

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Ефективність роботи лапи культиватора під час мілкої обробки ґрунту

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Самарський Віталій Вікторович

Керівник: _____ Пономаренко Наталія

Олександрівна

Рецензент: _____

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ _____.

(назва кафедри)

доцент _____.

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Самарський Віталій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи _____ Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від

«_24_» жовтня 2025 року № _3182_

2. Строк подання студентом роботи 28.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих засобів поверхневого обробітку ґрунту. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ. МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМАНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1,2 Мета і задачі, об'єкт, предмет досліджень. 3. Аналіз схем та конструкційних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин. 4 Методи вдосконалення пасивних робочих органів ґрунтообробних машин, 5. Теоретичне обґрунтування параметрів робочого органу для мілкої обробки ґрунту. 6. Результати розрахунку економічної ефективності використання культиватора КН – 4,5У з розробленим робочим органом. 7. Випробування лапи культиватора для мілкої обробки ґрунту. 8. Загальні висновки та рекомендації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О.		
2	Пономаренко Н.О.		
3	Пономаренко Н.О.		
4	Пономаренко Н.О.		
5	Пономаренко Н.О.		
6	Пономаренко Н.О.		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 30.08.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.05.2025 р.	
2	Теоретичний	до 10.07.2025 р.	
3	Експериментальний	до 29.09.2025 р.	
4	Охорона праці	до 15.10.2025 р.	
5	Економічний	до 22.10.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 20.11.2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Самарський В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Пономаренко Н.О.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Самарський Віталій Вікторович «Ефективність роботи лапи культиватора під час мілкового обробітку ґрунту».

У роботі проведено аналіз сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур та систем обробітку ґрунту. Наведено аналіз та згруповано ґрунтообробні знаряддя за призначенням, способом дії та найбільш типовими конструктивно-технологічними схемами.

Проведено теоретичне обґрунтування та змодельовані параметри робочого органу – лапи культиватора для відповідного типу ґрунту. Обґрунтовано входні параметри моделі взаємодії, що впливають на зменшенню енергомісткості процесу, серед яких: параметри технологічного процесу (швидкість переміщення, механіко-технологічні властивості ґрунту енергія взаємодії ґрунту з робочою поверхню лапи. Визначено необхідну енергію на переміщення елементів ґрунту по робочій поверхні лапи.

Визначено мінімальні значення енергії руйнування структури ґрунту, що знаходиться в межах 15...20 Дж/дм³. Встановлено, що затрати енергії на переміщення ґрунту, по робочій поверхні лапи складають 0,5...1,01 кДж.

Запропоновано удосконалену конструкцію лапи та схему культиватора. Річний економічний ефект від використання машино-тракторного агрегату JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У у порівнянні з базовими: варіант I склав 1361,14 грн., і варіант II – 14423 грн.

Табл. 6; рис. 22; бібліогр. джерел 27; дод. 2.

ЗМІСТ

ВСТУП.....		6
РОЗДІЛ 1.		
СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ... .. 12		
1.1.	Аналіз способів мілкового обробітку ґрунту	12
1.2.	Аналіз схем та способів обробітку ґрунту.....	19
1.3.	Аналіз схем та конструкційних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин	22
1.4.	Аналіз теоретичних досліджень взаємодії робочого органу плоскорізального типу з ґрунтом... ..	28
1.5.	Методи вдосконалення пасивних робочих органів ґрунтообробних машин	34
	Висновки за розділом.....	40
РОЗДІЛ 2.		
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ		
2.1.	Обґрунтування геометричних параметрів робочого органу культиватора	42
2.2.	Кінематичний режим культиватора для мілкового обробітку ґрунту.....	44
	Висновки за розділом.....	46
РОЗДІЛ 3.		
МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМАНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ		
3.1.	Визначення мінімальної потенціальної енергії руйнування ґрунту.....	48
3.2.	Випробування лапи культиватора для мілкового обробітку ґрунту.....	56
РОЗДІЛ 4.		
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....		
4.1.	Вимоги щодо безпеки праці під час робіт з сільськогосподарською технікою.....	59
4.2.	Оцінка безпечності сільськогосподарської техніки	60
4.3.	Аналіз виробничих небезпек при використанні навісного культиватора.....	62
4,4	Охорона навколишнього середовища під час використання сільськогосподарської техніки	64

	РОЗДІЛ 5.	
	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	
	ПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ДЛЯ МІЛКОГО	
	ОБРОБІТКУ ГРУНТУ.....	66
6.1.	Методика та результати розрахунку економічної ефективності	
	застосування пропонованого агрегату.....	66
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	70
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
	ДОДАТКИ.....	75

ВСТУП

Актуальність дослідження. Літературні дані щодо врожайності та екологічної ефективності систем нульового обробітку ґрунту є дещо суперечливими. У багатьох випадках невідповідності можна пояснити відсутністю загальних стандартів у тому, як проводилися експерименти в системах обробітку ґрунту. Іноді мульчування, зменшений обробіток ґрунту, мінімальний обробіток або інші методи, що включають різні ступені обробітку ґрунту - є одним із різновидів зменшення порушення структури ґрунту. Відсутність загального розуміння щодо чітких регламентів обробки ґрунту, які виконуються з різною інтенсивністю порушення ґрунту, відсутністю сівозміни та/або мульчування, а також періодами седезації, надають суперечливі результати експериментальної оцінки її загальної ефективності. Способи зменшення ступеня обробітку ґрунту розглядаються різними дослідниками як ефективні інструменти зниження екологічних наслідків ведення землеробства, а також збереження родючості ґрунтів. Наприклад, деякі дослідники виявили, що безполицевий обробіток забезпечує поглинання вуглецю з ґрунту, тоді як інші стверджують, що даний ефект є незначним. Це призвело до великої плутанини в дослідницькому співтоваристві щодо справжнього впливу систем обробки ґрунту як ключового фактора впливу на навколишнє середовище.

Дослідження ефективності систем природоохоронного землеробства не є простим завданням й вимагає тривалого опрацювання й спостереження. Часто в експериментах дослідники змінюють лише один фактор, наприклад вид обробітку й уникають одночасної зміни кількох факторів, оскільки це може призвести до взаємодій і, отже, до небажаних змішаних інтерпретацій. Оскільки природоохоронне сільське господарство охоплює три ключові принципи, то недостатньо лише змінювати спосіб обробітку ґрунту. Три ключові принципи природоохоронного землеробства є:

- мінімізація порушення структури ґрунту під час тривалого сталого виробництва;
- максимальне покриття ґрунтової поверхні шляхом управління сівозміною, використання органічних решток попередників;
- стимулювання біологічної активності культур за допомогою сівозміни, седекатів та комплексної боротьби з шкідниками й хворобами.

У системі мінімальної обробки ґрунту раціональне використання рослинних залишків відіграє таку ж важливу роль, як мінімізація і навіть уникнення порушення структури ґрунту.

Існує тісний зв'язок між мінімальним обробком ґрунту та використанням рослинних залишків, якщо усі компоненти системи не оптимізовані, то система, швидше за все, не буде ефективною і не буде досягнутим максимальний ефект, який отримують прогресивні фермери.. Існує потреба в науково обґрунтованих кількісних даних і точних описах методів, які використовуються у системах мінімальної обробки ґрунту, щоб мінімізувати неточність результатів [3], [5], [9].

Основною проблемою в стандартизації методології дослідження та встановленні детальних умов для експериментів. У протоколі дослідження необхідно чітко визначити параметри досліджень технологій мінімальної обробки ґрунту, серед яких:

- час тривалість обробки ґрунту після мульчування залишкової рослинності;
- яким чином був зібраний попередній урожай, дані про кількість та розподіл вегетативної маси залишків;
- яким був тип ґрунту, його структура, вміст органічного вуглецю, кислотність, рельєф тощо;
- історія сівозмін, їх кількість і якість;
- вміст вологи в ґрунті під час посіву чи посадки, температура ґрунту та насипна щільність;

- тип посівного обладнання, його конфігурація, швидкість посіву, норма висіву, тип сошників, спосіб закриття посівного матеріалу та тиск прикочування;

- рівномірність та глибина розміщення насіння розміщення, кількість рослин на гектар;

- реальний відсоток засіяної площі поля;

- тип і кількість біомаси, що виробляється і повертається в ґрунт у кожній системі за рік, напр. чи враховувалися співвідношення C: N, розмір частинок та орієнтація (вертикальна чи сплющена);

- глибина і режим внесення добрив, засоби техніки боротьби з бур'янами, комахами, хворобами [12], [23].

У випадках, коли понад 50% поверхні ґрунту було оброблено, навіть поверхнево, то цю систему обробітку не можна назвати мінімальною. Її слід визначити як обробіток лущенням, культивуванням або іншою формою. Успішне впровадження системи мінімального обробітку вимагає належної боротьби з бур'янами, яка виконується з врахуванням відповідних сівозмін, використанням адаптованих агресивних видів покривних культур, або механічним способом, що не порушує структури ґрунту й застосуванням відповідних гербіцидів.

На сьогодні технологія мінімального обробітку ґрунту була успішно запроваджена на понад 100 мільйонах гектарів посівних угідь у всьому світі і на приблизно 70% орних угідь у Бразилії, Аргентині, Парагваю, Уругваю, Австралії та Новій Зеландії. Успіх систем природоохоронного землеробства ґрунтується на диверсифікації за допомогою сівозміни та покривних культур, а також на безперервному, постійному застосуванні мінімального обробітку. Дана система імітує природний процес, в якій розпушування ґрунту здійснюється різноманітністю коренів рослин та ґрунтової фауни та флори. Той факт, що ґрунт не обробляється і залишається постійно покритим рослинними рештками, призводить до зменшення ерозії ґрунту, підвищення біологічної активності ґрунту та секвестрації вуглецю, кращого збереження

води, кращої ефективності використання поживних речовин, збільшення доступності поживних речовин від біологічної активності й покращення енергоефективності процесів виробництва, і відповідно, вищий економічний прибуток з часом. Більше того, дана технологія є ключовим підходом до системи землеробства і екстремальних ґрунтових і кліматичних умовах.

Інколи перехід від традиційних систем виробництва супроводжується зниженням врожайності, де причинами можуть бути наступні фактори. Відсутність оцінки періоду часу між перетворенням локального внесення рослинних решток. Наприклад, якщо період перетворення становив понад 20 років, то час відновлення може мати сильний вплив на врожайність і властивості ґрунту. Вагомим фактором є відсутність знань або досвіду щодо того, як керувати виробництвом й посівами за мінімальної обробки ґрунту. Рекомендації можна отримати від провідних розробників обладнання і технологій систем «No Till». Навчання фермерів і дослідників лише елементів такої технології й відсутності системного підходу часто може бути причиною початкового зниження врожайності.

За умови повної ліквідації традиційної системи обробки ґрунту недостатньо лише припинити суцільний обробіток, тоді як решта операції проводиться аналогічно, як у звичайних системах обробки ґрунту. Для ефективної роботи господарства за вказаною технологією необхідно дотримуватись наступних умов:

- достатня номінальна потужність тягового трактора;
- справна гідравлічна система для роботи з 3-точковим навісним обладнанням;
- відповідне обладнання для посіву;
- рахування можливостей для більшого локального внесення азотних добрив;
- наявність відповідних пестицидів і гербіцидів;
- вирощування певних видів культур;
- адаптовані сорти та відповідні попередники;

- адаптовані сівозміни;
- залучення фахівців з успішним досвідом та технікою використання технології.

За технологій мінімальної обробки гранту поверхневі рослинні рештки служать основним джерелом внесення органічної речовини для стимуляції біологічної активності ґрунту, збереження вологи та помірних температур ґрунту. Недотримання уваги до ґрунтового покриву веде до поганої роботи систем загалом (наприклад, нижча врожайність, змиви, ерозія, низька біологічна активність тощо). Покриття рослинними рештками необхідне для збільшення накопичення води в ґрунті та зниження ерозії [3], [5], [9].

Метою роботи є: підвищення технологічної ефективності та зниження собівартості виконання операцій шляхом обґрунтування параметрів робочого органа культиватора для мілкої обробки ґрунту.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Провести аналіз технологій мінімальної мілкої обробки ґрунту, способів її реалізації.
2. Дослідити конструктивно-технологічні схеми та конструктивні параметри ґрунтообробних машин та встановити чинники, що визначально впливають на зменшення енергомісткості процесу.
3. Провести теоретичне обґрунтування взаємодії робочого органу з ґрунтом та встановити оптимальні параметри для зниження є підвищення якості та зниження собівартості виконання операцій по основному обробці ґрунту.
4. Дослідити ефективність обробки ґрунту залежно від геометричних параметрів робочого органу та динамічного навантаження.
5. Встановити оптимальну швидкість руху агрегату з врахуванням витрати палива та ефективності обробки.

б. Провести економічний розрахунок ефективності використання робочого органу для мілкого обробітку ґрунту порівняно з аналогічними агрегатами.

Об'єкт дослідження. Технології, процеси та робочий орган ґрунтообробної машини для мілкого обробітку ґрунту.

Предмет дослідження. Умови та закономірності взаємодії робочого органу з ґрунтом, вплив його параметрів на енергозатрати і якість мілкого обробітку ґрунту.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз способів мілкового обробітку ґрунту

Сучасне землеробство - це досить складний технологічний і трудомісткий процес, що передбачає використання різних підходів та систем обробітку ґрунту. Протягом останніх років найбільшого поширення набули технології з яких є традиційна, мінімальний обробіток, нульовий обробіток (No-till) та смуговий обробіток (Strip-till) [4], [12].

Традиційна технологія включає кілька етапів обробки ґрунту: відвальне оранку плугом з оборотом пласта, боронування, передпосівну культивуацію і посів. Традиційна технологія є однією з найенерговитратніших, що вимагає використання великої кількості сільськогосподарських знарядь, таких як: лемішні, відвальні, дискові плуги; зубні та пружинні борони; паровий культиватор; сівалки з дисковими сошниками (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Основний обробіток ґрунту

Мінімальна технологія передбачає проведення таких операцій, як глибоке розпушування без обороту пласта, культивуацію та посів. Це значно менш енерговитратна технологія та вимагає використання меншої кількості операцій ресурсів та енергозатрат, а відповідно сільськогосподарських знарядь у порівнянні з традиційною технологією, таких як: чизельний плуг,

чизельний культиватор, глибокорозпушувач, плоскоріз, щілин; важкий культиватор; сівалки з лаповими сошниками (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Мінімальний обробіток ґрунту

Нульова (No-till) технологія передбачає проведення прямого висіву за один прохід, при цьому використовують так звані «стерневі сівалки» - це, як правило» машини з анкерними сошниками, що не вимагає використання інших машин, можливий варіант одночасного внесення мінеральних добрив. Головною умовою використання даної технології є вимоги вирівнювання поверхні поля (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Посів за технологією No-till

Найбільш розповсюдженою прогресивною сучасною технологією є смугова обробка ґрунту. На відміну від нульової системи передбачає

формування смуг, у які проводять посів. З точки зору врожайності технологія Strip-till є більш ефективніша на відміну від нульової технології No-till. За рахунок введення додаткових операцій у смугах посіву забезпечується підвищення врожайності приблизно на 25%, а економія затрат на мінеральні добрива становить 40...50% (рис. 1.4) [3], [5], [9].



Рисунок 1.4 – Посів за технологією Strip-till

Для реалізації даної технології з метою обробки ґрунту використовують спеціалізовані причіпні або начіпні Strip-till-культиватори. На сьогоднішній день у такій технології (смугова обробка ґрунту Strip-Till) закладений значний потенціал для подальшого зростання, крім того вона вже апробована й активно застосовується у передових господарствах США, Канади, Європи та країнах розвиненим аграрним виробництвом [23].

Технологія StripTill може забезпечити вирішення проблем, пов'язаних з наявністю короткого вегетаційного періоду, значної вегетації численних бур'янів, низькою родючістю ґрунтів через недостатній вміст органіки, а також може застосовуватися в посушливих регіонах та ґрунтах, схильних до вітрової ерозії. Найбільшого застосування технологія смугової обробки ґрунту набула під час вирощування просапних культур, а особливо

кукурудзи. Смогова обробка полягає в розпушування смуги ґрунту на певну глибину, внесення добрив та одночасний посів насіння в межах лише обробленої смуги.

Використання локальних зон обробки забезпечує збереження близько 70% корисної площі поля у необробленому стані, при цьому добрива концентруються в прикореневій зоні рослин. Крім того, добрива вносять локально переважно один раз на рік під час осіннього чи весняного обробітку. В оброблених смугах можна проводити висів сівалками точного висіву незалежно від послідовності та термінів проведення операцій. Дуже часто технології Strip-till, застосовують гранульовані близько 60%, та рідкі – 40% добрив. У технології Strip-Till слід виділити кілька основних переваг: за один прохід техніки можна заощадити приблизно 30% палива; оптимізація внесення добрив на різних рівнях й оптимізація системи живлення рослин; можливість одночасно виконувати рихлення ґрунту та посів; відпочинок та збереження природної родючості; зниження ущільнення ґрунту. При смуговій обробці ґрунту необхідно забезпечувати задану ширину обробки смуги ґрунту без деформування сусідніх міжрядь підбираючи параметри ходових частин тракторів та машин відповідно до ширини міжрядь.

