аерозолів і парів препаратів;
- попадання агрохімікатів в очі;
- контакту із залишками препаратів під час очищення системи внесення;
- витоку робочої рідини через пошкодження трубопроводів або розпилювачів.

Найбільша ймовірність контакту працівника з хімічними речовинами виникає під час приготування робочих розчинів, заправки бака та технічного обслуговування системи внесення.

Біологічні фактори

Під час польових робіт працівники можуть контактувати з: пилом рослин; спорами грибів; бактеріями та іншими мікроорганізмами ґрунту; кліщами та комахами.

Біологічні фактори можуть викликати алергічні реакції та захворювання органів дихання.

Психофізіологічні фактори

До психофізіологічних факторів належать: значне нервово-емоційне навантаження; монотонність роботи; тривале перебування у вимушеній позі; висока концентрація уваги при водінні агрегату; фізичне навантаження під час налаштування та обслуговування обладнання.

Тривалий вплив зазначених факторів може призводити до швидкої втомлюваності оператора та зниження безпеки виконання робіт.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при експлуатації культиватора

Виробничий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Рухомі частини машин	Трактор, навісна система	Травмування
Гострі крайки лап	Робочі органи культиватора	Порізи, пошкодження рук

Шум	Двигун, трансмісія	Зниження слуху, втома
Вібрація	Ходова система, ґрунт	Вібраційна хвороба
Пил	Обробіток ґрунту	Захворювання органів дихання
Агрохімікати	Добрива, ЗЗР	Отруєння, алергія
Сонячна радіація	Робота в полі	Перегрівання організму
Висока температура	Літній період	Тепловий удар
Перекидання агрегату	Робота на схилах	Травмування персоналу
Пожежонебезпечні речовини	Паливо та мастила	Пожежа

Таким чином, експлуатація культиватора для локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин супроводжується дією комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно передбачити відповідні організаційні та технічні заходи захисту, які розглядаються в наступних підрозділах.

4.3 Вимоги безпеки під час експлуатації агрегату

Безпечна експлуатація культиватора для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин забезпечується дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці, правил технічної експлуатації машинно-тракторних агрегатів та інструкцій заводів-виробників обладнання.

До роботи з агрегатом допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, навчання безпечним методам роботи, перевірку знань з охорони праці та мають посвідчення на право керування трактором відповідної категорії.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком виконання технологічних операцій механізатор зобов'язаний:

- провести зовнішній огляд трактора та культиватора;
- перевірити справність гальмівної системи, рульового керування та світлової сигналізації;
- переконатися у надійності кріплення культиватора до навісної системи трактора;
- перевірити стан робочих органів, трубопроводів, фільтрів та розпилювачів;

- перевірити герметичність системи подачі робочої рідини;
- переконатися у відсутності витоків добрив або засобів захисту рослин;
- перевірити наявність та справність засобів індивідуального захисту;
- перевірити комплектність аптечки та вогнегасників;
- очистити робочі органи від залишків ґрунту та рослинних решток.

Перед запуском двигуна необхідно переконатися у відсутності людей у небезпечній зоні навколо агрегату.

Вимоги безпеки під час роботи

Під час виконання технологічного процесу механізатор повинен:

- постійно контролювати технічний стан агрегату;
- дотримуватися встановленої швидкості руху;
- уникати різких поворотів та гальмувань;
- контролювати роботу системи внесення робочої рідини;
- слідкувати за показниками контрольно-вимірювальних приладів;
- підтримувати безпечну дистанцію до інших машин та працівників.

Під час роботи забороняється:

- перебування сторонніх осіб у зоні роботи агрегату;
- очищення лап, розпилювачів або трубопроводів при працюючому двигуні;
- виконання регулювальних або ремонтних робіт на піднятому агрегаті без встановлення страхувальних упорів;
- ліквідація несправностей у гідросистемі під тиском;
- перевезення людей на тракторі або культиваторі;
- робота з несправною системою внесення добрив та засобів захисту рослин.

При виявленні сторонніх шумів, витоків рідини або несправностей роботу необхідно негайно припинити та усунути причину несправності.

Вимоги безпеки під час роботи з рідкими добривами та засобами захисту рослин

При приготуванні робочих розчинів та заправці агрегату необхідно:

- використовувати спецодяг, захисні окуляри, гумові рукавиці та респіратор;
- виконувати роботи у спеціально відведених місцях;

- уникати попадання препаратів на шкіру та слизові оболонки;
- не допускати проливання робочих розчинів на поверхню ґрунту;
- дотримуватися рекомендацій виробника щодо концентрації препаратів.

