

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерно – технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:  
Завідувач кафедри  
к.т.н., професор Гунько І. В.

---

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТООБРОБНОЇ МАШИНИ

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
зі спеціальності 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи АІ-22-1 Маг  
Лапчук Вадим Васильович

---

Керівник: к.т.н., доцент  
Труханська Олена Олександрівна

---

Вінниця – 2023 р.

# ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра агроінженерії  
та технічного сервісу

Інженерно-технологічний  
факультет

## **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри АІ та ТС  
к.т.н. професор Гунько І.В.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту \_\_\_\_\_ Лапчуку Вадиму Васильовичу \_\_\_\_\_

на тему:

### ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТООБРОБНОЇ МАШИНИ

затверджену Наказом від \_\_\_\_\_ 02 грудня 2022 року \_\_\_\_\_ № 188м \_\_\_\_\_

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План магістерської роботи.
3. Підручники і навчально – методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, патенти) щодо технологічного процесу обробітку ґрунту.
5. Методика оцінки результатів досліджень.

### Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи	Обсяг, стор.	Термін підготовки
Анотація, Вступ	2-4	грудень - січень
Розділ 1. Стан питання, мета і задачі досліджень	20-25	лютий - березень
Розділ 2. Теоретичне обґрунтування параметрів робочих органів культиватора	20-25	березень - травень
Розділ 3. Методика проведення і результати досліджень	10-20	травень - вересень
Висновки	1-2	вересень - жовтень
Список використаних джерел	3-5	жовтень

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту

Завдання видано

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	10
1.1. Фізико-механічні властивості ґрунту .....	10
1.2. Агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту.....	12
1.3. Аналіз технічних засобів обробітку ґрунту .....	15
1.4. Висновки до розділу, мета та задачі досліджень .....	39
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ .....	41
2.1. Моделювання процесу вібраційного розпушування ґрунту.....	41
2.2. Моделювання напружено-деформованого стану стійки.....	56
2.3. Висновки до розділу .....	66
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ....	68
3.1. Методика проведення досліджень.....	68
3.2. Результати досліджень.....	73
3.3. Висновки до розділу .....	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	80
ДОДАТКИ	

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему: «Обґрунтування конструктивно – технологічних параметрів ґрунтообробної машини» складається із вступу, 3 розділів розрахунково-пояснювальної записки, загальних висновків, списку використаних джерел з 42 найменувань і 9 аркушів графічної частини. Основний зміст роботи викладений на 84 сторінках машинописного тексту, містить рисунки і таблиці.

Магістерська робота присвячена удосконаленню технологічного процесу поверхневого передпосівного обробітку ґрунту.

У першому розділі наведено аналіз конструкцій ґрунтообробних машин - культиваторів та їх робочих органів, виявлені недоліки за якістю обробітку, поставлено мету та задачі досліджень.

У другому розділі обґрунтовано основні параметри робочих органів культиватора на основі теорії пружності і деформації, та процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом.

У третьому розділі наведено методика проведення досліджень та їх результати.

Використання запропонованого культиватора дозволить підвищити ефективність проведення процесу поверхневого обробітку ґрунту, поліпшити якість подрібнення ґрунту, що забезпечить збільшення врожайності сільськогосподарських культур у порівнянні із традиційною технологією поверхневого обробітку ґрунту.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого удосконалення машин для обробітку ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, обробіток, культиватор, стійка, якість, розпушування.

## SUMMARY

Master's work on the topic «Justification of the constructive and technological parameters of the tillage machine» consists of the introduction, 3 sections of the

calculation and explanatory note, general conclusions, the list of sources used from 42 titles and 9 sheets of the graphic part. The main content of the work is presented on 84 pages of typewritten text, contains drawings and tables.

Master's work is devoted to the improvement of the technological process of surface soil cultivation.

The first section provides an analysis of the design of the cultivators and their working bodies, identified deficiencies in the quality of cultivation, set the goal and objectives of the research.

The second chapter substantiates the basic parameters of the working bodies of the cultivator on the basis of the theory of elasticity and deformation, and the process of interaction of the working body with the soil.

The third section provides a methodology for conducting research and its results.

The use the cultivator will increase the efficiency of the process of surface cultivation of the soil, improve the quality of ground grinding, which will increase the crop yields compared to the traditional soil cultivating technology.

The obtained results can be used for further improvement of machines for soil cultivation.

Key words: soil, cultivation, cultivator, rack, quality, loosening.

## ВСТУП

В умовах зростання споживання продуктів харчування і економії енергетичних показників важливим є фактор зменшення собівартості продукції, що випускається в сільськогосподарській галузі. Це реалізується за рахунок впровадження високопродуктивних техніки і технологій обробки ґрунту. Як відомо, система органічного землеробства спрямована на максимальне адаптацію виконуваних технологічних процесів до ґрунтово-кліматичних умов та біологічних особливостей культур. Це робить проблематичним використання традиційних полицевих робочих органів. В

той же час не зважаючи на різні тенденції та погляди на систему землеробства, обробіток ґрунту з обертом шару найближчим часом буде практикуватись, в тому числі, і в органічному землеробстві, але потрібен робочий орган, спеціально адаптований до цієї системи. Тому актуальним напрямком у обробітку ґрунті є пошук перспективних менш енергоємних способів передпосівного розпушення ущільнених шарів ґрунту і розробка досконалих машин для його виконання. Мета роботи – поліпшення якості обробітку ґрунту шляхом регулювання та оптимізації жорсткості пружної стійки культиватора.

Задачі досліджень. Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

Виконаний аналіз сучасних технологій і технічних засобів обробітку ґрунту і окреслені невирішені проблеми розроблюваної конструкції;

Обґрунтувати компоновочну схему знаряддя;

Розробити математичну модель взаємодії робочого органа з ґрунтовим середовищем.

Виконати дослідження на підтвердження адекватності розробленої математичної моделі. Виконати техніко-економічні розрахунки ефективності досліджень.

Технологічний процес розпушування ґрунту робочими органами культиватора.

Предмет досліджень. Технологічні та конструктивні параметри культиватора.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані з використанням методів класичної механіки, моделювання, математичної статистики, теорії пружності.