Обробіток ґрунту – це найбільш трудомісткий і енергомісткий технологічний процес у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. На його виконання щорічно припадає близько 20...25 % трудових та 25...30 % енергетичних затрат у господарствах [23]. Зважаючи на це, вибір та обґрунтування найбільш раціональних технологічних процесів, технології і машин і агрегатів ґрунтообробних знарядь, організація їх ефективного використання має значний прихований потенціал щодо економії грошових, енергетичних та трудових затрат на загальне виробництво сільськогосподарських культур. В даному напрямку існує ряд науково-технічних завдань у пошуку та розвитку конструкцій робочих органів, знарядь, машин і агрегатів для обробітку ґрунту. А основними напрямками є зниження трудових та енергетичних затрат, поряд з дотриманням жорстких

агровимог на підготовку й обробку ґрунтів. Так, наприклад, для вирощування колосових культур та хлібних злаків проводять передпосівну культивуацію на глибину 5...10 см з метою формування насінневого ложа з подальшим прикочуванням (в залежності від конкретних умов – до посівне і післяпосівне, або ж післяпосівне). Ефективність даної операції оцінюють за грануло-метричним складом ґрунту: у верхньому в шарі 0...5 см повинні знаходитись більш крупні структурні агрегати розміром 5...20 мм, в пласті ґрунту глибиною 5...10 см, де розміщується насіння під час висіву агрегатні включення не мають перевищувати 0,5...5 мм [5]. Під час оцінки технологічної ефективності обробітку ґрунту під посів оцінюють його щільність: в пласті 0...5 см – 1,0...1,35 г/см³; у піднасінневому пласті глибиною 10...30 см – 1,1...1,25 г/см³.

На даний час у невеликих господарствах використовують традиційні системи вирощування, де основний обробіток ґрунту виконується переважно лемішними плугами. Під час обробітку ґрунту плугами відбувається обертання скиби ґрунту, кришення, а також підрізання бур'янів, зароблення поживних решток і добрив і їх часткове змішування з ґрунтом. Але існує ряд недоліків плужного обробітку ґрунту. До них відносяться зниження ерозостійкості поверхні поля, утворення плужної „підшви”, переміщення ґрунту, утворення лінійчатої поверхні поля, значні втрати продуктивної вологи в теплий період року, велика енергоємність процесу і значні непродуктивні затрати енергії.

Починаючи ще з далеких 30-х років в Україні впроваджується суцільне глибоке розпушування ґрунту без обертання скиби [23]. Збереження післяживних решток на поверхні розпушеного поля дозволяє значно послабити ерозійні процеси. Суцільне розпушення ґрунту без обертання скиби має ряд недоліків: наявність ущільненої підшви, схильність розпушеного ґрунту до ще більшого ущільнення при виконанні наступних операцій рушіями тракторів і сільськогосподарських машин, значна

енергомiсткiсть процесу розпушення, недостатня i нерiвномiрна по ширинi захвату знарядь якiсть кришення оброблюваного пласту ґрунту [15], [21].

Удосконаленням суцiльного розпушення ґрунту без обертання скиби є застосування смугового розпушення ґрунту (чизелювання), тобто чергування розпушених та нерозпушених смуг. Цей спiсiб дозволяє руйнувати ущiльнену пiдошву i сприяє проникненню вологи та корiння рослин в нижнi горизонти ґрунту [5]. Недолiком даного способу є недостатня якiсть пiдрiзання корiння бур'янів у зв'язку з вiдсутнiстю перекриття ширини захвату розпушувальних робочих органiв знарядь, що в свою чергу ускладнює очищення поверхнi поля вiд бур'янів. Кришення верхнього шару ґрунту має значну нерiвномiрнiсть по ширинi захвату, що суттєво ускладнює створення передбачених агротехнiкою умов для сiвби культур.

Для усунення вищезгаданих недолiкiв, а саме: зменшення енергомiсткостi процесу розпушення ґрунту, полiпшення якостi пiдрiзання коренiв бур'янів у верхньому шарi ґрунту, руйнування ущiльненої пiдошви застосовується спiсiб рiзноглибинного обробiтку ґрунту, суть якого в суцiльному розпушеннi верхнього шару 5-18 см на всю площину поперечного перетину. При застосуваннi даного способу розпушення ґрунту площа поверхнi дна борозни суттєво перевищує подiбну при застосуваннi традицiйних способiв обробiтку за умови однакових витратах енергiї.

В таблицi 1.1 подано показники затрат палива та енергiї на обробiток ґрунту для рiзних типiв ґрунтообробних знарядь.

Як видно з таблицi 1.1, в порiвняннi з плужним знаряддям з плоскорiзними робочими органами дозволяють скоротити витрати палива в 1,4 - 4,4 рази, а енергозатрати – в 1,6 - 4,7 рази.

Для того щоб досягти зменшення енергомiсткостi процесу розпушення ґрунту спiсiб рiзноглибинного обробiтку ґрунту повинен бути виконаний за один прохiд агрегату. Роздiльне виконання цих операцiй, а саме: обробiток виконується на глибину до 16 см (мiлкий) або на глибину до 20 см

(глибокий), є доцільним у випадках, коли ефект досягається за рахунок інших чинників.

Таблиця 1.1 - Показники витрат палива та енергії на обробіток ґрунту для різних типів ґрунтообробних знарядь

Способи обробітку ґрунту	Затрати	
	палива, л/га	енергії, МДж/га
Розпушення з обертанням скиби ґрунту	19,9	1354,1
Плоскорізний обробіток на глибину, см:		
8...10	4,5	291,1
12...14	5,7	374,7
20...22	8,9	588,0
28...30	13,2	844,4
Розпушення без обертання скиби ґрунту на 28...30см:		
чизелем	14,3	893,1
плугом-розпушувачем	14,0	844,4
ярусним плугом на 35...40см	34,3	2738,7
Обробіток ґрунту комбінованим агрегатом на глибину, см:		
8...10	8,3	667,6
6...7	9,6	588,3

Наприклад, при підготовці ґрунту під озимину після гороху доцільно виконувати мілке розпушення, що забезпечить низькі питомі витрати енергії за рахунок високопродуктивних ґрунтообробних знарядь і збереження вологи у суху погоду.

Широке розповсюдження знаходить диференційована система обробітку ґрунту та знарядь для їхнього здійснення [2]. Застосування запропонованої диференційованої системи обробітку ґрунту та знарядь для їхнього здійснення дозволяє комплексно вирішувати проблеми підвищення

якості обробітку і зниження енергоємності процесу, а також забезпечує зменшення використання оранки на 45-50 % посівних площ.

Це спонукало до вдосконалення способу мілкої обробітку ґрунту та до обґрунтування параметрів робочих органів ґрунтообробних машин для мілкої обробітку ґрунту.

1.2 Аналіз схем та способів обробітку ґрунту

Основним завданням під час механізованого обробітку ґрунту є забезпечення значного зниження енерговитрат, а також якісний обробіток. На механічний обробіток ґрунту припадає від 40 до 70% [3] витрат енергії під час вирощування сільськогосподарських культур, що становить вагомую частку витрат енергії. За останні роки в Україні все частіше використовуються зарубіжні машини та знаряддя для механізованого обробітку ґрунту, які не завжди знижують питомі енерговитрати, а деколи навіть їх підвищують. Якщо плуги іноземних фірм-виробників дають змогу за рахунок високої технології виготовлення та якості матеріалів робочих органів знизити питомі витрати енергії на 7-12 %, то при цьому вартість 1 га оранки зростає, внаслідок високої ціни самого агрегату в межах на 40-50 %, що призводить при всіх рівних показниках до негативних наслідків [10]. Якщо використовувати в ідентичних умовах імпорتنі та вітчизняні машини для обробітку ґрунту, то істотної різниці у виконанні технологічних операцій відповідно до агрономічного вирощування сільськогосподарських культур не виникне. Тому для підвищення рівня технології виготовлення вітчизняних ґрунтообробних машин із застосуванням відповідних розробок слід ставити питання досить гостро. Створення таких робочих органів ґрунтообробних знарядь для економії енергії, необхідної для руйнування зв'язків між частинками ґрунту, є теж першочерговим. В таблиці 1.2 подано порівняльну характеристику експлуатаційних та еколого-технологічних показників в залежності від способу обробітку ґрунту [5].

Таблиця 1.2 - Експлуатаційні та еколого-технологічні показники способів обробітку ґрунту з використанням ґрунтообробних робочих органів різних типів

Показники	Спосіб обробітку ґрунту (робочий орган)		
	обробіток ґрунту з обертанням скиби (плужний корпус з полицею культурного типу)	обробіток ґрунту без обертання скиби (плоскорізглибо корозпушувач)	поверхневий обробіток ґрунту (сферичний диск борони)
Енергоємність основного обробітку ґрунту під озиму пшеницю, МДж/га	720...860	670...840	200...500
Продуктивність агрегату за 1 годину основного часу, га/год	до 1,2	до 1,8	до 4,9
Середньоквадратичне відхилення поверхні обробленого поля, см	6,5...8,0	4,6...5,0	3,0...4,5
Ступінь підрізання коріння бур'яну, %	90...95	80...90	70...75
Ступінь заробки верхнього шару ґрунту, %	до 100	до 5	20...25

У землеробській практиці використовується велика гама машин і знарядь для обробітку ґрунту. Всю гаму машин і ґрунтообробних знарядь, що використовуються під час обробітку ґрунту можна подати у вигляді структурної схеми (рис. 1.5).

Рисунок 1.5 - Структурна схема способів обробітку ґрунту



За останні роки все більше уваги приділяється зменшенню інтенсивності обробітку ґрунту, особливо зменшенню кількості проходів агрегатів по полю. В конструкціях таких знарядь застосовується не менше двох типів робочих органів, які у взаємодії забезпечують кращу якість виконання технологічних операцій із меншими затратами енергії. Основними робочими органами таких знарядь є диски і чизельні лапи в різних комбінаціях.

1.3 Аналіз схем та конструкційних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин

Аналіз конструкцій машин для мілкої обробітку ґрунту показує, що серед них переважають дисково-чизельні знаряддя, які мають плоскі або перфоровані диски діаметром 510-560 мм товщиною 5,2-6 мм, зібрані в батарею, приєднані до рами та два чи три ряди чизельних лап, пружні стійки яких виготовлені зі сталі перетином 32,5 x 50,8 мм, що забезпечує обробіток ущільнених ґрунтів на глибину до 30 см.

Замки чизельних робочих органів обладнані демпферними пристроями, які створюють ефект вібрації. Завдяки цьому зменшується тяговий опір, поліпшується кришення та виключається зависання на них рослинних решток.

Для додаткового подрібнення ґрунту та вирівнювання поверхні провідні фірми, зокрема Kleverland, за чизельними лапами встановлюють котки-подрібнювачі (рис. 1.6). В конструкціях окремих машин котки використовують і для регулювання глибини обробітку [12].



Рисунок 1.6 - Культиватор-чизельний з котками компанії Kleverland

На культиватори компанії John Deere з чизельними робочими органами встановлюють гелікоїдальні наральники (рис. 1.7), ширина яких становить приблизно 75 мм.



Рисунок 1.7 - Робочі органи чизельних культиваторів

Передпосівний обробіток ґрунту після чизельної оранки виконують дисковими знаряддями і паровими культиваторами. Для зменшення кількості проходів провідні фірми запропонували конструкції комбінованих знарядь “весняного” типу. Ці знаряддя призначені для розробки пласта весною після чизельного обробітку. В основу цих знарядь покладено такі завдання:

а) знаряддя повинні обробляти ґрунт, насичений великою кількістю грубо стеблових рослинних решток, які не повністю мінералізувались за

осіннє-зимовий період, з одночасним подрібненням їх на частки, які не завадять роботі сошників;

б) знаряддя повинні вирівнювати гребені, що утворились після чизелювання, усувати повітряні пустоти і забезпечувати однорідний склад шару ґрунту на всю глибину чизельного обробітку, знищувати бур'яни, що проросли весною;

в) звести до мінімуму або зовсім виключити втрати вологи і кількість проходів по полю, зменшення витрат палива і затрат праці.

Типова комплектація таких знарядь – це поєднання сферичних дисків діаметром 456-510 мм з відстанню між ними 180-190 мм, 3-4 ряди S-подібних пружних робочих органів польових культиваторів висотою 500-550 мм з відстанню між слідами 152-228 мм і пруткові котки. Діскові робочі органи встановлюють на важільно-пружній підвісці з кутом атаки 10° . Для підвищення якості роботи окремі конструкції знарядь для весняного обробітку ґрунту після чизелювання комплектуються додатковими пристроями для вирівнювання поверхні [5].

В Україні є значні напрацювання в галузі сільськогосподарського машинобудування, розроблено та представлено на ринку велику гаму знарядь для мілкої обробітку ґрунту. Серед них культиватори КР-4,5, АКГ-4, ККП-3,7, ґрунтообробні агрегати АГ-4, “Агро-3”, плоскоріз-щілювач ПЩН-2,5 (рис. 1.8) та інші. Технічні характеристики окремих машин наведено в табл. 1.2 [10].

В конструкції плоскоріза-щілювача ПЩН-2,5 поєднано роботу плоскорізних лап та дисків, встановлених під кутом до поверхні поля на косих шайбах, що забезпечують їхнє коливання і активізують вплив на ґрунт. Таке поєднання робочих органів забезпечує: повне підрізання бур'янів; менші втрати вологи в орному шарі ґрунту; смугове щілювання ґрунту на глибину 35-40 см. Суттєвим є і те, що плоскорізи-щілювачі дозволяють при еквівалентних з оранкою витратах енергії покращувати на 20-30 % товщий шар ґрунту, і при цьому є менш матеріаломісткими ніж чизелі



Рисунок 1.8 - Плоскоріз-щілювач ПЩН-2,5

Для поверхневого обробітку ґрунту після колосових та грубостеблових культур з подрібненням рослинних решток і мульчуванням верхнього шару, а також для подрібнення глиб, що утворились після оранки чи чизельного обробітку, широко застосовуються дискові борони.

Для розпушування ґрунту часто використовують дискові борони з дисками збільшеного діаметра для загортання рослинних решток. З цією метою в ННЦ “ІМЕСГ” розроблено борону БДВ-6, характерною особливістю якої є використання сферичного дискової борони, як розпушувача (під час руху вперед) і як ущільнюючого робочого органу (під час руху в реверсному режимі). Під час руху назад відбувається робота тильної сторони сфери диска (рис. 1.9).

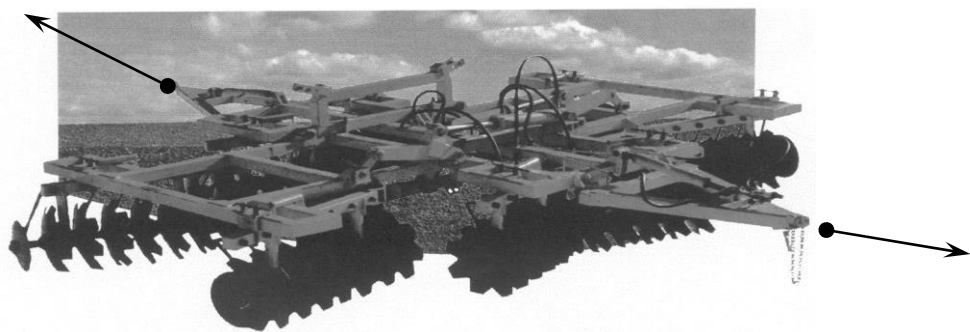


Рисунок 1.9 - Борона дискова БДВ-6

Таблиця 1.2 - Техніко-експлуатаційні показники комбінованих агрегатів для безполицевого обробітку ґрунту

Показник	Значення показника						
	АГ-4	ГРН-3,9	АГРО-3	КШН-5,6	ППР-2,5	Екопак 4500	Сма-рагд 9/600
1	2	3	4		5	6	7
Призначення	Основний обробіток ґрунту						
Ширина захвату, м	4,0	3,9	3,0	5,6	2,5	4,5	6,0
Спосіб агрегування	Напівпричіпна				Начіп-на	Напів-причіпна	Начіп-на
Діапазон глибини обробітку, см	8-16	до 22	5-15	6-20	до 22	до 25	до 16
Тип робочих органів	1+6 або 1+7	2+6+1 2	2+5 або 3+5	2+4+8	1+13	4+2+14 +9+10+ 11	2+4+8
Продуктивність за годину, га/год – основного часу	2,40	2,46	2,13	2,56	2,42	3,32	5,17
– змінного часу	1,86	1,94	1,42	1,95	1,87	2,08	4,08
– експлуатаційного часу	1,82	1,89	1,40	1,91	1,83	2,06	4,03

Протягом останніх років в Україні поширюється застосування комбінованих знарядь для передпосівного обробітку ґрунту. За своєю конструктивно-технологічною схемою ці знаряддя ідентичні та включають робочий орган для попереднього вирівнювання поверхні, коток подрібнювач, 3 ряди або 4 ряди S-подібних пружних культиваторних лап, вирівнювач і два встановлених послідовно котки-подрібнювачі, які забезпечують подрібнення скиби і формування посівного ложа.

За останні роки в Україні поширюється застосування комбінованих знарядь для передпосівного обробітку ґрунту. За своєю конструктивно-технологічною схемою ці знаряддя ідентичні та включають робочий орган для попереднього вирівнювання поверхні, коток подрібнювач, 3 ряди або 4 ряди S-подібних пружних культиваторних лап, вирівнювач і два встановлених послідовно котки-подрібнювачі, які забезпечують подрібнення скиби і формування посівного ложа.