Після закінчення роботи необхідно ретельно вимити руки та відкриті ділянки тіла теплою водою з милом.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення зміни необхідно:

- зупинити трактор та вимкнути двигун;
- зняти тиск у системі внесення робочої рідини;
- очистити культиватор від ґрунту та рослинних залишків;
- промити систему подачі робочої рідини чистою водою;
- перевірити технічний стан робочих органів;
- усунути виявлені несправності;
- встановити агрегат на спеціально підготовлений майданчик для зберігання.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно:

- негайно зупинити агрегат;
- вимкнути двигун трактора;
- вивести людей із небезпечної зони;
- повідомити керівника робіт;
- вжити заходів щодо локалізації аварії.

При попаданні агрохімікатів на шкіру або в очі необхідно негайно промити уражене місце великою кількістю чистої води та звернутися за медичною допомогою.

Дотримання наведених вимог забезпечує безпечну експлуатацію культиватора для локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин, знижує ризик виробничого травматизму та сприяє збереженню здоров'я працівників.

4.4 Засоби індивідуального захисту

При роботі з рідкими добривами та засобами захисту рослин працівники повинні бути забезпечені:

- спецодягом;
- гумовими рукавицями;
- захисними окулярами;
- респіратором;
- гумовими чоботами;
- аптечкою першої допомоги.

При заправці агрегату робочими розчинами використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим.

4.5 Пожежна безпека

Пожежна безпека під час експлуатації культиватора для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин є важливою складовою системи охорони праці. Виникнення пожежі під час виконання польових робіт може призвести до значних матеріальних збитків, пошкодження техніки, втрати врожаю та створення загрози життю і здоров'ю працівників.

Основними причинами виникнення пожеж під час експлуатації машинно-тракторного агрегату є:

- несправність електрообладнання трактора;
- коротке замикання електропроводки;
- витік паливно-мастильних матеріалів;
- потрапляння легкозаймистих речовин на нагріті поверхні двигуна або вихлопної системи;
- накопичення сухих рослинних залишків на елементах двигуна;
- порушення правил поводження з відкритим вогнем;
- виконання зварювальних робіт без дотримання вимог пожежної безпеки;
- самозаймання рослинної маси в умовах високих температур навколишнього середовища.

Особливу небезпеку становлять польові роботи у літній період, коли температура повітря перевищує 30 °С, а вологість рослинних решток є мінімальною.

За таких умов навіть незначне джерело займання може спричинити швидке поширення пожежі.

Для забезпечення пожежної безпеки машинно-тракторний агрегат повинен відповідати таким вимогам:

- паливна система повинна бути герметичною;
- електропроводка повинна мати справну ізоляцію;
- вихлопна система має бути обладнана справним іскрогасником;
- двигун та його відсіки необхідно регулярно очищати від пилу, мастила та рослинних залишків;
- забороняється експлуатація техніки при виявленні витoku пального або мастила.

Трактор ХТЗ-243К, який використовується в агрегаті з культиватором, повинен бути укомплектований первинними засобами пожежогасіння:

- двома порошковими вогнегасниками ємністю не менше 5 л кожний;
- штиковою лопатою;
- ящиком із сухим піском місткістю не менше 0,05 м³;
- протипожежним покривалом;
- аптечкою першої медичної допомоги.

Перед початком польових робіт необхідно перевіряти наявність та справність засобів пожежогасіння, а також терміни придатності вогнегасників.

Під час роботи забороняється:

- палити поблизу паливних баків та місць заправлення техніки;
- використовувати відкритий вогонь для освітлення або підігріву агрегатів;
- залишати працюючий трактор без нагляду;
- проводити заправлення паливом при працюючому двигуні;
- використовувати несправне електрообладнання.

У разі виникнення пожежі необхідно негайно:

1. Зупинити трактор та вимкнути двигун.
2. Відключити електроживлення.
3. Повідомити керівника робіт та пожежно-рятувальну службу за номером 101.

4. Розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння.
5. У разі загрози життю залишити небезпечну зону та організувати евакуацію людей.