## РОЗДІЛ 1. стан питання, мета і задачі досліджень

### 1.1. Фізико-механічні властивості ґрунту

Сучасний етап розвитку людства характеризується безперервним збільшенням обсягів виробництва продовольства, що до недавнього часу розглядалось як єдиний критерій успішного ведення сільського господарства. У зв'язку з тим, що сільське господарство завжди пов'язане з перетворенням природи і завжди чинить негативний вплив на довкілля, постійне нарощування виробництва продукції піднесли ці перетворення на новий рівень і тому нині сільське господарство спричиняє величезні екологічні негаразди, призводячи до виснаження екосистем та втрати біологічного різноманіття [1-3].

В Україні нераціональне землекористування і ведення сільського господарства без врахування необхідності відновлення ґрунтового покриву призвело до прогресуючої деградації та зниження родючості ґрунтів – основи сільськогосподарського виробництва. Щорічні втрати органічного складу становлять від 0,6 до 1 тонни на один гектар. Вміст гумусу протягом останніх років знизився на 25% [4].

Усвідомлення зростання екологічної загрози внаслідок інтенсивного ведення землеробства підштовхує науковців, виробників, політиків і споживачів до розробки альтернативних методів ведення землеробства [4].

Процес розробки робочих органів ґрунтообробних машин містить окремі обов'язкові елементи, серед яких математична модель взаємодії з оброблюваним середовищем є практично визначальною, бо дозволяє на проектному етапі обґрунтувати раціональні параметри конструкції.

Ґрунтове середовище описується достатньо великою кількістю показників [11], які в тій чи іншій мірі використовуються в моделях. Але саме їх велика кількість обмежує можливості моделі адекватно описувати процес взаємодії знаряддя з ґрунтом. Діло в тому, що поверхню робочого органу при створенні математичної моделі розглядають як сукупність окремих ділянок, на яких одні і ті ж механіко-технологічні властивості ґрунту мають не однаковий вплив. Доводиться загальну реакцію визначати як механічну



суму окремих реакцій, обумовлених впливом тих чи інших механіко-технологічних властивостей, що не дозволяє враховувати їх взаємний вплив одна на одну.

Вирішення проблеми полягає в введенні єдиного інтегрального показника механіко-технологічних властивостей [5-10].

В роботі [11], проаналізувавши взаємодію з ґрунтом найбільш характерних знарядь, запропоновано в якості такого показника прийняти питоме зчеплення часток ґрунту. Цей висновок базується на тому, що основні енерговитрати ідуть на різання з відокремленням призми ґрунту, а внесок інших складових можна визначити в процентному співвідношенні.

В роботі [11] було відмічено, що основні механіко-технологічні властивості ґрунту визначаються в ході експериментів на зсув і зминання. Питоме зчеплення часток входить в цю групу і визначається експериментом на зминання. Тому, цілком логічним є встановити взаємозалежність цих показників. В роботах [11,15,17,32] було виконано ряд експериментів, в ході яких ця залежність встановлена. Отриманий масив даних після статистичної обробки представлений у вигляді регресійних моделей, де  $n$ - кількість ударів твердоміру ДорНДІ [16]

Питоме зчеплення часток ґрунту описується кубічним рівнянням регресії :

Твердість ґрунту описується квадратичним рівнянням регресії [11]:

Межа несучої спроможності ґрунту описується квадратичним рівнянням регресії [16]

Кут внутрішнього тертя консолідованого ґрунту описується квадратичним рівнянням регресії [16] :

Всі отримані рівняння мають досить високі коефіцієнти кореляції і детермінації, тому їх можна використовувати в математичній моделі.

Суто теоретично в математичній моделі можна скористуватись імітаційною моделлю ґрунтового середовища, але оглядом літературних джерел вдалих прикладів такого використання не знайдено.

Наведені показники характеризують механічні властивості ґрунту у

консолідованому стані. При цьому під консолідованим станом розуміють стан ґрунту при якому він являє собою однорідну злежалу масу.

Для моделювання фізичних властивостей запропоновано ряд окремих показників

Коефіцієнт різноподрібнення структурованих агрегатів [15]. Показник характеризує неоднорідність механічного складу як консолідованого, так і розпушеного ґрунту.

(1.1)

де  $D_{60}$  і  $D_{10}$  – середній приведений діаметр ґрунтових агрегатів, що складають відповідно 60 і 10% по масі

1. Середній приведений діаметр визначається за залежністю

(1.2)

де  $m$  – маса окремо взятої грудки;  $\gamma$  – питома маса ґрунту

2. Ступінь подрібнення [15]. Усереднений показник, що характеризує ступінь кришення з точки зору утворення агрономічно цінних агрегатів з приведеним діаметром 5 – 10 мм

(1.3)

## 1.2. Агротехнічні вимоги до передпосівного обробітку ґрунту

Виходячи з різних джерел визначення поняття органічного землеробства його можна трактувати як систему сільськогосподарського менеджменту агроєкосистем, що ґрунтується на максимальному використанні біологічних факторів підвищення родючості ґрунтів, захисту рослин, та інших заходів, які забороняють або значною мірою обмежують використання синтетичних комбінованих добрив, пестицидів, регуляторів росту та харчових добавок до кормів при відгодівлі худоби [25].

Під мінімальним обробітком розуміють систему обробітку ґрунту, що забезпечує зменшення енергетичних витрат шляхом зменшення глибини і

інтенсивності обробітку, суміщення декількох технологічних операцій.

З досвіду інших країн (Швейцарія) [33]: дискова борона (фактично дискатор): культиватор з стрільчастими лапами; -лушчільник (інакше -букер); оборотний з системою On-Land; борони (пружні, зубові).

Таким чином, системи машин доволі близькі за складом, що додатково знаходить підтвердження в роботі[34].

Як бачимо весь комплекс машин спрямований на мілке (до 15 см) заорювання рослинних решток, що збагачує гумусом тільки поверхневий шар і це призводить до диференціації його за родючістю. Але існує ряд культур, коренева система яких розповсюджується значно глибше, тому оранку з обертом шару необхідно раз на декілька років проводити.

Правомірність застосування методів біоніки на етапі формування конструктивної схеми а.

Робота ґрунтообробних знарядь виконується практично за такою ж схемою. Тому ці два процеси можна вважати функціонально подібними. Логічним, було б скопіювати геометрію тварин і розробити на цій основі ґрунтообробні знаряддя. Але скористатись критеріями подібності не вийде, бо процесі мають різну фізичну природу.

Загальну послідовність досліджень на основі біоніки можна представити у вигляді відпрацьованої нами схеми (рис.1.1.) Слід відмітити, що наявність в схемі 3D моделі викликана суцього суб'єктивними причинами: для візуального контролю розробником відповідності моделі аналогу.