Ґрунтообробні агрегати LEMKEN Koralin (рис. 1.9) забезпечують якісний обробіток ґрунту при пониженій його вологості за один прохід по полю, що зменшує ущільнення ґрунту ходовими системами тракторів.



Рисунок 1.9 - Комбінована машина для передпосівного обробітку ґрунту LEMKEN Koralin

Застосування таких комбінованих багатоопераційних знарядь забезпечує якісну підготовку попередньо обробленого ґрунту для сівби за один прохід агрегату по полю, завдяки чому зменшується ущільнення ґрунту і витрати пального.

Вище розглянуті ґрунтообробні знаряддя повинні відповідати постійно змінюваним агротехнічним вимогам вирощування сільськогосподарських культур, особливо враховуючи кліматичні зміни та різноманіття ґрунтів.

Наприклад, використання плуга при обробці ґрунту призводить до утворення плужної підшви, нерівності поверхні поля, а також є надзвичайно енергомістким технологічним процесом. Тому постає питання про вдосконалення техніко-технологічних схем і робочих органів ґрунтообробних знарядь, що потребує належних теоретичних досліджень та апробації в умовах виробництва.

1.4 Аналіз теоретичних досліджень взаємодії робочого органу плоскорізального типу з ґрунтом

Під час вирощування сільськогосподарських культур в момент їх сівби необхідно привести стан ґрунту до заданих (наближених до оптимальних) параметрів, а саме: щільність, твердість, пористість та ін. [1, 6]. В основі будь-якого ґрунтообробного знаряддя є клин. Суть взаємодії клина з ґрунтовим середовищем полягає в тому, що під час розпушення ґрунту він руйнує його на окремі елементи, переміщує їх як в горизонтальному, так і в вертикальному напрямках. В зв'язку з цим постає ряд запитань:

- визначити кількість мінімальної енергії необхідно затратити щоб розпушити ґрунтове середовище до потрібного фракційного складу.
- обґрунтувати відстань, на яку необхідно перемістити елемент ґрунтового середовища.

Основи теорії взаємодії клина з ґрунтом розроблені основоположником землеробської механіки В.П. Горячкиним [18]. Ним вперше була розкрито суть процесу руйнування ґрунту клином. Він довів, що суть процесу взаємодії клина з ґрунтом полягає не в різанні лезом, а в стисненні частинок боковими гранями, після чого утворюються тріщини в напрямку руху клина. Цей процес можна поділити на дві стадії:

- 1 – поступове зминання ґрунту поверхнями клина, яке розвивається під час руху його в ґрунтового середовищі, при цьому росте ущільнення та число ущільнювальних елементів;
- 2 – зсув по площині, сколювання після досягнення максимуму

Широке розповсюдження протиерозійної технології вирощування сільськогосподарських культур, яка базується на обробі ґрунту без обертання скиби, спонукала до створення нових робочих органів, які б відповідали агровимогам вирощування сільськогосподарських культур. В процесі експлуатації ґрунтообробних машин виявилися недоліки даних робочих органів, що в свою чергу спонукало до удосконалення існуючих робочих органів. Одним з характерних явищ, яке виникає під час роботи плоскорізних робочих органів, є зсув ґрунту.

В.А. Ксендзов [8] в своїх дослідженнях розглядає тягове зусилля клина. Основну увагу автор приділяє методиці розрахунку невідомих реакцій зв'язків, які діють на відрізок скиби, що знаходиться на робочій поверхні двогранного клина, і тягового зусилля останнього.

Для визначення задачі, що вивчалася автором, розглядувалися рівняння рівноваги (рис. 1.10). Розв'язавши рівняння рівноваги автор запропонував рівняння тягового зусилля клина:

$$P = \left[G \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + D \right] \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos\left(\varphi + \frac{\beta}{2}\right)}, \quad 1.1$$

де G – сила ваги ділянки скиби;

D – сила динамічного тиску скиби;

φ – кут тертя ґрунту об поверхню клина;

β – кут підйому ґрунту клином.

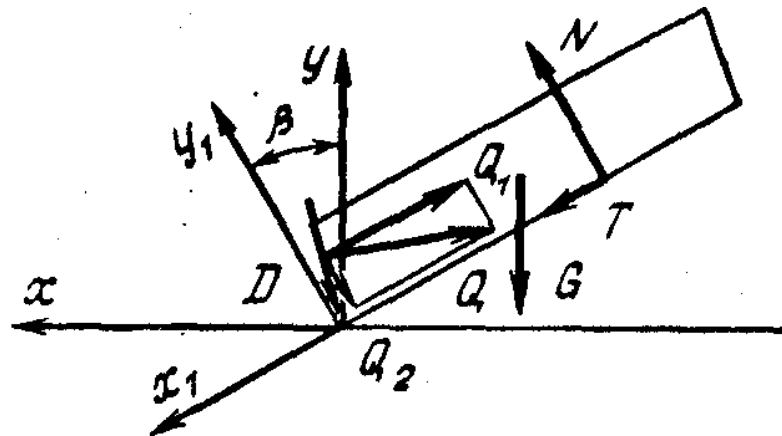


Рисунок 1.10 - Схема сил, які діють на ділянку скиби

Академік В.О. Желіговський, розглядаючи схеми руйнування пухких ґрунтів робочим органом, запропонував визначити зсуви у шарах залежно від швидкості деформації змінанням ґрунту в нижніх і верхніх шарах.

В.І. Ветохін досліджував процес кришення ґрунту та запропонував дві моделі кришення ґрунту. Автор стверджує, що, розглядаючи моделі кришення ґрунту під дією клина, можна пояснити кришення скиби по всій його товщині при висоті клина значно меншій за товщину скиби, а також зробити кількісні та якісні висновки, які узгодженні з практикою. Для спрощення розгляду процесу кришення скиби автор розбиває повздовжній перетин на елементи, сторони яких паралельні до поверхні можливого відокремлення скиби від моноліту, а розмір сторін дорівнює довжині шляху S проходження скиби по поверхні клина до моменту відокремлення елемента скиби (рис. 1.10). Висота піднімання по клину $\Delta h = S \sin \beta$.

Перша модель – з обертанням скиби навколо вершини d без зміни форми елементів. В цьому випадку разом із ковзанням по ребру cd елемента $acde$ має місце відрив ребра з подоланням межі міцності ґрунту на зсув і розтяг [10], [18], [19].

Дана модель показує збільшення пористості шару ґрунту під час кришення. При цьому практична ступінь збільшення цього параметра, яка знайдена як відношення глибини обробітку і величини розпушеного шару

після обробітку, складає 0,1-0,3, що є дуже близьким до теоретичного значення.

Друга модель – з перетворенням форми елемента скиби *acde*. В цьому випадку відбувається зсув по всім ребрам елемента. Така модель більше відповідає випадку деформації ґрунту в його пластично-в'язкому стані.

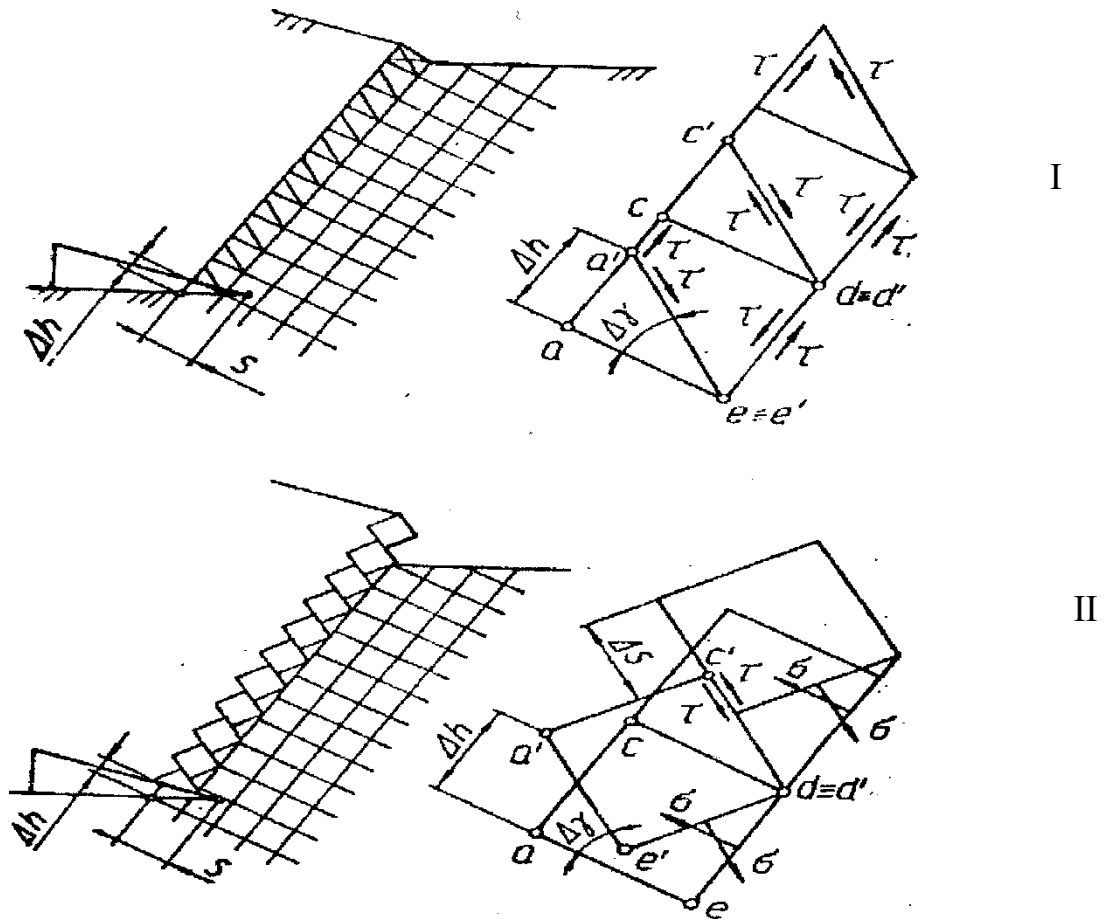


Рисунок 1.11 - Моделі механізму кришення скиби ґрунту: I модель – шляхом формозміни макроелементів зсувом; II модель – шляхом їхнього повороту і взаємного зсуву

А.С. Кушнар'ов розглядає ґрунт, як квазіоднофазне суцільне середовище, яке деформується в умовах, коли його реологічні властивості залежать від виду, стану ґрунту, швидкості та умов деформації [6]. В результаті досліджень автором запропоновано систему рівнянь стану ґрунту для умов технологічної дії ґрунтообробних робочих органів:

$$\frac{d\gamma_{ij}}{dt} = \frac{\tau_{ij}}{\eta_1(\rho)} + \frac{1}{G_1(\rho)} \cdot \frac{d\tau_{ij}}{dt}, \quad \text{при } \tau_{ij} < \tau_s \quad (1.2)$$

$$\frac{d\gamma_{ij}}{dt} = \frac{\tau_{ij}}{\eta_1 \rho} + \frac{G_1(\rho) + G_2(\rho)}{G_1 \rho \cdot G_2 \rho} \cdot \frac{\tau_{ij}}{dt} + \frac{\tau_{ij}}{\eta_2 \rho} \quad (1.3)$$

При $\tau_{ij} \geq \tau_s$

$$\frac{d\varepsilon_{ij}}{dt} = \frac{1}{E(\rho)} \cdot \frac{d\sigma_{ij}}{dt} + \frac{\sigma_{ij}}{\mu(\rho)} \quad (1.4)$$

$$\rho = \rho_0 + B \cdot l_n \cdot [\sigma_m \cdot (1 + \tau_{\max})],$$

де γ_{ij} – кутові деформації;

t – час деформації;

τ_{ij} – дотичні напруження;

$\eta_1(\rho)$ і $\eta_2(\rho)$ – в'язкість зсуву в першій та другій фазах деформації;

$G_1(\rho)$ – модуль зсуву в першій фазі деформації;

$G_2(\rho)$ – модуль зсуву в другій фазі деформації;

τ_s – граничний опір зсуву;

ε_{ij} – лінійні деформації;

$E(\rho)$ – модуль пружності;

σ_{ij} – нормальне напруження;

$\mu(\rho)$ – лінійна в'язкість;

ρ – щільність ґрунту;

ρ_0 – початкове значення густини ґрунту;

B – емпіричний коефіцієнт, який враховує здатність ґрунту ущільнюватись;

σ_m – середнє напруження;

τ_{\max} – максимальне значення напруження з трьох значень τ_{ij} .

Дана модель підходить для розрахунку робочих органів ґрунтообробних машин ущільнюючого типу (катки і т.п.), а також робочих органів з пружною підвіскою.

У своїх дослідженнях Я.С. Гуков доводить, що при взаємодії клина з ґрунтовим середовищем величина об'єму зім'ятого ґрунту пропорційна витратам енергії на розпушування ґрунтового середовища; розпушення ґрунтів слід виконувати клином з мінімальним ($8-10^0$) кутом різання в межах забезпечення необхідної жорсткості робочих органів та їхньої надійності у виконанні технологічного процесу.

На підставі системного підходу під час дослідження впливу на стан кореневмісного шару ґрунту (КМШГ) дії робочих органів ґрунтообробних знарядь при здійсненні способів обробітку ґрунту, закономірностей змінання ґрунту в залежності від параметрів клина, розроблено механіко-технологічне обґрунтування засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України, що забезпечує підвищення ефективності вирощування сільськогосподарських культур внаслідок зменшення енергомісткості обробітку, поліпшення якості та протиерозійної стійкості ґрунту. Обґрунтовано критерії та принципи формування комплексів ґрунтообробних знарядь для класів тракторів, які застосовуються в країні, що дозволяє підвищити ефективність їх використання. Розроблено концепцію поліпшення засобів для механізованого обробітку ґрунту (ЗМОГ), яка націлена на їхню еколого-економічну ефективність в умовах інтенсивного ведення сільськогосподарського виробництва України. Обґрунтовано комплекс ґрунтообробних знарядь для класів тракторів, що використовуються в Україні, ефективність яких істотно вища в порівнянні з існуючою ґрунтообробною технікою. Розроблено новий екологобезпечний та енергозберігаючий спосіб обробітку ґрунту, впровадження якого підвищує ефективність вирощування сільськогосподарських культур. Обґрунтовано параметри робочих органів, технологічних та конструктивних схем нових засобів для механізованого обробітку ґрунту.

Реалізація розробленої концепції поліпшення ЗМОГ дозволяє підвищити універсальність та зменшити кількість необхідних для сільськогосподарського виробництва найменувань ґрунтообробних знарядь.

1.5. Методи вдосконалення пасивних робочих органів грунтообробних машин

У землеробській механіці при обґрунтуванні форми ґрунтообробних робочих органів широко використовуються методи теоретичної механіки, а також принципи й методи механіки суцільних середовищ. Основний зміст теоретичних досліджень з цього питання спрямований на вирішення проблеми руйнування клином ґрунтового середовища, при цьому менше уваги приділено зниженню енергоємності обробітку ґрунту на основі встановлення силових закономірностей взаємодії робочих органів з ґрунтом та взаємозв'язку їх форми з показниками якості роботи.

Найбільш ранніми та основними працями з обґрунтування геометричних параметрів ґрунтообробних робочих органів є праці В. П. Горячкіна [7], в яких найповніше й чітко відбито кут встановлення носка й долота до дна борозни й намічено шляхи обґрунтування форми робочих органів. Значний внесок у вивчення цього питання внесли такі вчені-дослідники в галузі землеробської механіки, як В. О. Желиговський, П. М. Василенко, А. С. Кушнар'ов, Г. М. Синьооков, І. М. Панов, Я. С. Гуков, І.А. Шевченко, М.С. Левчук, М.П. Білоткач, та ін.

І.А. Шевченко запропонував методику визначення показників стану ґрунтового середовища. Суть запропонованої методики полягає у визначенні показників стану ґрунтового середовища в період взаємодії механічного обробітку, та в обґрунтуванні універсальної характеристики міцності ґрунту з позиції його опору руйнуванню. Розробив методику вибору параметрів та режимів роботи розпушувальних лап із застосуванням органів-аналізаторів. За цією методикою автор звів, параметри форм поверхонь розпушувальних лап машин для безполицевого обробітку ґрунту до трьох різновидів твірної та направляючої кривих, що лежать в основі поверхні, а саме: прямої, випуклої та увігнутої.

Свого часу значним кроком щодо обґрунтування форми різальних робочих органів стали розроблені академіком П. М. Василенком [22], [23] аналітичні методи проектування геометрії ґрунтообробних органів, основу яких становлять методи варіаційного обчислення.

У подальшому на підставі цих методів П. С. Короткевич, розглядаючи сили, що діють на ніж, який підрізає скибу, дійшов висновку, що основним чинником, який визначає величину опору і форму ножа, що підрізає скибу ґрунту, є показник рівномірності розподілу тиску на лезо. Під час підрізування шару ґрунту на малозв'язному піщаному ґрунті, коли нормальний тиск є постійним по довжині леза, автор робить теоретичний висновок про те, що в цьому разі мінімальний опір має ніж з прямолінійним лезом. А в разі нерівномірного розподілу тиску, що є можливим під час роботи ножа на важких ґрунтах, мінімальний опір має ніж з криволінійною формою леза типу логарифмічної кривої.