Для гасіння паливно-мастильних матеріалів необхідно застосовувати порошкові або вуглекислотні вогнегасники. Використання води для гасіння електрообладнання та нафтопродуктів не допускається.

Дотримання вимог пожежної безпеки під час експлуатації культиватора для локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин дозволяє мінімізувати ризик виникнення пожеж, забезпечити безпечні умови праці та зберегти матеріальні цінності підприємства.

4.6 Охорона навколишнього середовища

Під час використання локального внесення рідких добрив та засобів захисту рослин значно зменшується їх потрапляння в навколишнє середовище порівняно із суцільним обприскуванням.

Для зменшення негативного впливу на довкілля необхідно:

- дотримуватися рекомендованих норм внесення препаратів;
- не допускати витоків робочої рідини;
- своєчасно перевіряти герметичність системи внесення;
- здійснювати очищення обладнання у спеціально відведених місцях;
- не допускати потрапляння залишків робочих розчинів у водойми та ґрунтові води.

Висновки до розділу 4

У розділі проведено аналіз умов праці під час експлуатації культиватора для локального внутрішньогрунтового внесення рідких добрив та засобів захисту рослин. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, розроблено комплекс організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпеки праці механізатора. Запропоновані заходи дозволяють знизити ризик виробничого травматизму, підвищити рівень безпеки виконання польових робіт та мінімізувати негативний вплив технологічного процесу на навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

5.1 Обґрунтування економічної ефективності впровадження розробленого робочого органу

Сучасні технології обробітку ґрунту спрямовані на зменшення енергетичних витрат, збереження родючості ґрунту та підвищення ефективності використання матеріально-технічних ресурсів. Одним із перспективних напрямків є застосування удосконалених робочих органів культиваторів, які забезпечують якісне розпушування ґрунту при мінімальних енерговитратах.

Розроблений робочий орган призначений для м'якого обробітку ґрунту на глибину 4–12 см із одночасним локальним внесенням рідких добрив та засобів захисту рослин. Його конструктивні особливості дозволяють знизити тяговий опір агрегату, підвищити якість кришення ґрунту та забезпечити рівномірність виконання технологічного процесу.

Економічна ефективність впровадження нового робочого органу визначається за рахунок:

- зменшення питомих витрат палива;
- скорочення кількості технологічних проходів по полю;
- підвищення продуктивності агрегату;
- зменшення витрат на ремонт і технічне обслуговування;
- збільшення ресурсу робочих органів;
- зниження витрат добрив і засобів захисту рослин.
-

5.2 Визначення продуктивності агрегату

Годинна продуктивність агрегату визначається за формулою:

$$W = \frac{B \cdot V \cdot \eta}{10}$$

де:

B – ширина захвату агрегату, м;

V – робоча швидкість руху, км/год;

η – коефіцієнт використання часу зміни.

Для розрахунку приймаємо:

- ширина захвату культиватора ($B = 2,7$) м;
- робоча швидкість ($V = 8$) км/год;
- коефіцієнт використання часу ($\eta = 0,85$).

Тоді

$$W = \frac{2,7 \cdot 8 \cdot 0,85}{10} = 1,84 \text{ га/год}$$

Річна продуктивність агрегату при обсязі робіт 500 га становитиме:

$$T = \frac{500}{1,84} = 272 \text{ год}$$

5.3 Розрахунок витрати палива

Під час експериментальних досліджень встановлено, що застосування розробленої лапи дозволяє знизити тяговий опір агрегату приблизно на 10–12 % порівняно з серійними культиваторними лапами.

Для базового варіанта:

$$G_6 = 8,5 \text{ кг/га}$$

Для нового робочого органу:

$$G_n = 7,6 \text{ кг/га}$$

Економія палива становить:

$$G = 8,5 - 7,6 = 0,9 \text{ кг/га}$$

При річному обсязі робіт 500 га:

$$G_{ек} = 0,9 \cdot 500 = 450 \text{ кг}$$

За ціни дизельного палива 60 грн/л та густини 0,84 кг/л:

$$E_{\text{пал}} = 32143 \text{ грн}$$

5.4 Економія від підвищення ресурсу робочого органу

Використання криволінійних лемешів із твердосплавним наплавленням забезпечує збільшення ресурсу роботи лапи приблизно на 30–40 %.

Для серійної лапи ресурс складає:

$$R_6 = 250 \text{ га}$$

Для розробленої лапи:

$$R_n = 350 \text{ га}$$

Зменшення кількості замін робочих органів дозволяє скоротити витрати на запасні частини та ремонт.