Рисунок 1.1 – Блок-схема досліджень з використанням методів біоніки  
Важливим в застосуванні методів біоніки є інтуїція розробника в

розрізі вибору аналогу. Самий простіший варіант – це зовнішня схожість. Але треба мати на увазі, що процеси у ґрунтовому і водному середовищі

протікають не однаково, тому для прийняття рішення треба досконало вивчити діючі механізми, що визначають властивості аналогу. Перш за все треба мати на увазі, що тварина рухається у середовищі за рахунок власних доведених до рушіїв сил. Тобто ми маємо штовхаючий варіант переміщення.

Грунтообробні знаряддя працюють за тягнучою схемою. По-друге, Практично всі розрахункові моделі роботи ґрунтообробних знарядь, окрім інших показників враховують коефіцієнти зовнішнього тертя спокою і ковзання. Рідина коефіцієнту тертя спокою не має.

Виконаними дослідженнями [9] підтверджено, що процеси в водному середовищі близькі за фізичною суттю до тих, що відбуваються в ґрунтовому середовищі. Загальним висновком є те, що можна провести аналогію між тяговим опором ґрунтообробного знаряддя за теорією внутрішньої напруги А.М.Панченко [35], яка в наших дослідженнях прийнята за основу і складовими опору руху тіла у водному середовищі.

Таблиця 1.1 – Відповідність складових реакції ґрунту за теорією внутрішньої напруги і складових лобового опору тіла, що рухається у водному середовищі[9]

ТЯГОВИЙ ОПІР ГРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДА ЗА А.М. ПАНЧЕНКО	СКЛАДОВІ ОПОРУ РУХУ В ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ
Опір на скол призми ґрунту $P_p = C_{\text{пит}} \cdot F_{\text{ск}} \cdot f_{(\varphi, \rho, V)}$	Лобовий опір $F_L = C_{\text{хт}} \cdot S_{\tau} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2},$
$C_{\text{пит}}$ - Питоме зчеплення часток ґрунту	$C_{\text{х}}$ - Коефіцієнт лобового опору
$F_{\text{ск}}$ - Площа сколу призми ґрунту	$S$ - Площа міделевого перетину
Ріжучий периметр	Довжина обводного контуру
Тиск на робочу поверхню (реакція підпірної стінки)	Барометричний (висотний) тиск води
$S_p$ - Площа робочої поверхні	Площа змочуваної поверхні
$\rho$ - Щільність ґрунту	$\rho$ - Щільність водного середовища
$V$ - Швидкість руху	$V$ - Швидкість руху
$\varphi$ - Коефіцієнт тертя спокою	Показник для рідини відсутній

$\phi$ - Коефіцієнт тертя ковзання	$\phi$ - Коефіцієнт тертя ковзання
$i$ - Коефіцієнт розпушення	$R_E$ - Число Рейнольдса

Аналіз табл.1.1. показує, що для всіх вихідних параметрів в обох залежностях є аналоги, які можна використати для визначення критеріїв подібності, що є основною умовою модельних досліджень.

Таким чином, тіло морських тварин може бути прийнятим в якості біологічного аналогу ґрунтообробних робочих органів

В роботі [11], проаналізувавши взаємодію з ґрунтом найбільш характерних знарядь, запропоновано в якості такого показника прийняти питоме счеплення часток ґрунту. Цей висновок базується на тому, що основні енерговитрати ідуть на різання з відокремленням призми ґрунту, а внесок інших складових можна визначити в процентному співвідношенні.

В роботі [11] було відмічено, що основні механіко-технологічні властивості ґрунту визначаються в ході експериментів на зсув і зминання. Питоме счеплення часток входить в цю групу і визначається експериментом на зминання. Тому, цілком логічним є встановити взаємозалежність цих.

### 1.3. Аналіз технічних засобів обробітку ґрунту

Сутність методики полягає в тому, що використовуючи метод можливих переміщень послідовно будують три поверхні робочого корпусу, на основі яких отримують розгортку робочої поверхні, а також пуансон і матрицю, що надає можливості виготовити робочу поверхню

шляхом штампування. Методика передбачає проектування полиці і а, як єдиного цільного елемента конструкції. Але, на практиці виявилось, що конструкцію доцільно виготовляти з двох окремих елементів – а і полиці. Так склалася традиційна схема корпусу тракторного а. Але реальна конструкція більше деталізована (рис.1.1). Це пов'язане з тим, що окремі елементи

конструкції мають різну інтенсивність зносу і тому полиця складається з окремих елементів, виконаних у відповідності до вимог зносостійкості. Конструкція має багато складових одиниць, але в умовах масового виробництва доцільніше заради зносостійкості йти на такі ускладнення.

Рисунок 1.1 - – Деталізована конструктивна схема робочого органу

*Сучасні конструкції ів.* у відповідності до призначення – це робоча частина корпусу, яка підрізає шар ґрунту і спрямовує його на полицю. Виробники, як вітчизняні так і закордонні випускають доволі велику кількість ів, які зовні відрізняються один від одного, але всі конструктивні виконання можна об'єднати в 4 основні групи (рис.1.2.

Рисунок 1.2 – відомі конструкції

Як видно з аналізу рис.1.1. в основі всіх базових конструкцій закладений трапецевидний . Для конкретного конструктивного виконання корпусу достатньо поєднати серійний з такою ж серійною полицею.

Проаналізуємо переваги і недоліки найбільш поширених варіантів виконання ів. Найпростішим за конструктивним виконанням є трапецевидний (рис.1.3.) Виготовляється за правило з спеціальної лемішної сталі, або за спрощеним варіантом з листової сталі 65Г з наступною термічною обробкою.

Трапецевидний є найпростішим за виконанням, але має суттєвий недолік – він формує плоске суцільне дно борозни, що провокує утворення плужної підшви.

Для боротьби з даним явищем застосовують долотоподібні і рис.(1.4) і рис.1.5.)

Рисунок 1.4 – суцільний

Рисунок 1.5 - Трапецевидний \.

Враховуючи, те що є досить навантаженим робочим елементом конструкції і до того ж працює абразивному середовищі прийняті конструктивно-технологічні заходи по підвищенню його довговічності: стали виконувати суцільнокованим (рис.1.6.) з високолегованої сталі. Окрім того, що сталь сама по собі міцніша, використовується ще і ефект наклепу. Не зважаючи на те, що такий дорожчий у виготовленні, ефект від підвищення технологічної надійності перекидає витрати.