Г. М. Синьоков відзначав, що для здійснення коливального руху лапи у горизонтальній площині було обрано кривошипно-шатунний механізм, який відзначався простотою виготовлення. Стрілчаста лапа з закругленим носком, яка коливалася у горизонтальній площині, у першому наближенні подана двома тригранними клинами. Крутий момент, потрібний для приводу лапи, що коливається, пропорційний площі поперечного перерізу скиби. Коливальні ударні рухи робочого органу в горизонтальній площині порушують стан рівноваги ерозійно небезпечних часток і сприяють просипанню їх на дно борозни, внаслідок чого зменшується їх кількість на поверхні поля.

Дослідження вібрації лемеша плуга у ґрунті під дією примусового приводу провів також академік Г. Є. Листопад. Лемеші плуга вібрували під дією спеціальних ексцентриків з амплітудою 4 мм і частотою 300 коливань за хвилину. Тяговий опір такого знаряддя, порівняно зі звичайним, знизився на 28 %, а затрати енергії — на 20 %. За аналогією до плугів, ексцентриканий

привід широко використовується також у вібраційних робочих органах глибокорозпушувачів-плоскорізів та щілинорізів ґрунту.

Проблема вдосконалення ґрунтообробних знарядь розкладається на складові напрямку щодо обґрунтування форм і параметрів окремих пасивних елементів робочих органів ґрунтообробних машин. Узагальнюючи проведені теоретичні та експериментальні дослідження з цього питання, слід зазначити, що у більшості таких робіт силова дія на ґрунт пов'язується з формою і геометричними параметрами деформатора. При цьому використовуються методи теоретичної механіки, механіки ґрунтів та суцільних середовищ, а також експериментальні методи. Такими методами неможливо повною мірою пояснити і врахувати всі процеси, що відбуваються у ґрунті під час дії на нього робочих органів. Застосування методів механіки ґрунтів для розгляду взаємодії робочих органів з ґрунтом, зважаючи на суттєві відмінності у технологічних процесах обробки ґрунту, вимагає більших уточнень цих методів, що часом змінює саму сутність процесу. Методи експериментальних досліджень установлюють залежності між фізичними властивостями ґрунту і конструктивними параметрами робочих органів у вигляді емпіричних формул і прийнятні тільки для певних умов проведення дослідів.

Висока культура землеробства великою мірою залежить від технічних засобів реалізації, використовуваної технології вирощування сільськогосподарських культур. Технологія смугової обробки ґрунту є комплексним рішенням щодо поліпшення якості обробки просапних культур та збереження ґрунтової родючості. Високотехнологічні знаряддя, що виробляють обробку за технологією strip-till на сьогодні представляють великий інтерес, і використання яких є одним із кроків щодо збереження ґрунтових ресурсів. Знаряддя для смугової обробки ґрунту є культиватори, що замінюють таку енергоємну операцію, як основна обробка ґрунту. Знаряддя для смугової обробки ґрунту це, перш за все, культиватор, що має у своїй конструкції жорстку раму, робочі секції, що обслуговуються на кожному оброблювану смугу, систему каналів для внесення як твердих гранульованих,

так і рідких мінеральних добрив, а в деяких випадках, і рідких органічних добрив. Також невід'ємною частиною технології є використання системи супутникової навігації, оскільки відхилення при сівбі в рядки не допускаються. Рама культиватора спроектована для роботи у важких умовах і за великих швидкостей, і має особливу міцність. Збереження постійної глибини обробітку ґрунту в умовах мінливості рельєфу забезпечує паралелограмний механізм, що знижує навантаження на робочі поверхні зброї та тим самим забезпечуючи довговічність конструкції. Паралелограмний механізм фіксує робочу секцію культиватора, яка, як правило, містить приблизно однаковий набір робочих органів, що відрізняються своєю формою та конструктивними параметрами залежно від ґрунтово-кліматичних умов, у яких передбачається проводити обробіток ґрунту. Кожна секція культиватора містить такі типи робочих органів:

1. Передній диск, що виконує функцію розрізання щільної кірки поверхні ґрунту, що утворилася в результаті проведення різних механічних операцій та впливу природно-кліматичних факторів. Таким чином, диск знімає напругу на поверхні ґрунту, що дозволяє надалі знизити тяговий опір зброї.

2. Робочий орган для чищення рядків. Мета даного пристрою полягає у видаленні рослинних залишків зі смуги обробки, які мають певну твердість і міцність, що створює додаткові труднощі при обробці ґрунту і тим самим підвищує тяговий опір секції культиватора.

3. Наступним елементом конструкції секції є розпушувальна стійка, вона входить у роботу після того, як з центру смуги видаляються рослинні залишки. Обробка проводиться на глибину до 0,35 м та замінює операцію відвальної оранки плугом. Також розпушувач обладнується сім'япроводами для внесення твердих гранульованих та рідких добрив.

4. Бічні диски, їх функція - це нарізання смуги певної ширини, таким чином, вони обмежують зону обробки ґрунту та зону поперечної деформації ґрунту, знижуючи тим самим тяговий опір зброї.

5. Прикочувальний каток, являє собою робочий орган, що обертається, закріплений позаду секції культиватора і забезпечує функцію прикочування, подрібнення і вирівнювання ґрунту в зоні оброблюваної смуги, може мати різну конструкції, у вигляді голчастих дисків, гладкої циліндричної форми, циліндричної форми конструкції та ін. В результаті проведеного аналізу існуючих конструкцій культиваторів для смугової обробки ґрунту слід виділити ряд характерних рис, описаних нижче.

На малюнку 1.12 зображено знаряддя для безвідвальної поярусної смугової обробки ґрунту.

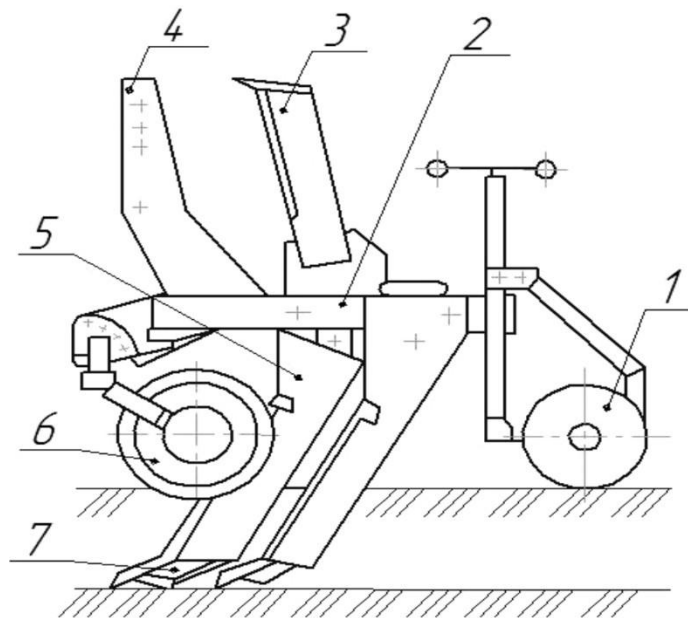


Рисунок 1.12 – Робочий орган для безвідвальної обробки ґрунту

Робочий орган у свою конструкцію включає: каток, що прикочує 1, навішення трьох точкову 2, раму навісну 3, механізм регулювання глибини обробки 4, а також робочі органи для основної обробки ґрунту 6, 7. На першому ярусі встановлені робочі органи у вигляді пластинчастих стійок, які мають стрілчасті лапи, розташовані під кутом, один розташований по центру на задньому брусі рами навісної 3, а два інших – по ширині захвату та симетрично від центру зброї на передньому брусі рами. На другому ярусі встановлені робочі органи 5, виконані у вигляді право- та лівосторонніх

стійок, що забезпечують обробку орного шару, закріплені на передньому брусі рами 3, симетрично відносно один одного, а також розгорнуті в протилежні сторони. Робочі органи третього ярусу також виконані у вигляді право- та лівосторонніх стійок, у нижній частині мають розташовані під кутом змінні долота, що забезпечують глибоке розпушування ґрунту. Відсутність паралелограмного механізму в даній конструкції знижує ефективність роботи і не дозволяє копіювати рельєф ґрунту [10], [12], [22].

На малюнку 1.13 представлена секція для смугової обробки ґрунту фірми Carter.

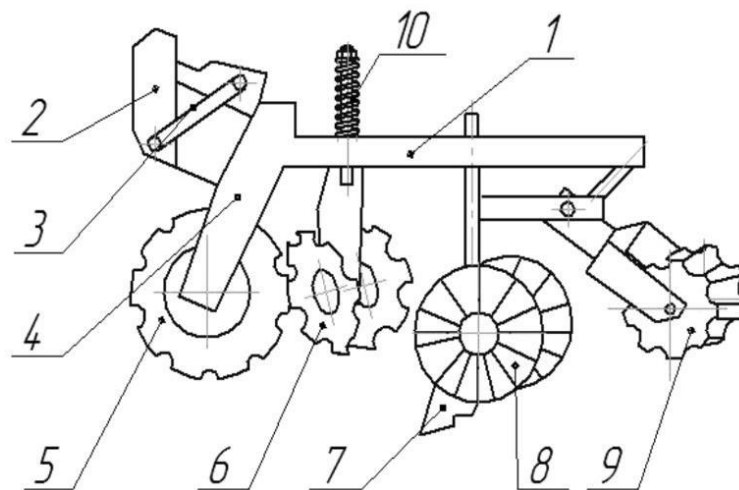


Рисунок 1.13 – Секція комбінованої машини для обробки ґрунту виробництва компанії Carter

Конструкція робочого органу, показаного на рисунку 1.13 відрізняється типом кріплення дисків 5 до рами 1; формою котка, що прикочує. Основним робочим органом для розпушування ґрунту та внесення добрив є щілювальник, у якому розміщено тукопровід малого діаметра для внесення мінеральних добрив для дворівневого внесення добрив у процесі обробки ґрунту. Недоліком цієї конструкції є її висока вартість та складність обслуговування.

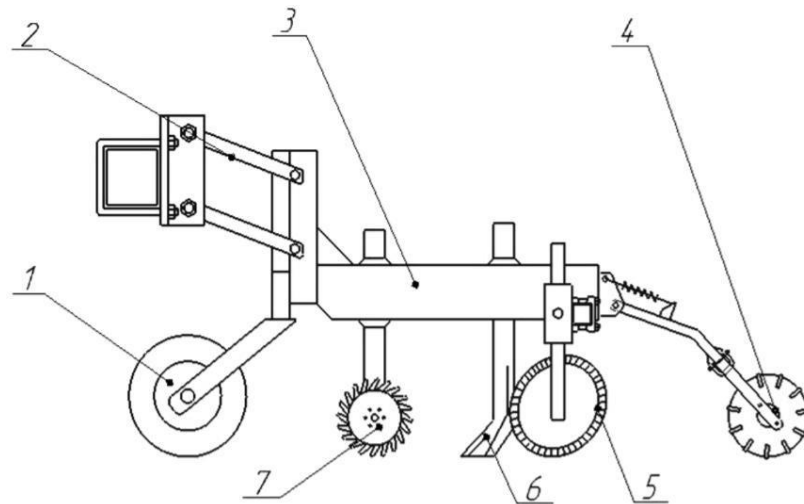


Рисунок 1.14 – Секція культиватора виробництва компанії Super Duty

На рисунку 1.14 представлений культиватор Super Duty, конструкція якого включає паралелограмний механізм, що встановлюється на рамі, робочі органи, які мають форму диска 1 для підрізання ґрунту і витримує задану глибину обробки. В другому ряду встановлені два голчасті диски 8 для подрібнення поживних залишків, за ним встановлено щілювальник 7 з тукопроводом для внесення добрива, слідом за нами йдуть два диски для утворення гребеня 6 і каток 5 прикочування.

Висновки за розділом

1. В результаті проведеного аналізу можна стверджувати, що широкого поширення набувають технології, в яких недоцільно використовувати суцільний полицевий обробіток ґрунту.

2. На основі аналізу конструкцій знарядь для мілкої обробки ґрунту сформовані рекомендації для проектування конструкцій сучасних культиваторів:

- для плавної роботи культиватора та витримування заданої глибини обробки, в передній частині бажано встановлювати турбодиски;

- для технологій смугового обробітку ґрунту доцільно використовувати долотоподібні лапи на стійках для того, щоб оброблена смуга знаходилась в межах від 0,25...0,28 м;

-стрілчасті лапи мають вищі значення деформації ґрунту та залишків біомаси, тому їх доцільно використовувати по стерні, забур'янених, вологих та на важких ґрунтах.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

2.1. Обґрунтування геометричних параметрів робочого органу культиватора

Крім дискових борін, мілке розпушення ґрунту на глибину до 16 см може виконуватись й іншими знаряддями, зокрема, важкими культиваторами. Хоча важкі культиватори мають дещо меншу продуктивність, але сприяють затриманню вологи в посушливий період, менше розпилюють структуру ґрунтових агрегатів, забезпечують вищу протиерозійну стійкість поверхні ґрунту. Однією із основних переваг культиваторів для мілкового розпушення ґрунту над дисковими боронами є утворення вирівняного дна борозни, що є основою для передпосівного обробітку і формування передпосівного ложе. Отже, робочим органом знаряддя має бути стрілчаста лапа. Знаряддя для здійснення такого обробітку в Україні поки що не випускаються. Тому була поставлена задача створення подібних знарядь із урахуванням ґрунтово-кліматичних умов України [12], [19].

Лапові культиватори застосовуються для розпушення та знищення бур'янів при передпосівному обробітку ґрунту і догляду за парами. Культиватори для суцільного обробітку ґрунту комплектуються полольними і розпушуючими лапами. Полольні лапи призначені для знищення бур'янів у результаті горизонтального перерізання коренів на глибині 6-10 см [18].

Основним робочим органом полольних культиваторів-розпушувачів є лапа-бритва з мінімальними кутами різання або стрілчаста лапа. Розміри та форма стрілчастої лапи характеризується шириною захвату B , кутом атаки 2γ , кутом кришення α , шириною на початку b_1 і в кінці крила b_2 лапи, товщиною лапи S , кутом загострення i .

Виходячи з вищесказаного та враховуючи результати досліджень взаємодії клина з ґрунтом, були прийняті наступні параметри стрілкової лапи: кут різання $\alpha = 5^\circ \dots 10^\circ$; кут атаки $2\gamma = 55^\circ \dots 60^\circ$; висота підйому скиби $h = 25 \dots 30$ мм; ширина захвату (робоча) $B_r = 300$ мм (рис. 2.1).

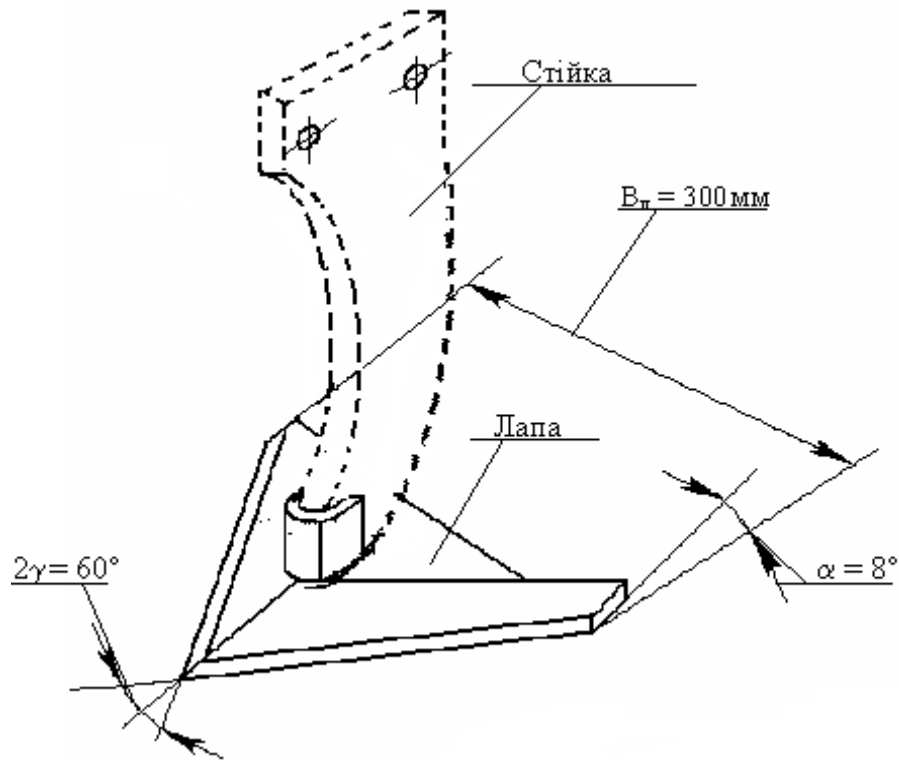


Рисунок 2.1 - Конструктивна схема робочого органу культиватора для мілкої обробітку ґрунту

Кут γ вибирали таким, щоб бур'яни підрізалися різанням ковзання, а перерізані корені вирваного бур'яну без упину ковзали поздовж леза. При невиконанні цієї умови відбувається обволікання леза: не перерізані стеблини і корені бур'янів, що перегнулися на лезі і які утримуються силами тертя, накопичуються на крилах лап, унаслідок чого лапи перестають підрізати бур'яни і вигубляються з ґрунту [6].

Для найменшого зміщення ґрунту вбік ширину крила лапи прийняли на початку $b_1 = 40$ мм і в кінці $b_2 = 27$ мм, товщину лапи ($\delta = 6$ мм) з

урахуванням характеристик на міцність матеріалу та глибини обробітку ґрунту, а також кут загострення $i = 12^\circ$.