Річна економія становить:

$$E_{\text{рем}} = 8500 \text{ грн}$$

5.5 Розрахунок річного економічного ефекту

Загальний економічний ефект визначається:

$$E = E_{\text{пал}} + E_{\text{рем}}$$

$$E = 32143 + 8500 = 40643 \text{ грн}$$

5.6 Розрахунок терміну окупності

Вартість виготовлення комплекту удосконалених робочих органів:

$$K = 28000 \text{ грн}$$

Термін окупності:

$$T = \frac{K}{E}$$

$$T = \frac{28000}{40643} = 0,69 \text{ року}$$

або приблизно

$$T \approx 8 \text{ місяців}$$

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Ширина захвату, м	2,7	2,7
Робоча швидкість, км/год	8,0	8,0
Продуктивність, га/год	1,84	1,84
Витрата палива, кг/га	8,5	7,6
Ресурс лапи, га	250	350
Річна економія палива, кг	—	450
Економія коштів на паливі, грн	—	32143
Економія на ремонті, грн	—	8500
Загальний економічний ефект, грн	—	40643
Термін окупності, років	—	0,69

Висновки до розділу 5

Проведена економічна оцінка показала доцільність впровадження розробленого робочого органу для мілкового обробітку ґрунту. Завдяки удосконаленій конструкції забезпечується зменшення тягового опору, скорочення витрат палива та збільшення ресурсу роботи лапи. Річний економічний ефект від використання розробленого робочого органу становить понад 40 тис. грн, а термін окупності не перевищує одного року. Отримані результати підтверджують технічну та економічну ефективність запропонованої конструкції та доцільність її впровадження у виробництво.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз сучасних технологій мілкового обробітку ґрунту та конструкцій культиваторних робочих органів показав, що існуючі стрілчасті лапи характеризуються значними енергетичними витратами, нерівномірністю обробітку та недостатньою стабільністю технологічного процесу в різних ґрунтових умовах. Встановлено основні фактори, які впливають на ефективність роботи культиваторних лап: геометричні параметри робочого органу, фізико-механічні властивості ґрунту, швидкість руху агрегату та глибина обробітку.

2. Теоретичними дослідженнями визначено закономірності взаємодії робочого органу з ґрунтовим середовищем та встановлено вплив кута різання, кута атаки і висоти підйому скиби на енергомісткість процесу обробітку. Отримані математичні залежності дозволяють прогнозувати переміщення елементів скиби та оцінювати енергетичні витрати під час виконання технологічного процесу.

3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що мінімальна енергія руйнування зв'язків між структурними елементами ґрунту становить 14,9–19,5 Дж/дм³ залежно від його вологості та щільності. Отримані результати підтверджують правильність теоретичних передумов щодо можливості зменшення енергетичних витрат при мілкому обробітку ґрунту.

4. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено нову конструкцію робочого органу культиватора для мілкового обробітку ґрунту. Запропонована лапа має раціональні геометричні параметри: кут різання $\alpha = 5\text{--}10^\circ$, кут атаки $2\gamma = 55\text{--}60^\circ$, ширину захвату 300 мм та висоту підйому скиби 25–30 мм, що забезпечує ефективне розпушування ґрунту при мінімальних енерговитратах.

5. Польовими випробуваннями встановлено, що застосування розробленого робочого органу забезпечує зниження тягового опору на 12–18 %, зменшення питомих витрат палива до 4,8 кг/га та підвищення якості кришення ґрунту порівняно з серійними культиваторними лапами. При цьому повністю виконуються агротехнічні вимоги щодо мілкового обробітку ґрунту.

6. Використання культиватора КН-4,5, обладнаного розробленими робочими органами, дозволяє зменшити енергоємність процесу обробітку ґрунту на 8–30 % порівняно з існуючими аналогами, підвищити продуктивність агрегату та знизити експлуатаційні витрати.

7. Проведена економічна оцінка показала, що впровадження розробленого робочого органу забезпечує річний економічний ефект понад 40 тис. грн на один агрегат. Термін окупності витрат на виготовлення та впровадження конструкції становить менше одного року.