Рисунок 1.6 – суцільно кований .

Огляд аналітичних досліджень.

Приоритет в галузі аналітичних досліджень взаємодії з ґрунтом робочих органів різного конструктивного виконання в тому числі і плужного корпусу на сучасному етапі належить ДДАЕУ. Всього розроблено три аналітичні моделі. Розглянемо їх основні положення.

Модель С.С.Тищенко [18].

На підставі порівняння методик формування робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь різного призначення автором встановлено, що незалежно від типу робочого органа головними параметрами, що визначають його геометрію є вид направляючої кривої і закон переміщення утворюючої вздовж неї. Встановлено, що вид направляючої визначається коефіцієнтом защемлення, який є відмінним для різного виду знарядь і може змінюватись в процесі переміщення ґрунту по поверхні робочого органа.

Коефіцієнт защемлення є суцільно теоретичною величиною і визначається за залежністю

$T_r$  – рівнодіюча сил тертя;

$F_2$  – коефіцієнт внутрішнього тертя

$\Delta\alpha$  – кут укладання грудок.

Миттєве значення радіусу кривизни направляючої кривої в загальному  
виді

(1.2)

де  $d$  – середній приведений діаметр грудок

$\varphi$  – кут в полярній системі координат

Кінематичний аналіз дії робочих поверхонь на ґрунт на основі залежності  
коефіцієнта защемлення дає наступні значення радіусу кривизни  
направляючої для конкретних робочих органів :

$$r = \frac{d}{2 f_2 K_{зцо} \varphi} \text{ - культиваторна лапа}$$

$$r = \frac{d}{2 f_2 K_{зцо}} e^{w\varphi} \text{ - напівгвинтовий корпус а}$$

$$r = \frac{d e^{w\varphi}}{2 f_2 K_{зцо}} \text{ - культурний корпус а} \quad (1.3)$$

Модель А.М. Панченко[15]. Сутність моделі полягає в наступному.



Робочий орган функціонально поділяється на ріжучий периметр і робочі поверхні. Кромки ріжучого периметру зминають ґрунт і відділяють від загального масиву призму сколу, яка надходить на робочі поверхні. Робочі поверхні розглядають як плоскі поверхні, які з певним ступенем наближення відтворюють загальну поверхню. Поверхні сприймають тиск ґрунту, сили тертя і швидкісний напор. Таким чином загальний тяговий опір має наступні складові. [15]

(1.4)

$\cos\varphi$

де  $P_{СК}$ ,  $P_N$ ,  $P_{ТР}$ ,  $P_{ЗАТ}$ ,  $P_V$ , - проекції на напрямок руху відповідно сил сколу призми, нормального тиску ґрунту на поверхню, сила тертя при переміщенні ґрунту вздовж робочої поверхні, додаткова сила від затуплення леза, швидкісна складова опору.

$\Phi$  – кут зовнішнього тертя ґрунту;

$i$  – коефіцієнт ковзання.

Сила сколу призми визначається за формулою

(1.5)

де  $F_{СК}$  – сумарна площа зколу;

$C_{y\theta}$  – питоме зчеплення часток ґрунту

Швидкісна складова визначається за формулою

$$\frac{9,81 \cdot b \cdot a \cdot \gamma}{g} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \theta}{\sin(\alpha + \theta)} \cdot V^2$$

(1.6)

де  $V$  – Робоча швидкість

$\alpha$  = – кут постановки ділянки лапи до dna борозни

$\theta$  = – задній кут леза

$$P_{\text{ЗАТ}} = K' \tau (Z + X \tau \operatorname{tg} \varphi) \tau b, \quad (1.7)$$

де  $K'$  - межа несучої спроможності ґрунту;

$b$  – загальна довжина ріжучого периметра;

$Z, X$  – параметри затуплення леза;

Нормальна реакція ґрунту  $P_N$  визначається за формулою підпірної стінки [21]

Проекція наведених сил на напрямок руху визначається через кути постановки ділянки.

Таким чином загальна схема досліджень на основі наведеної моделі виглядає наступним чином. Обирається аналог і розробляється його геометрична модель. Далі, модель розбивається на окремі нескінченно малі ділянки які можна розглядати як плоскі підпірні стінки. Загальна реакція ґрунту визначається шляхом інтегрування по поверхні робочого органу

В роботі [17] поверхня робочого органу розглядається як сукупність нескінченно малих клинів, які в сумі дають ріжучий периметр і робочу поверхню. Перевага полягає в тому, що такі клини можна розглядати як плоскі з індивідуальними кутами постановки до напрямку руху і вертикалі. Складові тягового опору таких клинів розраховують аналогічні до [15], складові загального опору визначаються шляхом інтегрування.

В роботі [6] побудова форми поперечного профілю робочої поверхні клина здійснюється як відображення деформації денної поверхні шару ґрунту

Деформування реальних ґрунтів в процесі обробітку клиновидним робочим органом супроводжується утворенням на робочій поверхні проміжного тіла з об'єму ущільненого ґрунту, яке, як посередник, передає навантаження до іншого об'єму шару ґрунту. Форма робочої поверхні, побудована по будь-якій з відомих методик, є вихідною і корегується в

процесі взаємодії із ґрунтом за рахунок обміну об'ємом між робочим органом та скибою ґрунту.

Відміна полягає в тому, що, при розрахунках за методиками [15,17], складову сил тертя треба визначати у відповідності до коефіцієнта внутрішнього, а не зовнішнього тертя.

Наведені методики мають один спільний недолік - модель ґрунтового середовища не має єдиного інтегрального показника механіко-технологічних властивостей, тому в критеріях подібності доводиться відмовлятися від окремих менш впливових.

Кафедрою тракторів і сільськогосподарських машин запропонована власна конструкція полиневого робочого органа. Основна відмінність полягає в наступному. складається з лівопідрізаючої і правопвдрізаючої частин, що частково компенсує поперечну складову їх реакції різання. Друга відмінність полягає в використанні плоскої полиці. Математична модель у відповідності до розрахункової схеми (рис.1.7).

Рівняння моментів відносно точки кріплення стояка

$$W_{\text{Вд}} \cdot a_3 + P_{\text{P2}} \cdot a_2 - P_{\text{P1}} \cdot a_1 = 0 \quad (1.8)$$

Особливість методики полягає в тому, що вона працює з приведеними значеннями довжини леза, тобто опір на різання визначається шириною захвату ріжучого периметра, а не довжиною леза. Таким чином можна вважати, що величини приведених моментів залежать від плечей їх прикладання при постійних значеннях сил в межах проекції.