2.2 Кінематичний режим культиватора для мілкою обробітку ґрунту

Культиватор цього типу застосовують для рихлення ґрунтів на невелику глибину (до 12 см) [18].

Ступінь подрібнення ґрунту стрілкою лапою складатиме:

$$i = \frac{l}{i_0} \cdot \left(\frac{2 \cdot K_1 \cdot E_v}{G^2} + 1 \right)$$

де i_0 – початкова ступінь подрібнення ґрунту.

Зазвичай $i_0 = i_{1n} \cdot i_{1б} = 4,5 \dots 10$, де i_{1n} – ступінь подрібнення ґрунту плугом;

$i_{1б}$ – ступінь подрібнення зубовою бороною;

K_1 – питомий опір рихленню ґрунту стрілкою лапою, кН/м^2 ;

E_v – модуль пружності ґрунту, кН/м^2 ;

G – внутрішнє напруження структурного агрегату розміром кН/м^2 ;

Визначаємо ступінь подрібнення ґрунту культиваторною стрілкою лапою, якщо попередня обробка ґрунту забезпечила ступінь подрібнення $i_0 = 3,88$. Фізико-механічні властивості ґрунту: кількість ударів щільно міра

$C_y = 3,0$; кути внутрішнього $\varphi_2 = 30^\circ$ і зовнішнього $\varphi_1 = 22^\circ$ тертя; об'ємна маса ґрунту $\gamma = 1,4 \text{ т/м}^3$ і питома $\Delta = 1,75 \text{ т/м}^3$. Швидкість руху культиватора $V = 2 \text{ м/с}$. Глибина обробітку $\alpha = 0,1 \text{ м}$. Параметри лапи: ширина лапи $0,33 \text{ м}$; кут розкосу $2\alpha = 60^\circ$; $\theta = 10^\circ$; кут кришення ґрунту $\alpha_p = 30^\circ$; параметри кромки затуплення $X=Z=0,001 \text{ м}$.

1. За кількістю ударів щільноміра $C_y = 3$ визначаємо питоме зчеплення частинок $C_{y\partial} = 0,5$ кН/м² і граничну несучу властивість ґрунту $K' = 250$ кН/м².

2. Розрахуємо початковий розмір структурного агрегату

$$D_{к50н} = \frac{\sqrt[3]{a \cdot e \cdot K_L}}{i_0} = \frac{\sqrt[3]{0,1 \cdot 0,154 \cdot 1,0}}{3,88} = 0,064 \text{ м,}$$

3. Визначимо модуль пружності для суцільного середовища ґрунту при $C_y = 3,0$:

$$E_v = 24,0 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2.$$

4. Висота падіння пласта буде рівна

$$\Delta a = \frac{e_l \cdot \sin \alpha - 2 \cdot a \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,33 \cdot \sin 30^\circ - 2 \cdot 0,1 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ}{2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ} = 0,042 \text{ м.}$$

Питомий опір розпушуванню: 11,9 кН/м

5. Внутрішнє напруження структурного агрегату розміром

$$D_{к50н} = 0,064 \text{ м:}$$

$$G = \frac{1}{2 \cdot D \cdot \cos(\alpha_p + \kappa_2) \cdot K_L} + \sqrt{\frac{1}{4 \cdot D^2 \cdot \cos^2(\alpha_p + \kappa_2) \cdot K_L^2} + \frac{2 \cdot K_1 \cdot E_v}{\cos(\alpha_p + \kappa_2) \cdot K_L}} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot (-4,36 \cdot 10^{-4}) \cdot \cos 30^\circ + 30^\circ \cdot 1,0} +$$

$$+ \sqrt{\frac{1}{4 \cdot (-4,36 \cdot 10^{-4})^2 \cdot \cos^2(30^\circ + 30^\circ) \cdot 1,0^2} + \frac{2 \cdot 11,9 \cdot 24 \cdot 10^3}{\cos(30^\circ + 30^\circ) \cdot 1,0}} = 240,3 \text{ кН/м}^2;$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{9,81 \cdot \pi \cdot d_{50c}^3 \cdot \Delta (1 - \cos \alpha_0)}{6 \cdot \sin \alpha_0} \cdot \left[K_3 - K_4 \left(A_1 + \frac{C_{y0}}{0,25 \cdot \gamma} \cdot t_2 \right) \right] \times \\
 &\times \left[\left(\frac{9,81 \cdot 3,14 \cdot 0,001^3 \cdot 1,75 (1 - \cos 50^\circ)}{6 \cdot \sin 50^\circ} \right) \right. \\
 &\times \left. \left[137081,24 - 71603,34 \cdot \left(4,6 + \frac{0,5}{0,25 \cdot 1,4} \cdot 3,6 \right) \right] \right] \times \\
 &\times [0,001(1 + 2 \cdot \sin 50^\circ) + 0,064] = -4,36 \cdot 10^{-4} \text{ м/кН},
 \end{aligned}$$

де $d_{50c} = 0,001 \text{ м}$; $\alpha_0 = 50^\circ$; $A_1 = 4,6$; $\epsilon_0 = 0,227$; $a_0 = 0,21$; $\mu = 0,814$; $t_2 = 3,6$.

$$\begin{aligned}
 n_{кр} &= \frac{\lg \left\{ \gamma \cdot \mu \cdot 9,81 \cdot \left[\pi^3 \cdot d_{50c}^5 (9,81 \cdot \Delta)^3 \cdot D_{к50н}^2 \right] \right\}}{\lg \left\{ 1,4 \cdot 0,814 \cdot 9,81 \cdot \left[3,14 \cdot 0,001 (9,81 \cdot 1,75) \cdot 0,064 \right] \right\}} = \\
 &= \frac{\lg \left\{ 3 \cdot 1,4 \cdot 0,814 \cdot 9,81 \cdot \left[\pi^3 \cdot d_{50c}^5 (9,81 \cdot \Delta)^3 \cdot D_{к50н}^2 \right] \right\}}{\lg \left\{ 3 \cdot 1,4 \cdot 0,814 \cdot 9,81 \cdot \left[3,14 \cdot 0,001 (9,81 \cdot 1,75) \cdot 0,064 \right] \right\}} = 20,66;
 \end{aligned}$$

$$K_3 = 2,8 \cdot 10^{(n_{кр}-3)\epsilon_0} = 2,8 \cdot 10^{(20,66-3) \cdot 0,227} = 137081,24;$$

$$K_4 = 2,8 \cdot 10^{(n_{кр}-3)\epsilon_0} + 2,5 \cdot 10^{(n_{кр}-2)\epsilon_0} = 2,8 \cdot 10^{(20,66-3) \cdot 0,227} + 2,5 \cdot 10^{(20,66-2) \cdot 0,227} = 71603,34;$$

6. Ступінь подрібнення ґрунту культиваторною стрічатою лапою вираховуємо за формулою:

$$i_1 = \frac{1 \left(2 \cdot 11,9 \cdot 24 \cdot 10^3 \right)}{3,88 \left((240,3)^2 \right)} = 2,8.$$

Розмір структурних агрегатів після культивації запишемо у вигляді:

$$D_{к50к} = \frac{D_{к50н}}{i_1} = \frac{0,064}{2,8} = 0,023 \text{ м}.$$

Висновки за розділом

1. Культиватори для суцільного обробітку ґрунту комплектуються полольними і розпушуючими лапами. Полольні лапи призначені для знищення бур'янів у результаті горизонтального перерізання коренів на глибині 6-10 см.

2. Обґрунтовано розміри та форма стрічатої лапи характеризується шириною захвату B , кутом атаки 2γ , кутом кришення α , шириною на початку b_1 і в кінці крила b_2 лапи, товщиною лапи S , кутом загострення i .

3. Було прийнято наступні параметри стрілкової лапи: кут різання $\alpha = 5^\circ \dots 10^\circ$; кут атаки $2\gamma = 55^\circ \dots 60^\circ$; висота підйому скиби $h = 25 \dots 30$ мм; ширина захвату (робоча) $B_{\text{л}} = 300$ мм.

РОЗДІЛ 3
МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ
ЕКСПЕРЕМАНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОПОНОВАНОГО
РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

3.1. Визначення мінімальної потенціальної енергії
руйнування ґрунту

Основні етапи досліджень проводились на полях приватного ФГ «Ларіни» Дніпропетровської області. Метеорологічні умови протягом усього терміну випробувань, майже, не змінювались.

Умови проведення експериментів:

Тип ґрунту – темно-сірий опідзолений.

Рельєф - рівнинний без схилів.

Агрофон – стерня після збирання озимої пшениці.

Також виміряно щільність ґрунтових зразків для подальшої оцінки робочого органу, г/см³:

Максимальна щільність – 1,721;

Мінімальна щільність – 1,319;

Середня щільність – 1,501.

Для кращої кореляції отриманих результатів отримано дані вологості ґрунту по горизонтах і шарах:

- глибина 0...5 см – 18,8%;

- глибина 5...10 см – 18,5%;

-- глибина 10...15 см – 17,6%.

Для обґрунтування параметрів руху агрегату та характеристик робочого органу встановлено результати потенціальної енергії руйнування вказаного типу ґрунту. Відповідні результати досліджень з визначення мінімальних та максимальних експериментальних значень потенціальної енергії руйнування наведено у вигляді графіків на рисунках 3.1 – 3.4. Отримані дані оброблено у вигляді рівнянь регресії (рис. 3.1).

Для того, щоб оцінити якість роботи сільськогосподарського знаряддя необхідно сформуванати найбільш вагомі критерії й за їх значеннями провести оцінку. Для машин суцільного обробітку ґрунту визначально оцінюють ступінь кришення оброблюваних пластів та шарів розглянутих зразків ґрунту, наведено у таблиці 3.1. Відповідно до сучасних агрономог найбільш оптимальний фракційний склад ґрунту формується для кожної культури окремо, виходячи з умов за яких рослина розвиватиметься найкраще. Для переважної більшості сільськогосподарських культура розмір частинок повинен знаходитись в межах від 0,5 до 10 мм. При цьому їхня відсотковий вміст має становити не менше ніж 60% від загального масиву. У таблиці 3.1, наведено результати дослідження енергії кришення зразків ґрунту, виходячи з основних критеріїв кришення, що відповідають роботі органів машин в шарі ґрунту [13], [21], [25].

Таблиця 3.1 - Критерії кришення під час визначення мінімальної енергії руйнування зв'язків між елементами розглянутих зразків ґрунту

Критерії кришення	Висота підйому H , м	Маса зразка M , кг	Швидкість удару \mathcal{Q} , м/с	Відсоток фракцій від загальної маси зразка розміром від 0,5 до 10 мм
1	0,5	1,52	3,13	39,65
2	1	1,52	4,43	52,0
3	1,05	1,52	4,54	49,09
4	1,1	1,51	4,64	47,41
5	1,15	1,34	4,75	48,13
6	1,25	1,47	4,95	52,62
7	1,3	1,53	5,05	46,38
8	1,35	1,51	5,15	65,88
9	1,4	1,47	5,24	65,89

Як видно з таблиці 3.1 найкращі умови кришення дослідних зразків знаходяться у межах 3 – 8 груп, оскільки найповніше відповідають пропонованим вимогам щодо фракційного складу ґрунту. Мінімально необхідна енергія для руйнування зв'язків між елементами структури зразка, що досліджується, знаходиться в межах від 15 до 20 Дж (рис. 3.1).

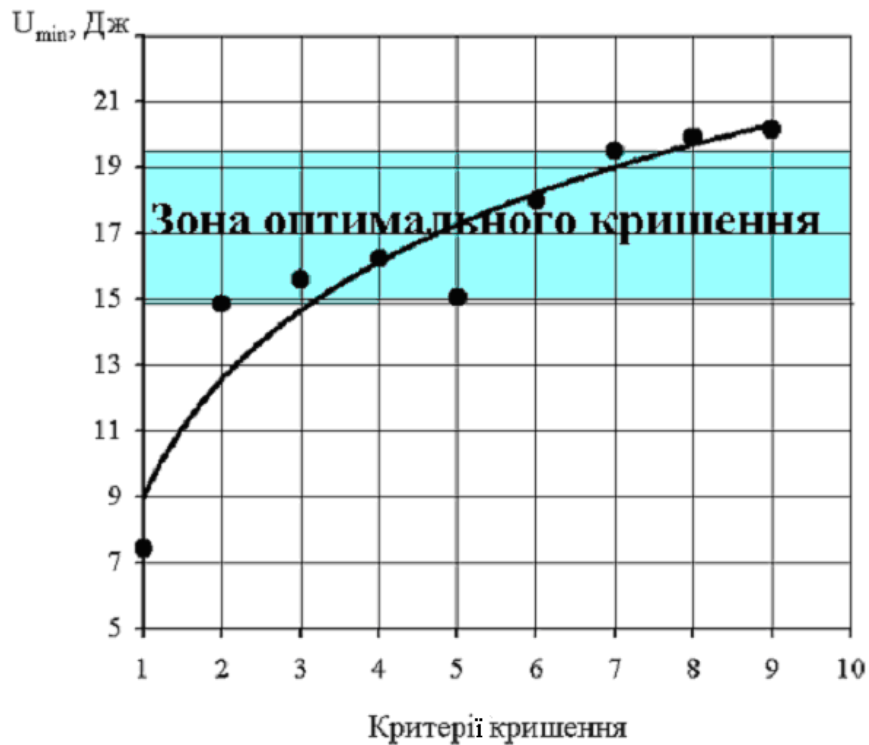


Рисунок 3.1 – Закономірність зміни енергії руйнування структури ґрунту залежно від критеріїв кришення

Як свідчать результати, наведені на рисунку 3.2 (а-г) зі збільшенням висоти падіння елемента скиби збільшується масова частка фракцій малих розмірів від 1 до 7 мм. Встановлено, на мінімальній висоті (H) 500 мм середня маса (M) склала 127,53 г, а на висоті, за якою спостерігається різке збільшення маси фракцій від 1 до 7мм, від 1350 мм до 1400 мм, їх середня маса склала 188,59 г, тобто збільшилася на 61,06 г, що склало 47,88%. Маса фракцій від 7 мм до 10 мм і більше 10 мм зі збільшенням висоти – зменшилась. Так, на висоті 500 мм середня масова частка даних фракцій

склала 503,25 г, на висоті від 1350 мм до 1400 мм – 365,38 г, тобто зменшилась на 27,4%.

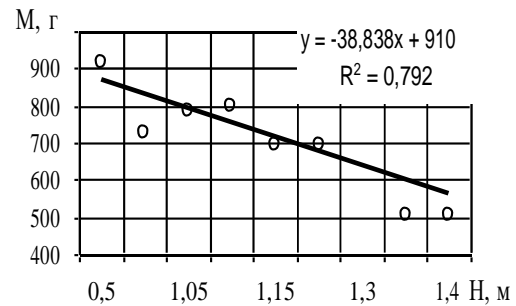
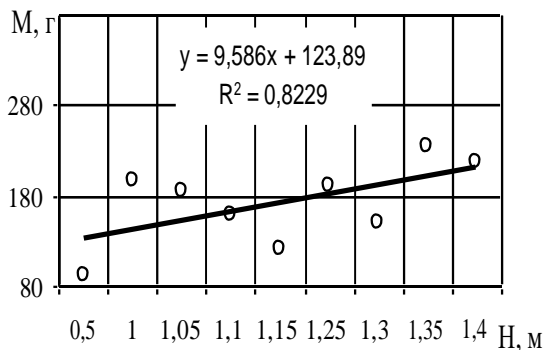
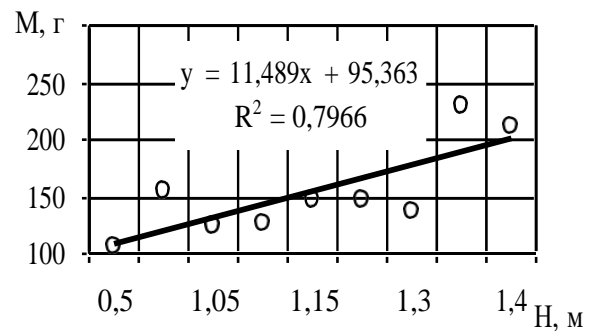
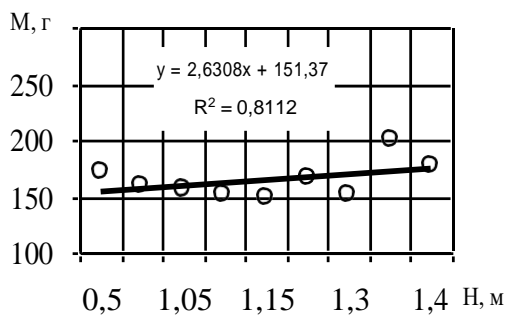
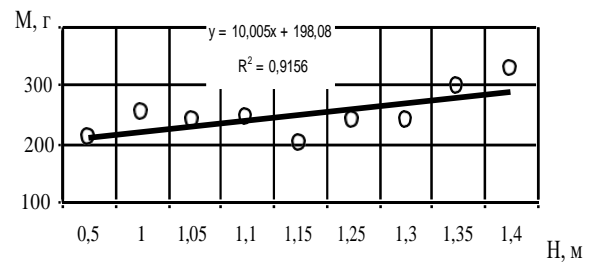
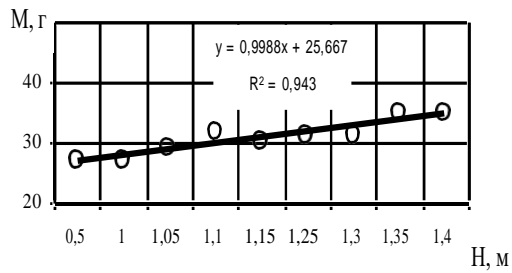


Рисунок 3.2 - Залежність фракційного складу зразків ґрунту від висоти падіння

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| а) – розмір фракції до 1 мм; | г) – розмір фракції від 5 до 7 мм; |
| б) – розмір фракції від 1 до 3мм; | д) – розмір фракції від 7 до 10 мм; |
| в) – розмір фракції від 3 до 5 мм; | е) – розмір фракції більше 10 мм. |

Як видно з рис. 3.2, характер руйнування елемента скиби відбувається за лінійним законом.