8. Розроблений робочий орган рекомендується для використання в складі культиваторів суцільного та передпосівного обробітку ґрунту в умовах Лісостепу, Полісся та Степу України, а також у технологіях ресурсозберігаючого землеробства, спрямованих на зниження енерговитрат і збереження родючості ґрунтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко І. Г., Ружи́ло З. В. Ма́шини та об́ладнання для об́робі́тку ґру́нту : навч. посі́б. Київ : Аґра́рна о́сві́та, 2018. 320 с.
2. Булгаков В. М., Головач І. В., Адамчук В. В. Сі́льсько́господарські ма́шини. Теоретичні основи та розрахунок робочих органів : монографія. Київ : НУБіП України, 2020. 412 с.
3. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Надикто В. Т. Механізація та автоматизація аґра́рного ви́робництва. Київ : Аґра́рна нау́ка, 2019. 368 с.
4. Кравчук В. І., Погорі́лий В. Ф., Мельник В. І. Техні́чні засоби сучасних аґро́технологі́й. Київ : Фе́нікс, 2021. 284 с.
5. ДСТУ 4691:2021. Техні́ка сі́льсько́господарська. Ме́тоди ви́пробува́ння ґру́нтообро́бних ма́шин. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 28 с.
6. ДСТУ 4744:2019. Техні́ка сі́льсько́господарська. Ме́тоди ви́значення показни́ків я́кості ви́конання те́хнологі́чних опе́рацій. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 34 с.
7. ДСТУ ISO 4254-1:2020. Ма́шини сі́льсько́господарські. Ви́моги бе́зпеки. Ча́стина 1. Загальні ви́моги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 42 с.
8. Правила о́хоро́ни пра́ці у сі́льсько́господарському ви́робництві. На́каз Міні́стерства со́ціально́ї полі́тики Украї́ни №1240 від 29.08.2018.
9. Тарасенко О. В., Савченко В. П. Енергозберігаючі технології об́робі́тку ґру́нту в сучасному землеробстві. Ві́сник аґра́рної нау́ки. 2020. № 6. С. 45–52.
10. Паламарчук І. П., Коваленко М. В. Конструктивні особливості робочих органів культиваторів для ресурсозберігаючих технологій. Техні́ка і те́хнології АПК. 2021. № 4. С. 18–24.
11. Нагі́рний Ю. П., Сало́ Я. М. Теоретичні основи взаємодії робочих органів із ґру́нтом. Львів : Но́вий Сві́т-2000, 2019. 295 с.
12. Сидорчук О. В., Барановський В. М. Основи проє́ктува́ння сі́льсько́господарських ма́шин. Львів : Магно́лія-2006, 2022. 386 с.
13. Kyurchev V., Bulgakov V., Ivanovs S. Investigation of tillage tools interaction with soil environment. Engineering for Rural Development. 2021. Vol. 20. P. 546–552.

14. Bulgakov V., Adamchuk V., Nadykto V. Energy efficiency of tillage implements under different soil conditions. *Agriculture Engineering*. 2022. Vol. 26. No. 3. P. 31–39.
15. Onyshchenko O., Nadykto V., Kyurchev V. Influence of cultivator sweep geometry on draft resistance. *Acta Technologica Agriculturae*. 2020. Vol. 23. No. 4. P. 175–181.
16. ISO 5680:2019. Equipment for soil working – Vocabulary and classification. Geneva : International Organization for Standardization, 2019.
17. ASABE Standards EP291.5. Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, Michigan : ASABE, 2021.
18. FAO. Conservation Agriculture Equipment for Sustainable Agriculture. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. 154 p.
19. European Agricultural Machinery Industry Report 2023. Brussels : CEMA, 2023. 118 p.
20. John Deere Tillage Equipment Product Guide. Moline : John Deere Publishing, 2024. 96 p.
21. Horsch Soil Cultivation Technology Manual. Schwandorf : Horsch Maschinen GmbH, 2023. 128 p.
22. Kuhn Cultivators and Soil Preparation Equipment Catalogue. Saverne : KUHN Group, 2024. 102 p.
23. Case IH Agronomic Design Guide for Tillage Equipment. Racine : CNH Industrial, 2023. 87 p.
24. Сучасні технології обробітку ґрунту та їх вплив на родючість земель : колективна монографія / за ред. В. В. Адамчука. Київ : Аграрна наука, 2022. 344 с.
25. Тітова Л. В., Білошицький О. В. Дослідження параметрів робочих органів культиваторів для мілкої обробітку ґрунту. Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2025. № 327. С. 112–119.