Для визначення тягового опору леза в роботі [5] запропонована узагальнена формула (ф-ла 201). Враховуючи особливості нашої конструкції цю залежність можна представити в виді

$$(1.9) \quad \sin(\alpha_P + \theta)$$

де  $a$  – глибина оранки;  $b$  – ширина захвату ділянки леза;  $\varphi_1$  – кут зовнішнього тертя,  $\varphi_2$  – кут внутрішнього тертя;  $\alpha_P$  – кут постановки леміша до дна

борозни;  $\gamma$  – питома вага ґрунту;  $K'$  – межа несучої спроможності ґрунту;  $z, x$  – товщина леза;  $\theta$  – задній кут;  $V$  – швидкість.

Із розрахункової схеми

$$(1.10)$$

де  $B$  – ширина захвату знаряддя.

Таким чином, підставивши в формулі замість  $b$  значення  $b_1$  і  $b_2$  можна знайти відповідно  $W_{P1}$  і  $W_{P2}$ . Значення  $W_{ВД}$  знаходимо у відповідності до методики [15]. Таким чином, діючі сили і точки їх прикладання можна аналітично визначити. Діючий на стояк обертаючий момент.

Величини діючих моментів залежать від положення стояка 4 (рис.1.7). Враховуючи наявність трьох плечей оптимум шукаємо методом перебору на ПЕОМ різних варіантів постановки стояка. Діючі сили зміною кута нахилу стояка, що автоматично змінює кути постановки  $\alpha$  і полиці.

Як показали результати експериментальних досліджень, розроблена конструкція показує хороші результати при роботі на глибинах до 15 см.

Поперечна складова тягового опору практично відсутня, що дозволило відмовитись від польової и. Плоска полиця задовольняє показникам зсуву і обертання шару ґрунту в умовах заниженої його консолідації.

В роботі [17] також розглядається модель, в якій поверхня елементарного клина розглядається як підпірна стінка, рис.(1.18) реакція такої стінки у відповідності до рівняння Цитовича [21]

Для підпірної стінки DEFG

$$dP = dP_n + dP_{Tp} + dP_d ,$$

$$(1.11)$$

де  $P_n$  – підпорний тиск;  $P_{Tp}$  – сила тертя;  $P_d$  – динамічна складова сил тиску.

Рисунок 1.18. – Розрахункова схема елементарної ділянки

В результаті виконаних аналітичних досліджень отримане рівняння проєкції на напрямок руху всіх діючих сил

(1.12)

Загальна реакція всього робочого органу може бути отримана шляхом інтегрування по поверхні рівняння (1.12).

#### 1.4. Висновки до розділу, мета та задачі досліджень

Як показує огляд літературних джерел, Розглянуті в розділі основні найбільш відомі математичні моделі взаємодії робочого органу з ґрунтом дозволяють прийняти їх за основу при адаптації запропонованої нами конструкції до роботи в реальних умовах ґрунтового середовища.

За результатами проведеного нами аналізу різних культиваторів, можна зробити висновок, що одним із способів вирішення проблеми поліпшення якості обробки ґрунту і зменшення їх тягового опору є застосування пружних стійок.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

2.1. Моделювання процесу вібраційного розпушування ґрунту Функціонально повинен підрізати шар ґрунту і передати його на полицю для подальшого позпушення і транспортування. Виходячи з необхідності роботи в умовах слабо консолідованого ґрунту, повинен мати підвищену підрізаючу спроможність. В роботах [4,8,12 ] доведена принципова можливість застосування методів біоніки для розробки ґрунтообробних знарядь з покращеними можливостями кришення і підрізання ґрунту. Приймаємо за основу основні методичні положення цих досліджень

В нашому варіанті додаткове кришення не потрібне, тому зупинимось на біологічних аналогах підвищеної підрізаючої спроможності.

Аналоги розпушуючого типу

Аналоги підрізаючого типу

а

б

в

г

Рисунок 2.2 –аналоги ґрунтообробних знарядь

Для скорочення етапів роботи, геометричну модель будуємо одразу з урахуванням критеріїв подібності. Послідовність роботи наступна.

Рисунок 2.4 – Загальний вид

Для отримання поточних критеріїв подібності загальну довжину лобової частини (рис.2.4). розіб'ємо на 6 рівних частин. Для кожного перетину знаходимо співвідношення ширини тіла і ширини лобової частини. При побудові загальної геометричної моделі заміряні значення на натурному зразку тварини беремо як додаток заміряного на поточний критерій подібності. В результаті дій за даною схемою нами отримана геометрична модель робочого органу з урахуванням критерія подібності (рис.2.5).

Для подальшої роботи нам потрібне рівняння профілю ріжучого периметра. Для його отримання проводимо апроксимацію отриманого чисельного масиву як функції однієї змінної [1] в результаті нами отримане наступне рівняння регресії.

2.2. Теоретичний аналіз навантаженості та деформованості пружного робочого органу

(2.1)

Рисунок 2.5 – Геометрична модель аналогу

Проаналізуємо залежність коефіцієнту ковзання від положення точки на профілі леза.

Розглянемо схему діючих сил в довільно взятій точці  $m$  на профілі.

$\beta$  – кут між напрямком руху ділянки леза і нормаллю до його профілю [28]

Варіанти режимів різання:

$\beta = 0$  – рубляче різання

$\beta \leq \varphi$  – різання з повздовжнім переміщенням

$\beta \geq \varphi$  – різання з ковзанням

Рівняння нормалі до кривої в загальному виді

(2.2)

де  $X_0$ ;  $Y_0$  – координати довільно взятої точки на кривій (позначення у відповідності до першоджерела)

Після математичних перетворень стосовно отриманого нами рівняння (2.2), залежність прийме

(2,3)

де  $X_m$ ;  $Y_m$  – координати довільно взятої точки на кривій

Виконані за допомогою онлайн-калькулятора розрахунки показують, що кут нахилу нормалі до осі  $X$  знаходиться в діапазоні  $52^\circ \leq \beta \leq 55^\circ$ , що гарантовано більше кута тертя ґрунту по сталі. Таким чином, на ґрунтах базового господарства умова різання з ковзанням виконується.