З рисунку 3.3 видно, що під час збільшення швидкості падіння зразка процентний вміст фракцій малих розмірів (0,5 до 1мм) наближається до прямої лінії, середніх розмірів (від 3 до 5мм) – збільшується, а великих розмірів фракцій (від 7 до 10 і більше 10мм) – зменшується.

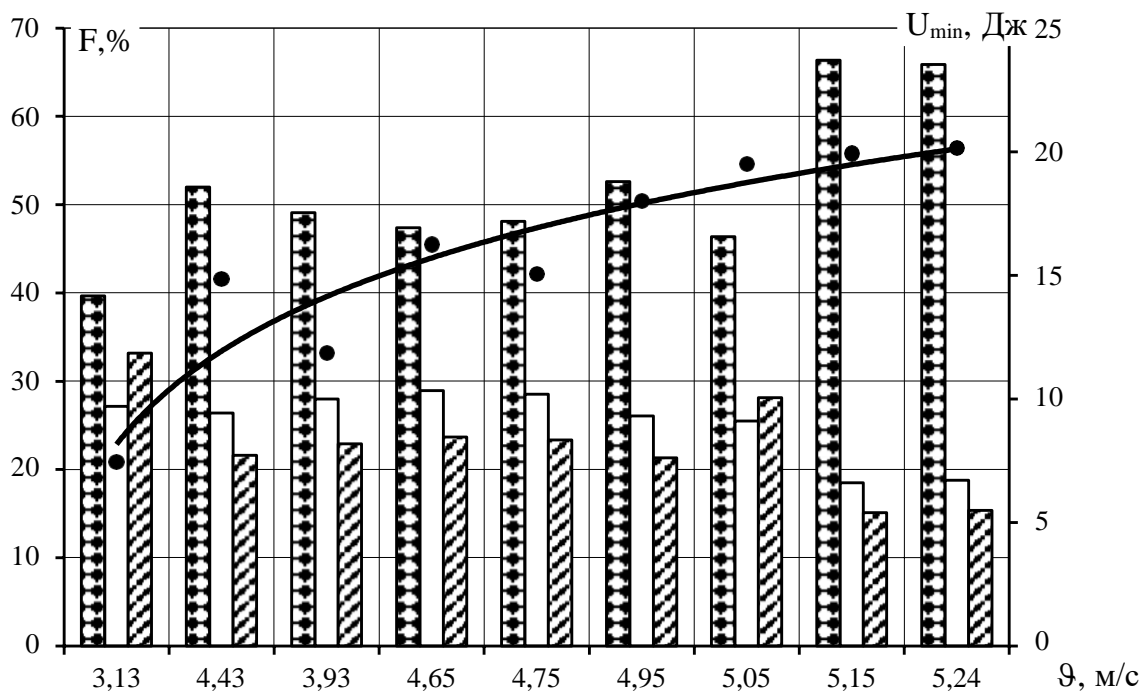


Рисунок 3.3 - Залежність утворення фракцій від швидкості падіння взятого зразка

▣ - процентний вміст фракцій розміром до 10 мм;

□ - відсотковий вміст фракцій розміром від 10 мм до 25 мм;

▤ - відсотковий вміст фракцій розміром більше 25 мм;

• - енергія руйнування зв'язків між елементами розглянутих зразків ґрунту.

На рисунку 3.4 показано залежність потенціальної енергії зразка від швидкості удару об горизонтальну поверхню, характер зміни величини енергії можна описати степеневою функцією.

Після того, як ми провели розрахунки за визначення потенціальної енергії зв'язків між елементами скиби ($U_{зв}$) (в подальшому потенціальна енергія) руйнування елемента скиби (в нашому випадку, зразка циліндричної форми об'ємом 1 дм³), і, отримавши рівняння регресії, яке описує теоретично отриману нами криву, а також провівши пошук на екстремум функції, ми можемо стверджувати, що необхідна мінімальна енергія руйнування ґрунту, за умови оптимальної швидкості руху агрегату, забезпечується при висоті падіння 500 мм (рис. 3.4 – 3.5). За цих умов мінімальна потенціальна енергія складає 7,44 Дж. Дані отримані під час проведення регресивного аналізу подані в табл. 4.2, а рівняння регресії має вигляд [13], [21], [25]:

$$U_{зв} = -0,0001373 + 9,810161M \cdot H \quad (3.1)$$

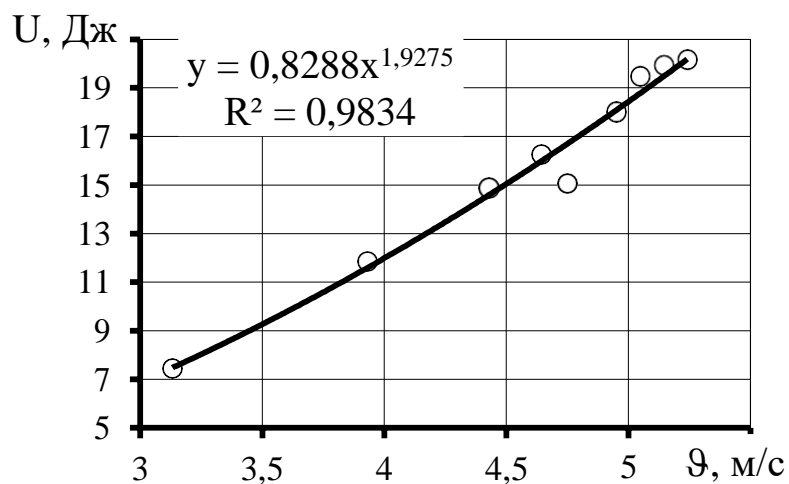


Рисунок 3.4 - Залежність потенціальної енергії руйнування зразка від швидкості удару об горизонтальну поверхню

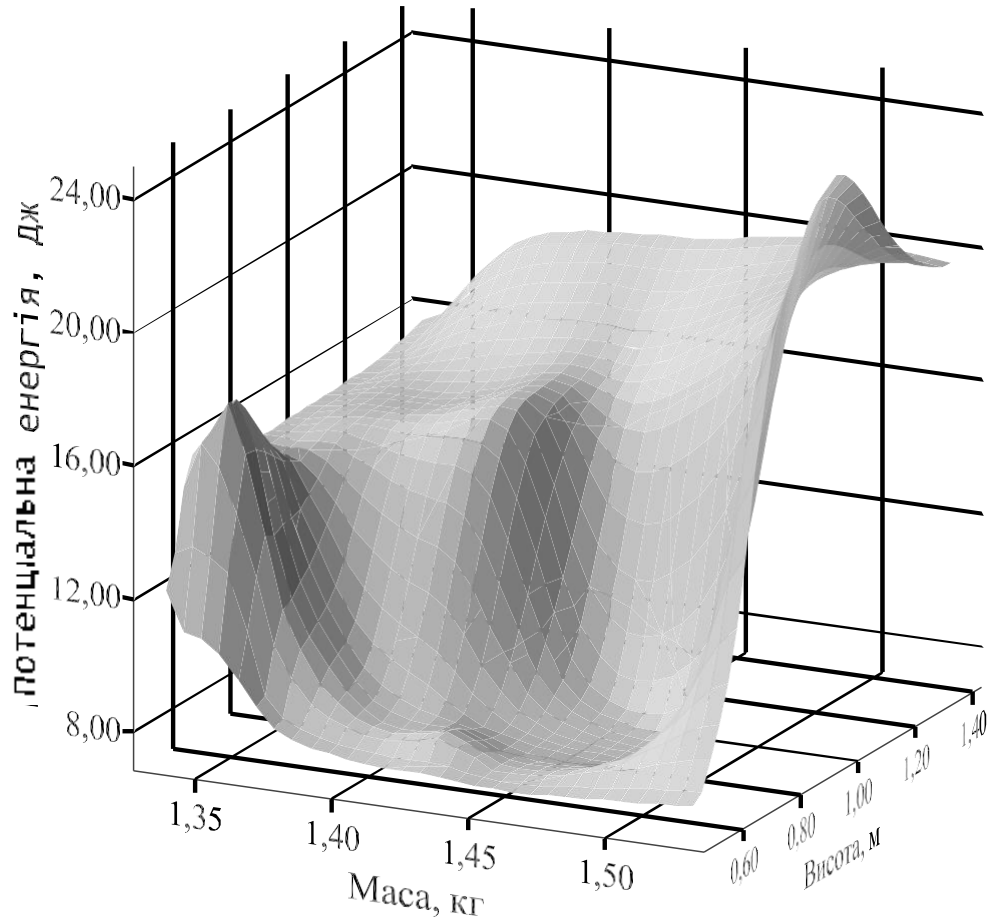


Рис. 3.5. Залежність потенціальної енергії руйнування від маси та висоти падіння елемента скиби

Таблиця 3.2 – Статистична обробка результатів встановлення потенціальної енергії руйнування елементарних структур ґрунту скиби

№ змінної	Кореляція Y з X	Коефіцієнт регресії лінеаризов.	Статистична помилка коеф. регр.	t - альфа	Коеф. еластичності
Залежна змінна					
$U_{зв}$		-0,0001373			
Незалежна змінна					
$M \times H$	1,00	+9,8101616	+0,00275	3562,55395508	1,00

Коефіцієнт множинної детермінації $D = 1.000$

Коефіцієнт множинної кореляції $R = 1.000$

Стандартне відхилення оцінки $S = 0.010$

Критерій Фішера $F = 126,91792$

Коефіцієнт D значимий з ймовірністю $P = 0,99$.

Під час дослідження механічних характеристик гранту встановлено зусилля міцності та енергію зв'язків між елементарними структурами ґрунту, що формують скибу. Під час досліджень встановлено, що мінімальна енергію необхідна для розпушування ґрунту до встановлених агрономог, знаходиться в межах $15...20$ Дж/дм³.

3.2. Випробування лапи культиватора для мілкої обробітку ґрунту

Відповідно до вихідних умов обґрунтування раціональних параметрів лапи для мілкої обробітку ґрунту проведено ряд експериментальних досліджень для встановлення оптимальних конструктивних, технологічних параметрів машини. Також проведено якісну та енергетичну оцінку машини під час технологічного процесу - мілкої обробітку ґрунту.

Для перевірки результатів теоретичних досліджень і математичного моделювання необхідно експериментальним шляхом довести якість розпушення структури ґрунту відповідно до встановлених агрономог. При цьому необхідно визначити параметри процесу, за яких витрати енергії будуть мінімальними. Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 3.3. Під час випробувань встановлено, що оптимальними геометричними параметрами робочого органу є наступні: кут різання α повинен знаходитись в межах $5...10$ град, кут атаки лапи $2g = 55...65$ град, ширина лапи $B_{\text{л}} = 300$ мм. За таких параметрів висота підйому оброблюваного шару ґрунту переміщатиметься по висоті вздовж леза лапи в межах $h = 25...35$ мм (дод. А, Б).

Таблиця 3.3 - Показники профілювання поверхні поля

№ заміру	Показники	До проходу		Варіанти робочих органів											
				<i>A</i>		<i>B</i>		<i>B</i>		<i>Г</i>		<i>Д</i>		<i>Е</i>	
		п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з
I	\bar{M}	10,1	9,6	11,6	11,5	12,7	12,0	13,0	12,5	12,3	12,2	13,6	12,6	12,1	12,0
	σ	2,01	1,8	2,21	1,59	2,65	1,31	1,97	1,84	3,52	2,20	3,06	2,44	2,83	2,65
II	\bar{M}	9,5	8,9	12,4	12,2	11,9	11,8	11,9	11,7	12,7	12,5	13,7	13,4	13,3	13,0
	σ	1,76	1,56	2,41	1,66	2,17	1,41	3,65	1,68	3,55	2,86	2,45	1,63	2,4	2,01
III	\bar{M}	10,4	10,3	11,8	11,7	12,0	11,5	12,9	12,6	13,6	13,2	12,3	12,0	13,9	13,4
	σ	2,06	2,3	2,62	2,22	3,58	2,52	3,01	1,59	3,12	2,00	3,23	1,83	2,76	1,53
Середнє	\bar{M}	10	9,6	11,9	11,8	12,2	11,8	12,6	12,3	12,9	12,6	13,2	12,7	13,1	12,8
	σ	1,94	1,89	2,41	1,82	2,8	1,75	2,88	1,70	3,40	2,35	2,91	1,97	2,66	2,06

п-п – поперечне профілювання;

п-з – повздовжнє профілювання

Під час виробних випробувань встановлено, що під час застосування пропонованої технології мілкої обробітку ґрунту з розробленою лапою енерговитрати, пов'язані з виконанням операції знижуються на 20...25 %.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАНИ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Вимоги щодо безпеки праці під час робіт з сільськогосподарською технікою

Державними стандартами ГОСТ 12.2.019-86 і санітарними вимогами №4282-87 регламентовані вимоги до конструкції тракторів, самохідних та інших сільськогосподарських машин (обладнання машин приладами безпеки, сигналізації, спеціальними пристроями), гідроприводів і пневмоприводів, робочого місця оператора, органів керування та інших елементів конструкції, від яких залежать умови праці та безпека оператора. Трактори і самохідні сільськогосподарські машини повинні бути зручними і безпечними при технічному обслуговуванні. Усі машини повинні мати безпечний доступ до робочого місця [7], [23].

Машини, що застосовують у гірських умовах, обладнують захисними кабінами (захисними корпусами), креномірами-сигналізаторами.

Усі параметри мікроклімату повинні відповідати санітарним нормам.

Стандартами нормуються зусилля, що прикладаються до органів керування машинами. Наприклад, при дії ногами вони коливаються в межах 60-200 Н, при дії руками – 30-200 Н.

Усі сільськогосподарські машини не повинні забруднювати навколишнього середовища (повітря, ґрунт, водойми) шкідливими викидами, бути джерелом пожеж і вибухів, а матеріали, які застосовують при експлуатації і технічному обслуговуванні, мають бути безпечними і не шкідливими для людей.

Спеціальними правилами безпеки передбачені вимоги до сидінь, електрообладнання, начіпних і причіпних пристроїв, робочих органів тощо.

До роботи допускаються лише технічно справні машини і знаряддя, що повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані, а також

машини, що тривалий час не працювали, допускаються до роботи лише після їх обкатки і ретельної перевірки роботи всіх органів.

4.2. Оцінка безпечності сільськогосподарської техніки

Для оцінки безпеки сільськогосподарської техніки застосовують різні способи і засоби. Найбільш поширеними є безпосередній огляд, випробування і вимірювання параметрів. В окремих випадках, при експлуатації складного обладнання для оцінки рівня безпеки (небезпеки) складних сільськогосподарських машин, виробничих процесів, виробництв чи технологій з метою запобігання травмонебезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій застосовують складний але ефективний метод – аналітичний. Усі наведені методи є складовими універсального методу – методу експертної оцінки безпеки робочих місць, окремих машин, технологічних операцій (процесів) тощо [14-18].

Безпека при комплектуванні та використанні машинно-тракторних агрегатів Комплектує машинно-тракторний агрегат тракторист-машиніст, при потребі, за допомогою допоміжних робітників під обов'язковим контролем бригадира, механіка або агронома. Довільна заміна машин у складеному агрегаті без дозволу цих осіб не допускається. За технічний стан, комплектування і безпечне використанні машин, що знаходяться у приватній власності, несе повну відповідальність власник. До експлуатації допускаються абсолютно справні, відрегульовані і перевірені машини, що пройшли відповідну обкатку, у тому числі і нові машини.

Причіпні і начіпні машини заздалегідь перевіряють і агрегують лише з тими тракторами, що зазначені у заводській інструкції машини.

До роботи на агрегатах допускаються фізично здорові, навчені за спеціальною програмою (наявність посвідчення про кваліфікацію) і проінструктовані (за ГОСТ 12.0.004-90) механізатори. Залежно від виду

роботи механізатори повинні бути забезпечені відповідними засобами захисту і спецодягом.

Перед виконанням польових робіт поле спочатку обов'язково оглядає агроном (власник). Після цього (при потребі) його підготовлюють: видаляють велике каміння, засипають рови, яри, ями та інші перешкоди, а ті, що неможливо усунути, позначають віхами, табличками з попереджувальними написами. Після цього поле засмічують відповідно до операційної карти. Якщо працюватиме група агрегатів, то обов'язково вибирають, обладнують і позначають місце відпочинку.

На місце роботи агрегатів не допускають сторонніх осіб, які не мають відношення до технологічного процесу.

Механізовані процеси роботи і рух агрегатів мають відповідати розробленим і затвердженим агрономом або керівником господарства технологіям та маршрутам руху агрегатів.