### 2.3. Дослідження коливання робочого органу на пружній стійці Прогнозований тяговий опір

За основу математичної моделі приймаємо аналітичну модель взаємодії з ґрунтом ріжучого периметра довільної геометричної форми [15]

Тяговий опір буде мати наступні складові

(2.4)

де  $W_p$  – опір на підрізання шару ґрунту.

$W_T$  – тяговий опір, обумовлений тиском підрізаного шару ґрунту на робочі поверхні;

$W_{TP}$  – сили тертя підрізаного шару о поверхні робочого органу.

Враховуючи рекомендації [15], робимо наступні припущення :

Підрізання шару ґрунту буде відбуватись за умови що нормальний тиск леза утворює силу зминання, яка перевищує межу його міцності на зминання.. Але лезо не є прямолінійним і до того ж має змінну кривизну. Для розв'язання цієї проблеми переходимо до нескінченно малих ділянок на ріжучому периметрі (рис.2.6). На осі  $X$  в межах довжини лапи  $a$  обираємо довільну точку  $x_i$  і знаходимо відповідну точку на профілі леза  $Y_{(x)}$ . Абсцисі  $x_i$  даємо нескінченно малий приріст  $\Delta$ . Відповідні значення  $Y_{(x)}$  і  $Y_{(x+\Delta)}$  обмежують на ріжучому периметрі нескінченно малу ділянку  $\Delta_1$ , довжина якої становить

(2.12)



Нормальна складова реакції цієї ділянки (2.13)

де  $L$  – довжина леза,  $\delta$  – товщина ріжучої кромки,  $K'$  – межа несучої спроможності ґрунту.

(2.14)

Проекція нормальної реакції на напрямок руху

(2.15)

*Сили тертя о поверхню а*

Площа поверхні крила (рис.2.6), заштрихована частина

(2.16)

Сила тиску підрізаного шару ґрунту

де  $\gamma$  – питома вага ґрунту;

$h$  – товщина підрізаного шару.

Сила тиску спрямована перпендикулярно до напрямку руху і тому на тяговий опір не впливає

Сила тертя Де  $\varphi_1$  – кут

тертя ґрунту по сталі.

(2.17)

*Сили тертя о поверхню полиці*

Сили тертя утворює переміщення шару ґрунту вздовж полиці полиця плоска, переміщення ґрунту відбувається паралельно дну борозни за аналогією з [15]

з урахуванням постановки полиці під кутом  $135^\circ$  до дна борозни

$W_{\text{ТР(П)}} = R_{\text{ГРГ}} \text{tg}\varphi_{1\text{Г}} \cos(135-90) = R_{\text{ГРГ}} \text{tg}\varphi_{1\text{Г}} \cos 45$

Таким чином, загальний тяговий опір сил тертя

#### 2.4. Висновки до розділу

Отримано система диференціальних рівнянь руху пружної стійки, що включає

динамічну модель коливань, модель форм коливань і модель коливань носка лапи робочого органу на пружній стійці.

### 3.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1.1. Методика проведення досліджень

За параметри оптимізації  $Y_i$  роботи пружною S-подібною стійкою взяли:

- тягове зусилля;
- відхилення носка лапи від заданої глибини обробки.

Тягове зусилля і відхилення від заданої глибини обробки, як параметри оптимізації, відповідають наступним вимогам:

- значення змінюються при будь-якій зміні факторів роботи S-подібною пружинною стійкою в ґрунті;
- статистично ефективні параметри, тобто вимірюються з найбільшою точністю.

На рис.3.1. представлена конструктивна схема удосконалення де заштрихована частина відповідає у серійної машини.

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема робочого органу :1 – модернізований ; 2 – старого зразка;

Внесені в робочий орган конструктивні зміни мають за мету покращити перш за все обтічність ріжучого периметра, що повинно зменшити тяговий опір знаряддя, бо сили рязання і сколу призми ґрунту становлять до 80% загального тягового опору [15,17]. Не менш важливим є те, що робочий орган повинен більш стало виконувати технологічний процес за рахунок покращення режиму різання при зменшенні режиму підпору з боку оброблюваного середовища. Ці два фактори визначають програму експериментальних досліджень.

Програмою передбачено :

В ґрунтових умовах, що характерні для ведення органічного землеробства :

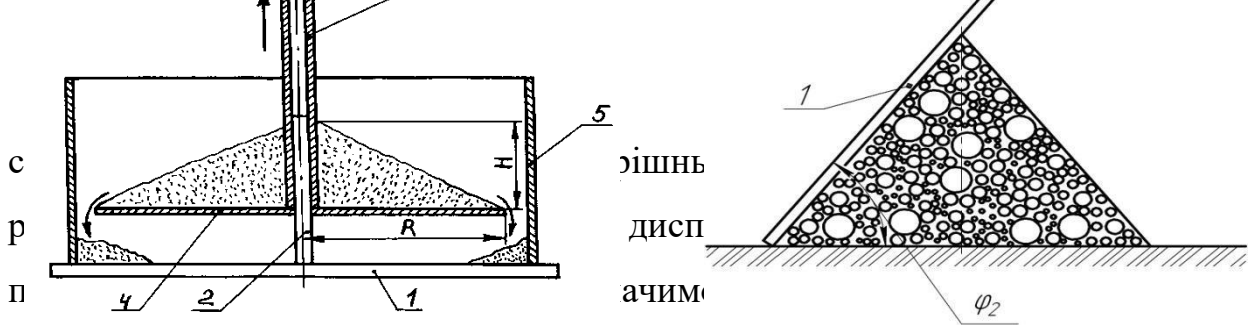
- перевірити розроблену конструкцію на працездатність;
- дослідити в умовах рядової експлуатації залежність якості виконання технологічного процесу від конструктивних параметрів конструкції;
- перевірити конструкцію на технічну і технологічну надійність.
- підтвердити адекватність розробленої аналітичної моделі.

Визначення механіко-технологічних властивостей ґрунту необхідно виконувати при вологості, що відповідає стиглій почві. Рівень стиглості контролювали за допомогою універсального прибору (рис.3.2.).

Рисунок 3.2 – Визначення пенетрометром стиглості ґрунту за вологістю.

*Твердість ґрунту.* Визначали твердоміром В.П. Горячкіна у відповідності до методики [32]. *Питоме зчеплення часток ґрунту.* Визначали за кількістю ударів твердоміра ДорНДІ за методикою[32]. *Межа несучої спроможності ґрунту.* Визначали аналогічно за кількістю ударів твердоміра ДорНДІ. *Кут внутрішнього тертя консолидованого ґрунту.* Визначали зсувним приладом за методикою[32].

*Кут внутрішнього тертя розпушеного ґрунту.* Відома методика [32] визначення кута внутрішнього тертя сипких матеріалів. Методика передбачає за допомогою найпростішого устаткування (рис 3.3,а) визначити кут відхилу, при якому припиняється осипання горки з



Принцип визначення пояснюється схемою (рис.3.3,*b*).

Рисунок 3,3- принципіві схеми до визначення кута внутрішнього тертя сипких матеріалів *a*- мілкодисперсний матеріал, *b*- комковатий (грубодисперсний) матеріал.

Показники агрофону обраної ділянки до початку досліджень агрегату

*Основний показник- питома кількість рослин на 1 см<sup>2</sup>.* Визначали шляхом накладання на поверхню поля рамки На відміну від загальнопризнаних методик, питому кількість рослин визначали не поштучно, а за ваговим принципом.

В межах рамки знімався шар ґрунту 5-8 см. Знятий ґрунт просіювався на решеті (рис.3.4). Не просіяні рослинні рештки збирались, зважувались і визначалась питома вага в розрахунку на 1 см<sup>2</sup>

Рис. 3.4 – Визначення питомої кількості рослинних решток г/см<sup>2</sup> *a* – накладання обмежуючої рамки; *б* – просіювання знятої проби на решеті  $d = 10$  мм.

Оцінка якості обробітку ґрунту

*Основний показник – коефіцієнт структурності*[14]. Визначався за спрощеною методикою як відношення маси ґрунтових агрегатів, просіяних через решето з діаметром отворів 10 мм до маси всієї взятої проби.

*Допоміжний показник глибистість поверхні.* Визначався як відношення площі поверхні вкритої грудками з приведеним діаметром більше за 100 мм до загальної площі виділеної ділянки. Практично визначався наступним чином : в межах накладеної на оброблену поверхню рамки 1,0x1.0 м. збирались крупні грудки і зважували кожну

грудку окремо. Далі, визначали об'єм кожної грудки. Як відношення маси до питомої ваги. Наступним етапом визначали приведений радіус і площу. Площа окремих грудок підсумовувалась і знаходилась глибистість. *Коефіцієнт різноподрібнення структурованих агрегатів*. Визначався шляхом просіювання взятих проб ґрунту за методикою [15].

*Гребнистість поверхні* Аналізом літературних джерел встановлено, що більшість авторів схильні до методики визначення цього показника через середнє заміряне значення висоти гребенів над рівнем денної поверхності ґрунту. Сам показник визначається як процентне відношення усередненої максимальної висоти гребеня до середнього значення його висоти. Показник носить більш суб'єктивний ніж об'єктивний характер. Нами пропонується свій показник оцінки гребнистості поверхні, який полягає в наступному.

На поверхню ґрунту поперек борозни укладається мотузок, який повторює профіль поверхні. Довжину мотузка заміряємо і ділимо на реальну відстань між точками заміру (рис.3.4).

де  $L_M$  – заміряна довжина мотузка;

Статистична похибка при багаторазових прямих вимірах визначалася за допомогою методів математичної статистики і теорії помилок.

При цьому в якості ймовірного значення шуканої величини приймалося його середньоарифметичне значення  $a$  :

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (3.5)$$

де  $a_i$   $n$  – значення і кількість окремих вимірювань.

Середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  шуканої величини від її середнього значення обчислювалося:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1}}, \quad (3.6)$$

Помилка досліджень  $m$  і точність  $p$  визначення шуканої величини обчислювалися за:

$$m = \sigma / n, \quad (3.7)$$

$$p = \frac{m}{a} 100\%, \quad (3.8)$$

Похибки виявлялися і виключалися з розгляду із використанням теорії ймовірностей (за критерієм Ст'юдента) [18,40,42].

### 3.2. Результати досліджень

Для перевірки даних автоматизованого розрахунку S-подібної стійки нами був спланований експеримент по статичному навантаженню стійки. З його допомогою вдалося провести імітацію тягового опору і отримати якісні показники роботи при різних варіантах защемлення пружної стійки з метою вибору розташування і типу виконання регулятора жорсткості.

L – відстань по нрямій між крайніми точками заміру. Показник хоча і не вказує на абсолютну висоту гребенів, протее добре характеризує нерівномірність поверхні.

Рисунок 3.4 – Розрахункова схема до методики визначення гребнистості поверхні : 1 – рівень денної поверхні; 2 – гребінь; 3 – мотузок

#### Організація охорони праці

До роботи з обладнанням, яке використовується на підприємстві допускають осіб, які вивчили інструкцію, знають правила безпеки і гігієни праці.

Категорично забороняється працювати з несправним обладнанням та за відсутності огорожень, регулювати, змащувати, очищати обладнання при працюючих механізмах. Виконуючи регулювальні і ремонтні роботи, відключають загальний рубильник на силовому щиті і чіпляють плакат " Не вмикати - працюють люди ".

Миючі та дезінфікуючі речовини мають сертифікат із зазначенням способу застосування, їх зберігають в закритій тарі на складі. Обслуговуючий персонал повинен мати допуск для роботи з миючими та

дезінфікуючими речовинами і спецодяг. Не допускається застосовувати розчини без належного сертифіката і вказівок за способом застосування, залучати для їх приготування осіб, які не мають допуску та медичного дозволу.

Приміщення для ремонту техніки, а також територію навколо них необхідно утримувати в чистоті і порядку. Особливу увагу слід приділяти в зимовий час на очищенню від снігу шляхів евакуації людей і транспорту. До всіх будівель повинен бути вільний доступ. Не можна добудовувати до існуючих будівель різні прибудови, навіси. Ворота і двері на шляхах евакуації повинні відкриватися тільки назовні.

Найважливіша умова забезпечення пожежної безпеки - правильне використання ПММ в залежності від середовища, в якому вони повинні експлуатуватися. Відповідальність за протипожежну безпеку в майстернях покладено на керівника підприємства і начальників цехів.

Охорона праці забезпечує соціальну захищеність робочих на виробництві. Завдання служби охорони праці полягає в тому, щоб забезпечити надійний захист працюючих від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Організаційні питання з охорони праці визначаються законами, законодавчими актами і нормативно-технічною документацією. Крім технічної документації, працівники інженерно-технічної служби та спеціалізованих ланок щорічно проходять навчання з охорони праці з подальшою перевіркою знань спеціальною комісією. При проведенні курсового навчання з охорони праці використовують інструкції, плакати та інші наочні посібники, а також показують правила і прийоми окремих операцій по використанню техніки і технічного обслуговування машин.