На ділянках полів і доріг, над якими проходять повітряні лінії електропередач, робота і проїзд машини дозволяються у тому випадку, якщо відстань від найвищої точки машини або вантажу на транспортних засобах до нижнього проводу лінії електропередач не менша за такі величини, як наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Показники небезпечних зон

Напруга лінії електропередач, кВ	До 1	1-20	35-110	154	220	330-500
Відстань по горизонталі, м	1,5	2	4	5	6	9
Відстань по вертикалі,	1	2	3	5	4	5-6

Особливу увагу не обхідно приділяти агрегатам, що працюють на схилах. До керування такими агрегатами допускають механізаторів не нижче II класу, зі стажем роботи за спеціальністю не менше трьох років, що пройшли спеціальне навчання та інструктаж з безпеки праці.

В умовах гористої місцевості (на схилах), як правило, застосовують спеціальні машинно-тракторні агрегати і окремі машини (круто схильні модифікації). До роботи на схилах крутістю не більше як 8-9° допускаються трактори і комбайни загального призначення.

Працювати на схилах колісним тракторам на вузькій колії заборонено. При агрегуванні культиваторів із тракторами загального призначення застосовують автоматичні зчіпні пристрої. Під час автоматичного зчеплення машини на трактор не допускається перебування працюючих у небезпечній зоні, щоб запобігти виникненню небезпечних ситуацій в процесі агрегування. Значна кількість автоматичних причіпних і начіпних пристроїв, розроблених різними авторами і організаціями, промисловість серійно не випускає, тому, крім автоматичного начіпного пристрою АС-1, вони у господарствах не застосовуються. Більшість з них мають суттєві конструктивні недоліки: низька міцність, ненадійність, незручність у користуванні.

Одним з недоліків сільськогосподарських машин є те, що їх робочі органи не обладнані пристроями для самоочищення. Відповідно до існуючих правил таку роботу необхідно виконувати спеціальними пристроями (чистиками) при зупиненому агрегаті, а деяких машин – і при зупиненому двигуні.

Виконувати роботи під культиватором, піднятим за допомогою гідромеханізмів (гідросистем), забороняється. Тому роботу можна виконувати при заглушеному двигуні і надійно зафіксованому у піднятому положенні культиватора спеціальними підставками або пристроями.

4.3. Аналіз виробничих небезпек при використанні навісного культиватора

Результати аналізу виробничих небезпек, що виникають при експлуатації навісного культиватора приведені на схемі 4.1

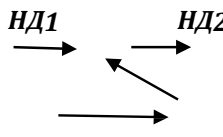
ВИД РОБІТ СКЛАД	ВИРОБНИЧА НЕБЕЗПЕКА	
	НЕБЕЗПЕЧНА УМОВА (НУ)	НЕБЕЗПЕЧНА ДІЯ (НД)
АГРЕГАТУВАННЯ НАЧІПНОГО ПЛУГА з ТРАКТОРОМ ХТЗ-120	З'ЄДНАННЯ НА ЧІПНОГО культиватора з ТРАКТОРОМ ЗДИЙСНЮЄТЬСЯ ЗА ДОПОМОГОЮ РУЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НУ МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ: НУ НС Т НД1 НД2 	У НЕБЕЗПЕЧНІЙ ЗОНІ ЗНАХОДИТЬСЯ ПРИЧІПЛЮВАЧ НД1 МОЖЛИВИЙ РУХ ТРАКТОРА БЕЗ КОМАНДИ ПРИЧІПЛЮВАЧА НД2
КУЛЬТИВАЦІЯ, ТРАКТОР ХТЗ-120 НАЧІПНИЙМ КУЛЬТИВАТОРОМ	МОЖЛИВА ТЕХНІЧНА НЕСПРАВНІСТЬ ГІДРОСИСТЕМИ НУ1 КУЛЬТИВАТОР НЕ ЗАФІКСОВАНИЙ У ПІДНЯТОМУ ПОЛОЖЕННІ НУ2	ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ПРИЧІПЛЮВАЧ ЗНАХОДИТЬСЯ БІЛЯ ПІДНЯТОГО ГІДРОСИСТЕМОЮ КУЛЬТИВАТОРА НД2
	МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ: НД ↓	
	НУ → НС → Т ↑	
	НУ2	
ТРАНСПОРТУВАННЯ НАЧІПНОГО культиватора	МОЖЛИВА ТЕХНІЧНА НЕСПРАВНІСТЬ ГІДРОСИСТЕМИ НУ1 КУЛЬТИВАТОР НЕ ЗАФІКСОВАНИЙ У ПІДНЯТОМУ ПОЛОЖЕННІ НУ2	ПЕРЕВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАКТОРА НД1 РІЗКЕ ГАЛЬМУВАННЯ НД2 І ОПУСКАННЯ ПЛУГА НД3
	МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ: НУ2 ↓	
	НУ2 → НС → А.Т	
	НД1 → НД2 → НД3	

Рисунок 4.1 – Модель виникнення травмонебезпечних ситуацій

4.4. Охорона навколишнього середовища під час використання сільськогосподарської техніки

Галузі сучасного виробництва, наносять не великої шкоди навколишньому середовищу, порушуючи його дисбаланс у природі. З цим пов'язаний і контроль раціонального використання природних ресурсів. З часів виникнення людської цивілізації в природному середовищі земної кулі, яка забезпечувала всі екологічні, економічні і соціальні потреби суспільства. Разом із зміною людства і розвитком матеріального виробництва неминуче змінювалось і природне середовище. Однак упродовж багатьох тисячоліть антропогенні впливи на середовище були настільки незначними і локальними, що в планетарному масштабі їхня дія була не шкідливою і практично непомітною. Ситуація докорінно змінилася лише в ХХ ст., коли демографічний вибух і друга індустріальна революція призвели до неминучих змін в природному середовищі. Вивчення законів життя природи та умов рівноважного існування природного середовища земної кулі тривалий час розглядали як другорядне і мало актуальне завдання. Машинобудівна промисловість значно забруднює навколишнє середовище, тому слід розробляти природоохоронні заходи: – впровадженнь безвідходного виробництва; – впровадженнь на виробництві нових технологій очистки води і повітря та інше [11], [12].

Забруднення довкілля, що виникли в результаті виготовлення рами ескаватора та заходи по їх зменшенню У виробництві розробляється технологічний процес та вибирається раціональне зварювальне устаткування і пристосування для виготовлення рами ескаватора . В процесі реалізації технологічного процесу виникають такі забруднення: електромагнітне, твердими відходами, води, викиди шкідливих газів в атмосферу. Джерелом електромагнітного забруднення є зварювальний трансформатор і електроустаткування, яке використовується в технологічному процесі. Тому

слід застосовувати спеціальні заходи що до захисту навколишнього середовища [11], [14].

Небезпека електромагнітних полів полягає в тому, що їх дія на організм є прихованою і не може бути виявленою без спеціальних засобів. Слід зазначити, електромагнітні поля штучного походження значно перевищують рівень природного фону. Підвищуючи рівень електромагнітних полів спричиняє порушенню біологічної рівноваги в районі дії, а отже веде до погіршення екологічної обстановки в цілому. Зварювальний трансформатор є джерелом змінних електричного і магнітного полів. Працівники, які довгий час перебувають у контакті з електромагнітним випромінюванням, скаржаться на слабкість, втому, дратівливість, слабкість погіршення пам'яті, порушення сну. Серцево-судинна система реагує дистонією, лабільністю пульсу і артеріального тиску, болем у серці, схильністю до гіпертонії. Відзначаються також фазові зміни складу периферійної крові, лабільність показників з наступним розвитком вираженої лейкопенії, нейропенії, еритроцитопенії. Звісно, такі критичні стани виникають у тих, хто тривалий час працює у зоні дії електромагнітних полів достатньо великої інтенсивності, але сама інформація змушує замислитися [11].

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

5.1. Методика та результати розрахунку економічної ефективності застосування пропонованого агрегату

Для підтвердження ефективності пропонованих рішень і припущень про можливість економії енергії, відповідно й коштів під час проведення мілкової обробки ґрунту проведемо аналіз ефективності їх використання в технологічному комплексі для виробництва зерна в модельному господарстві. Вибір машино–тракторного агрегату для обробки ґрунту проводиться з урахуванням умов конкретної культури (озимої пшениці) та обсягів її виробництва. Розрахунок проводився за допомогою програмного забезпечення „Агро+” [11], [27].

Початковими даними для розрахунку були: виробіток за годину основного часу сільськогосподарської машини (W_z), витрата палива агрегатом на виконання роботи (Q_{za}), ціна сільськогосподарської машини (C_m), нормативне та зональне завантаження сільськогосподарської машини і енергозасобу (H), ціна енергозасобу (C_e), потужність двигуна енергозасобу (P_e).

Виробіток за годину основного часу сільськогосподарської машини, розраховували за формулою [8], [9], [22]:

$$W_z = B_p \cdot \mathcal{G}_p \cdot 0,1, \text{ га/год.} \quad (5.1)$$

де B_p – робоча ширина захвату агрегату, м;

\mathcal{G}_p – робоча швидкість руху агрегату, км/год.

Знаючи проектну структуру робочого дня, тобто роботу двигуна в годинах на зупинках, переїздах, поворотах і на основній роботі, визначали норматив витрати палива на одиницю роботи:

$$Q_{\text{за}} = \frac{T_o \cdot Q_o + T_{\text{нов}} \cdot Q_{\text{нов}} + T_{\text{пер}} \cdot Q_{\text{пер}} + T_{\text{зуп}} \cdot Q_{\text{зуп}}}{H_3}, \quad (5.2)$$

де $Q_{\text{за}}$ – витрата палива агрегату на виконання роботи, кг/га;

$T_o, T_{\text{нов}}, T_{\text{пер}}, T_{\text{зуп}}$ – затрати часу протягом зміни, відповідно на виконання основної роботи, повороти, переїзди і на зупинки, год.;

$Q_o, Q_{\text{нов}}, Q_{\text{пер}}, Q_{\text{зуп}}$ – норматив витрати палива, відповідно на виконання основної роботи, повороти, переїзди і на зупинки, кг;

H_3 – змінна норма наробітку, яку визначали за формулою:

$$H = \frac{T_{\text{зм}} - (T_{\text{нз}} + T_{\text{во}} + T_{\text{об}}) \cdot W}{60 \cdot (1 + \tau_{\text{пер}} + \tau_{\text{нов}})}, \text{ га/зміну}$$

де $T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, хв.;

$T_{\text{нз}}$ – тривалість підготовчо-заклучних робіт;

$T_{\text{во}}$ – тривалість відпочинку і особистих потреб;

$T_{\text{об}}$ – тривалість обслуговування агрегату протягом зміни;

$\tau_{\text{пер}}$ – коефіцієнт переїздів:

$$\tau_{\text{пер}} = \left(t_{\text{пг}} + \frac{l_{\text{пер}}}{\mathcal{G}_{\text{мп}}} \right) \cdot \frac{W_z}{S_{\text{ср}}},$$

де $t_{\text{пг}}$ – тривалість підготовки агрегату до переїзду, год.;

$l_{\text{пер}}$ – віддаль переїзду, км;

$\mathcal{G}_{\text{мп}}$ – швидкість руху агрегату при переїзді км/год.;

$S_{\text{ср}}$ – площа ділянки, що обробляється, га;

$\tau_{\text{нов}}$ – коефіцієнт поворотів:

$$\tau_{\text{нов}} = \frac{16,6 \cdot \mathcal{G}_p \cdot t_{\text{нов}}}{l},$$

де l – середня довжина гонів, м;

$t_{\text{нов}}$ – час одного повороту, хв.

Лімітну ціну нової машини в гривнях визначали за формулою:

$$C_{\text{л}} = C_{\text{в.м.}} \cdot \sigma, \quad (5.3)$$

де $C_{\text{в.м.}}$ – верхня межа ціни нової машини, грн., визначали за формулою, за умови, коли відсутня балансова вартість:

$$Ц_{в.м.} = \left(\frac{(P'_n - P'_n + E) \cdot B_p}{a_n + E_k} \right) \cdot \frac{1}{\delta},$$

де P'_n – наведені затрати нової машини на одиницю роботи без затрат на реновацію та нормативну ефективність капіталовкладень, грн./га;

δ - коефіцієнт переводу оптової ціни в балансову.

σ - коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту від використання нової машини ($\sigma = 0,9$).

Узагальнені результати розрахунку економічної ефективності використання культиватора КН – 4,5У з розробленим робочим органом і базових варіантів подано в табл. 5.1 і додатку В.

Таблиця 5.1 - Результати розрахунку економічної ефективності використання культиватора КН – 4,5У з розробленим робочим органом

Показники		Машинно-тракторні агрегати		
		з розробленим робочим органом	базові	
			I	II
			JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У	JOHN DEERE 7830 + КРУ – 3,7
Витрати палива	кг/га	4,8	5,2	6,75
	грн./га	240	260	337,5
Затрати праці	л.год./га	0,26	0,29	0,37
	грн./га	8,9	9,7	12,6
Експлуатаційні затрати	грн./га	166,7	180,5	233,4
Приведені затрати	грн./га	229,8	241,07	302,3
Матеріаломісткість	кг/га	3,1	3,5	3,8
Енергоємність	мДж/га	205,0	222,0	288,2

Маючи приведені затрати на використання машино-тракторних агрегатів і затрати праці, визначили річний економічний (E_p) ефект від експлуатації КН – 4,5У з розробленим робочим органом за формулою:

$$E_p = H_3 \cdot (P_{\bar{o}} - P_n + Z_n), \quad (5.4)$$

де H_3 – річний наробіток нової машини в умовах даної природно-кліматичної зони, га/рік;

$P_{\bar{o}}, P_n$ – відповідно приведені затрати на одиницю наробітку за базовою і новою машинами, грн./га;

Z_n – затрати на оплату праці, грн./га.

Таким чином річний економічний ефект від використання машино-тракторного агрегату JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У 5 у порівнянні з базовими: варіант I склав 1361,14 грн., і варіант II – 14423 грн. Використання культиватора КН – 4,5У з розробленим робочим органом дає змогу зменшити енергоємність процесу обробітку ґрунту в порівнянні з КРУ – 3,7 на 8,7 % та КПП – 3,9 на 40,5 %, економія палива становить відповідно на 7,68 % і 29%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У роботі проведено аналіз сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур та систем обробітку гранту. Наведено аналіз та згруповано ґрунтообробні знаряддя за призначенням, способом дії та найбільш типовими конструктивно-технологічними схемами.

2. Аналіз літературних джерел демонструє, що під час комплектування МТА мало уваги приділяють питанням дослідження мінімальних значень енергії на руйнування структури скиби із забезпеченням відповідних агротехнічних вимог.

3. Проведено теоретичне обґрунтування та змодельовані параметри робочого органу – лапи культиватора для відповідного типу гранту. Обґрунтовано входні параметри моделі взаємодії, що впливають на зменшенню енергомісткості процесу, серед яких: параметри технологічного процесу (швидкість переміщення, механіко-технологічні властивості ґрунту енергія взаємодії ґрунту з робочою поверхню лапи. Визначено необхідну енергію на переміщення елементів ґрунту по робочій поверхні лапи.

4. Визначено мінімальні значення енергії, необхідної для кришення структури ґрунту до заданих агро вимог в кількості не менше 60%, яка знаходиться в межах 15...20 Дж/дм³. Встановлено, що затрати енергії на переміщення ґрунту, по робочій поверхні лапи складають 0,5...1,01 кДж.

5. Запропоновано удосконалену конструкцію лапи та схему культиватора.

6. Під час випробувань встановлено, що оптимальними геометричними параметрами робочого органу є наступні: кут різання а повинен знаходитись в межах 5...10 град, кут атаки лапи $2\alpha = 55...65$ град, ширина лапи $B_{л} = 300$ мм. За таких параметрів висота підйому оброблюваного шару ґрунту переміщатиметься по висоті вздовж леза лапи в межах $h = 25...35$ мм.

7. Річний економічний ефект від використання машино-тракторного агрегату JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У у порівнянні з базовими: варіант I склав 1361,14 грн., і варіант II – 14423 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bishop, R. H. (2002). The Mechatronics Handbook. CRC Press, Boca Raton, 12-29.
2. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., Skibchuk, V. (2021). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. Агроінженерні дослідження, 24, 77-82.
3. Products and services mobility [Електронний ресурс] : Режим доступу: [www https://ua.bosch-automotive.com/uk/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/engine_management_2/engine_control_unit_1](https://ua.bosch-automotive.com/uk/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/engine_management_2/engine_control_unit_1)
4. Адамчук В. В ., Грицишин М. І.. Система техніко –технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва. Аграрна наука, Київ, 2012. 416 с.
5. Аніскевич Л. В. Тенденції та шляхи розвитку машин для внесення технологічних матеріалів. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Харків. 2000. Вип. 1. С. 130-133
6. Бакум, М. В. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. Ч. 1. Плуги загального призначення / М. В. Бакум, С. П. Нікітін, А. В. Сергєєва ; за ред. М. В. Бакума ; Харк. держ. техн. ун-т с.-г. Х., 2003. 336
7. Безпека життєдіяльності [Текст] : підруч. для студ. с.-г. вузів / І. П. Пістун [та ін.]. Львів : Світ, 2005. 288 с.
8. Березівський П.С., Більський Б.В., Дудаш Я.Я., Березівський З.П. Організаційно-економічні параметри ресурсощадних технологій виробництва продукції рослинництва і тваринництва. Львів: Українські технології, 2000. 223 с.
9. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві. К.: Вища школа, 1995 237 с.

10. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. 2-е вид. К.: Каравела, 2008. 552 с.
11. Воронов А. К. Навколишнє середовище та розвиток, К.: Наукова думка, 2005.
12. Грунтообробна техніка Elvorti URL: <https://elvortishop.com.ua/ua/> (дата звернення: 05.11.2021р.)
13. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. К.: Нора-прінт, 2003. 280 с.
14. Гутаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: навч. пос. 2006. 292 с.
15. ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. К.: Держстандарт України, 2008. 42 с.
16. ДСТУ 3524-97. Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення. К.: Держстандарт України, 2009. 21 с.
17. ДСТУ 3942-2000. Надійність техніки. Плани випробувань для контролю середнього наробітку до відмови (на відмову). К.: Держстандарт України, 2000. 30 с.
18. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин : [у 2 т.] / П.М. Заїка. Харків : ОКО, 2001. Т. 1, ч. 1 “Машини та знаряддя для обробітку ґрунту”. 443 с.
19. Ковбаса В.П. Механіко-технологічне обґрунтування оптимізації взаємодії робочих органів з ґрунтом: Дис... докт. техн. наук 05.05.11 машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / Національний аграрний університет. К., 2006. 346 с.
20. Кравченко М.С. та ін.. Землеробство: Підручник / М.С. Кравченко, Ю.А. Злобін, О.М. Царенко; За ред. М.С. Кравченка. 496с.; іл. К.: Либідь, 2002.

21. Кравчук В.І., Гуков Я.С. Енерговитрати при розпушенні ґрунту механічним способом // Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". Т. VIII. К.: НАУ, 2000.
22. Листопад І.І. Нормування праці в сільськогосподарських підприємствах: Навч. посібник. Харків: ХДАУ. 2008. 186 с.
23. Лупенко Ю.О., Малік М.Й., Шпикуляк О.Г. Інноваційне забезпечення розвитку сільського господарства України: проблеми та перспективи. ННЦ ІАЕ, Київ, 2014. 516 с.
24. Міляєв Ю. П. Нечипоренко О. М. Основи надійності технічних систем: навч. посіб. К.: Видавн.-полігр. центр Акад. муніцип. управління, 2008. 246 с.
25. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / [Войтюк Д.Г., Бороновський В.М., Булгаков В.М. та ін.]; за ред. Д.Г. Войтюка. К. : Вища освіта, 2005. 464 с.
26. Хітров І.О., Бундза О.З., Бабич, О.Я. Організація технічного сервісу машин дилерським підприємством. Сільськогосподарські машини, 2018. С. 40, 121-130.
27. Шевчук Р. С. Крупич О.М. Економічна оцінка спеціалізованої сільсько-господарської техніки: Методичні рекомендації. М. Львів, 2004. 27 с.

ДОДАТКИ

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО -
ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Дослідження ефективності роботи лапи культиватора під
час мілкого обробітку ґрунту**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав: студент 2го курсу, групи МГАІ-1-24
Віталій САМАРСЬКИЙ**

**Керівник: к.т.н., доцент
Наталя ПОНОМАРЕНКО**

Дніпро 2025

Метою роботи є: підвищення технологічної ефективності та зниження собівартості виконання операцій шляхом обґрунтування параметрів робочого органу культиватора для мілького обробітку ґрунту

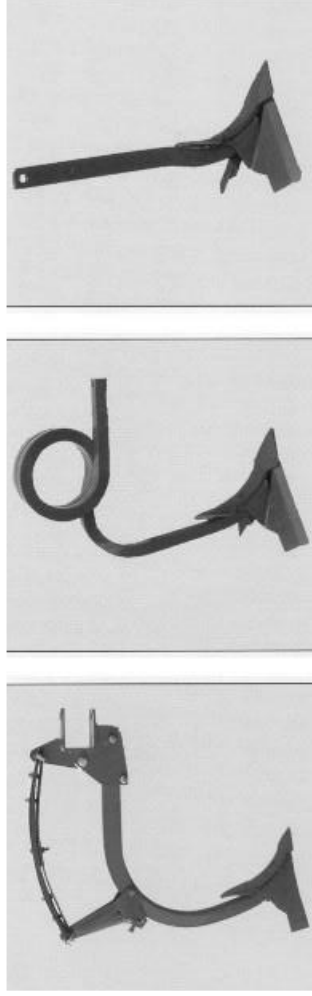
Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Провести аналіз технологій мінімального мілького обробітку ґрунту, способів її реалізації.
2. Дослідити конструктивно-технологічні схеми та конструктивні параметри ґрунтообробних машин та встановити чинники, що визначально впливають на зменшення енергоємності процесу.
3. Провести теоретичне обґрунтування взаємодії робочого органу з ґрунтом та встановити оптимальні параметри для зниження є підвищення якості та зниження собівартості виконання операцій по основному обробітку ґрунту
4. Дослідити ефективність обробітку ґрунту залежно від геометричних параметрів робочого органу та динамічного навантаження.
5. Встановити оптимальну швидкість руху агрегату з врахуванням витрати палива та ефективності обробітку
6. Провести економічний розрахунок ефективності використання робочого органу для мілького обробітку ґрунту порівняно з аналогічними агрегатами.

Об'єкт дослідження. Технології, процеси та робочий орган ґрунтообробної машини для мілького обробітку ґрунту

Предмет дослідження. Умови та закономірності взаємодії робочого органу з ґрунтом, вплив його параметрів на енергозатрату якості мілького обробітку ґрунту

Аналіз схем та конструкційних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин



Робочі органи чизельних культиваторів

Культиватор-чизельний з котками компанії Kleverland

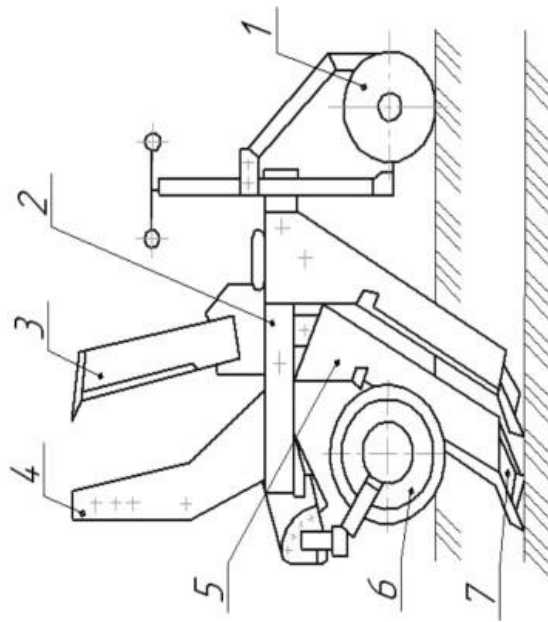


Плоскорізь-цілювач ПЩН-2,5

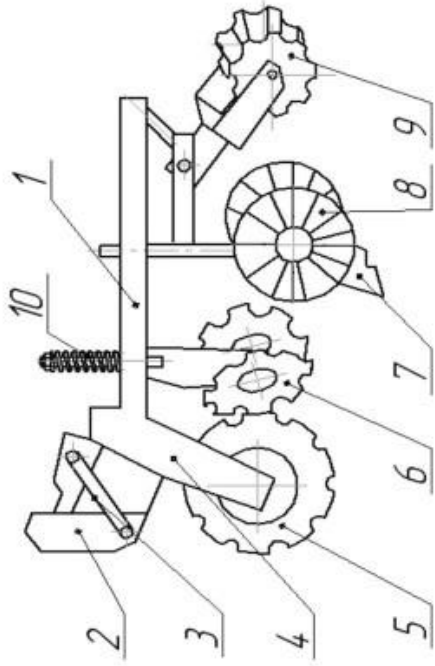


Комбінована машина для передсівного обробітку ґрунту LEMKEN Koralin

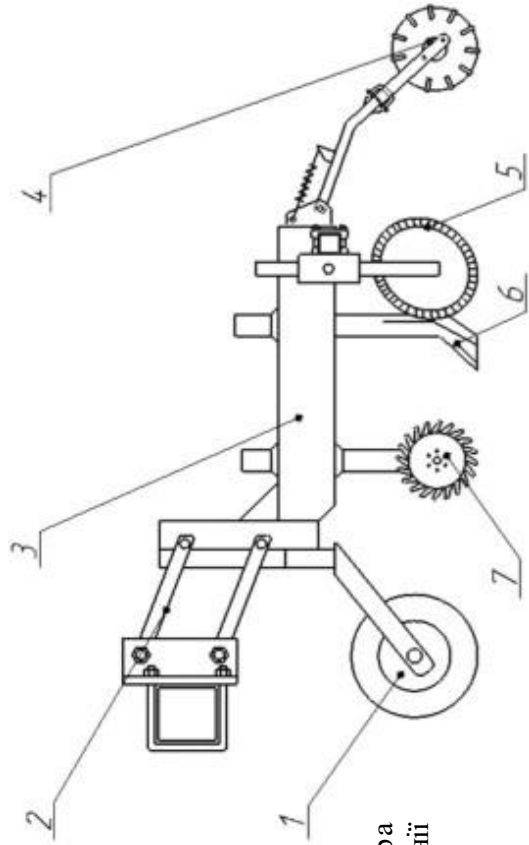
Методи вдосконалення пасивних робочих органів фунтообробних машин



Робочий орган для безвідвальної обробки ґрунту

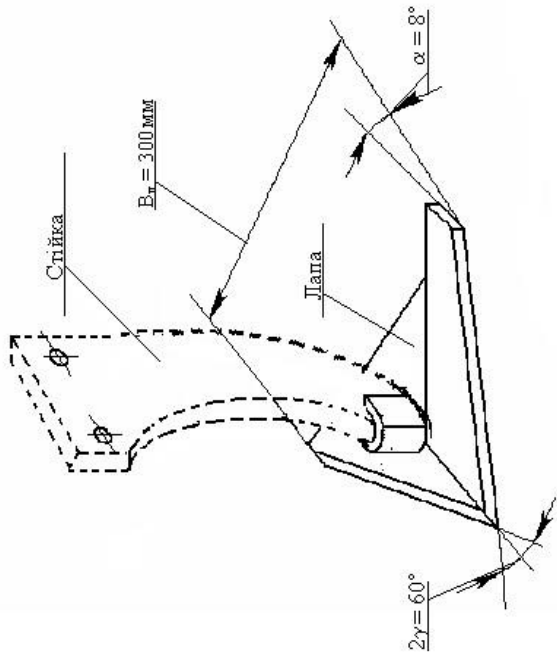


Секція комбінованої машини для обробки ґрунту виробництва компанії Carter



Секція культиватора виробництва компанії Super Duty

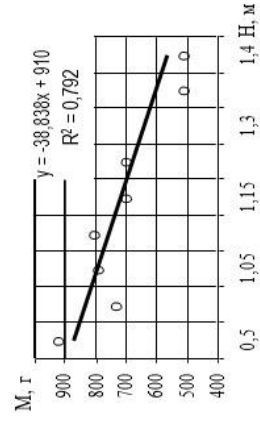
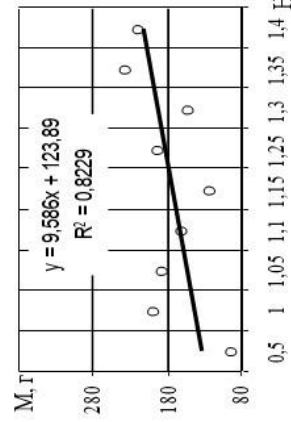
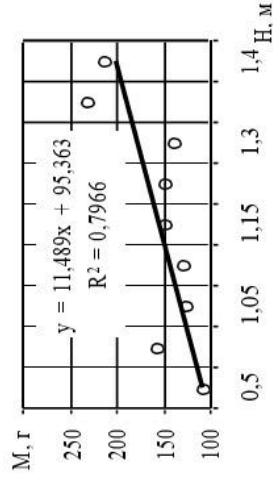
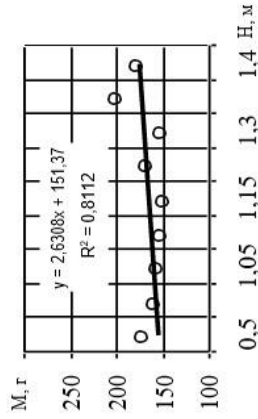
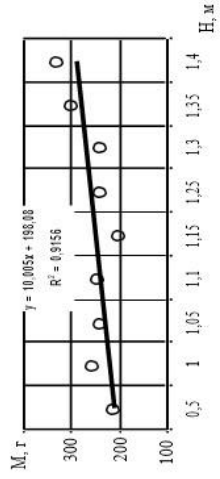
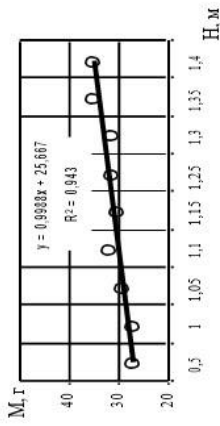
Теоретичне обґрунтування параметрів робочого органу для м'якого обробітку ґрунту



Конструктивна схема робочого органу культиватора для м'якого обробітку ґрунту

Залежність фракційного складу зразків ґрунту від висоти падіння

- а) – розмір фракції до 1 мм; г) – розмір фракції від 5 до 7 мм;
- б) – розмір фракції від 1 до 3 мм; д) – розмір фракції від 7 до 10 мм;
- в) – розмір фракції від 3 до 5 мм; е) – розмір фракції більше 10 мм.



Випробування лапи культиватора для мілкового обробітку ґрунту

№ заміру	Показники	До проходу	Варіанти робочих органів																	
			А			Б			В			Г			Д			Е		
			п-п	п-з	п-п	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	п-п	п-з	
I	M	10,1	9,6	11,6	11,5	12,7	12,0	13,0	12,5	12,3	12,2	13,6	12,6	12,1	12,0					
	σ	2,01	1,8	2,21	1,59	2,65	1,31	1,97	1,84	3,52	2,20	3,06	2,44	2,83	2,65					
II	M	9,5	8,9	12,4	12,2	11,9	11,8	11,9	11,7	12,7	12,5	13,7	13,4	13,3	13,0					
	σ	1,76	1,56	2,41	1,66	2,17	1,41	3,65	1,68	3,55	2,86	2,45	1,63	2,4	2,01					
III	M	10,4	10,3	11,8	11,7	12,0	11,5	12,9	12,6	13,6	13,2	12,3	12,0	13,9	13,4					
	σ	2,06	2,3	2,62	2,22	3,58	2,52	3,01	1,59	3,12	2,00	3,23	1,83	2,76	1,53					
Середнє	M	10	9,6	11,9	11,8	12,2	11,8	12,6	12,3	12,9	12,6	13,2	12,7	13,1	12,8					
	σ	1,94	1,89	2,41	1,82	2,8	1,75	2,88	1,70	3,40	2,35	2,91	1,97	2,66	2,06					

Результати розрахунку економічної ефективності використання культиватора
КН – 4,5У з розробленим робочим органом

Показники	Машинно-тракторні агрегати		
	з розробленим робочим органом	базові	
		I	II
Витрати палива	JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У	JOHN DEERE 7830 + КРУ – 3,7	JOHN DEERE 7830 + КПП – 3,9
	4,8	5,2	6,75
Затрати праці	240	260	337,5
	0,26	0,29	0,37
Експлуатаційні затрати	8,9	9,7	12,6
	166,7	180,5	233,4
Приведені затрати	229,8	241,07	302,3
Матеріаломісткість	3,1	3,5	3,8
Енергоємність	205,0	222,0	288,2

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У роботі проведено аналіз сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур систем обробітку ґранту. Наведено аналіз та згруповано ґрантообробні знаряддя за призначенням, способом дії та найбільш типовими конструктивно-технологічними схемами.
2. Аналіз літературних джерел демонструє, що під час комплектування МТА мало уваги приділяють питанням дослідження мінімальних значень енергії на руйнування структури ґранту із забезпеченням відповідних агротехнічних вимог.
3. Проведено теоретичне обґрунтування змодельовані параметри робочого органу – лапи культиватора для відповідного типу ґранту. Обґрунтовано входні параметри моделі взаємодії, що впливають на зменшенню енергомісткості процесу, серед яких: параметри технологічного процесу (швидкість переміщення, механіко-технологічні властивості ґранту енергія взаємодії ґранту з робочою поверхню лапи. Визначено необхідну енергію на переміщення елементів ґранту по робочій поверхні лапи.
4. Визначено мінімальні значення енергії, необхідної для кришення структури ґранту до заданих агрономічних вимог в кількості не менше 60%, яка знаходиться в межах 15...20 Дж/дм³. Встановлено, що затрати енергії на переміщення ґранту, по робочій поверхні лапи складають 0,5...1,01 кДж.
5. Запропоновано удосконалену конструкцію лапи та схему культиватора
6. Під час випробувань встановлено, що оптимальними геометричними параметрами робочого органу є наступні: кут різання а повинен знаходитись в межах 5...10 градус, кут атаки лапи $2g = 55...65$ град, ширина лапи $B_л = 300$ мм. За таких параметрів висота підйому оброблюваного шару ґранту переміщатиметься по висоті вздовж лапи в межах $h = 25...35$ мм.
7. Річний економічний ефект від використання машинно-тракторного агрегату JOHN DEERE 7830 + КН 4,5У у порівнянні з базовими: варіант I склав 1361,14 грн., і варіант II – 14423 грн.