Заходи щодо поліпшення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

- 1) забезпечення надійного контролю за станом потенційно небезпечних об'єктів;
  - 2) створення резервних матеріально-технічних засобів, медичних засобів та інших матеріалів;
  - 3) забезпечення високої готовності органів управління, сил і засобів до дій за надзвичайних ситуацій;
  - 4) проведення аварійно-відновлювальних та інших робіт по ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.
- 5) 3.3. Висновки до розділу
- 6)
- 7) 1. Встановлено, що на тяговий опір і відхилення носка лапи робочого органу на пружній S-подібній стійці великий вплив надає глибина обробки, робоча швидкість агрегату і жорсткість стійки.
- 8) Основні запропоновані методики розроблені на підставі загально відомих [14,15], які добре відпрацьовані і сумнівів в адекватності не викликають. Кількість контрольованих показників, як показали проведені дослідження достатня для оцінки відповідності виконуваного агрегатом технологічного процесу агротехнічним вимогам. Нами запропоновано внести до переліку контрольованих параметрів коефіцієнт різноподрібнення структурованих агрегатів [15] і змінена методика оцінки гребенистості.

Економічна ефективність роботи

Розрахунки техніко-економічних показників виконуємо у порівнянні з серійним агрегатом. Основна відмінність агрегатів – за рахунок встановлення нових робочих органів розроблена машина має менше технологічних зупинок для чищення і регулювання. Це підвищує коефіцієнт використання робочого часу зміни і, як наслідок, продуктивність агрегата.

Вихідні дані для розрахунків зведено до табл.3.1.

Таблиця 3.1.

Вихідні дані до техніко-економічних розрахунків.



Кількість нормо-годин у обсязі робіт:

Базовий

Проект

$$K_{\text{НГ}} = \frac{W_{\text{СЕЗ}}}{W_{\text{ГОД}}} = \frac{75}{0,72} = 104,17 \text{ год} \quad K_{\text{НГ}} = \frac{W_{\text{СЕЗ}}}{W_{\text{ГОД}}} = \frac{75}{1,26} = 59,52 \text{ год} \quad (3.1)$$

Витрати праці:

Базовий

Проект

$$V_{\text{Б}} = K_{\text{НГ}} \cdot n = 104,17 \cdot 1 = 104,17 \text{ год}$$

$$V_{\text{П}} = K_{\text{НГ}} \cdot n = 59,52 \cdot 1 = 59,52 \text{ год}, \quad (3.2)$$

де  $n = 1$  - кількість обслуговуючого персонала.

Експлуатаційні витрати.

Експлуатаційні витрати складаються з основної і додаткової заробітної плати, амортизаційних відрахувань, витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на технічне обслуговування, ремонт і зберігання агрегата.

Основна і додаткова заробітна плата.

Основна і додаткова заробітна плата з нарахуваннями:

$$\Pi = \frac{C_{\text{T}}}{W_{\text{ГОД}}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (3.3)$$

де  $C_{\text{T}}$  - тарифна ставка, 53,49 грн/год;

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату (20%);

$K_2 = 1,375$  – коефіцієнт, що враховує нарахування на соціальні міроприємства.

$$\text{Базовий} \\ \Pi = \frac{53,49}{0,72} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 87,77 \text{ грн/га}$$

$$\text{Проект} \\ \Pi = \frac{53,49}{1,26} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 70,05 \text{ грн/га}$$

Амортизаційні відрахування.

Норма амортизації для трактора – 15%, ґрунтообробної машини – 15%.

Нормативне завантаження на рік:

- трактора - 1550год;
- машини - 580год

Базовий	Проект
Трактор: $A_{\text{ТР}} = \frac{160000 \cdot 15}{100 \cdot 1550 \cdot 0,72} = 21,51 \text{ грн/га}$	$A_{\text{ТР}} = \frac{160000 \cdot 15}{100 \cdot 1550 \cdot 1,26} = 12,29 \text{ грн/га}$
машина: $A_{\text{М}} = \frac{46000 \cdot 15}{100 \cdot 580 \cdot 0,72} = 16,52 \text{ грн/га}$	$A_{\text{М}} = \frac{46500 \cdot 15}{100 \cdot 580 \cdot 1,26} = 9,54 \text{ грн/га}$
Всього: $A_{\Sigma} = 21,51 + 16,52 = 38,03 \text{ грн/га}$	$A_{\Sigma} = 12,29 + 9,54 = 21,83 \text{ грн/га}$

Витрати на ПММ.

Базовий

$$\text{Ц}_{\text{ПММ}} = 24,5 \text{ грн/кг}$$

$$\text{В}_{\text{ПММ}} = \text{Ц}_{\text{ПММ}} \cdot \text{В}_{\text{ПММ}} = 24,5 \cdot 5,81 = 142,35 \text{ грн/га}$$

Проект

$$\text{В}_{\text{ПММ}} = 24,5 \cdot 4,6 = 112,7 \text{ грн/га}$$

Витрати на ТО, ТР, зберігання.

Норма витрат на ТР, ТО і зберігання:

- $\alpha_{\text{ТО}} = 11\%$  - норма відрахувань на ТО;
- $\alpha_{\text{з}} = 0,2\%$  - норма відрахувань на зберігання;

-  $\alpha_{TP} = 8\%$  - норма відрахувань на ремонт.

Витрати на ТО, ТР і зберігання:

$$B = \frac{B_B \cdot (\alpha_{TO} + \alpha_3 + \alpha_{TP})}{100 \cdot K_{HG} \cdot W_{ГОД}} \cdot K, \quad (3.4)$$

де  $B_B$  – балансова вартість, грн;

$K$  – коефіцієнт переводу трактора у еталонний.

Базовий

Трактор:  $B_{TP} = \frac{160000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 104,17 \cdot 0,72} = 409,59$  грн/га

Проект

$$B_{TP} = \frac{160000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 59,52 \cdot 1,26} = 409,63$$
 грн/га

Базовий

Машина:  $B_M = \frac{46000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 104,17 \cdot 0,72} = 117,76$  грн/га

Проект

$$B_M = \frac{46500 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 59,52 \cdot 1,26} = 119,05$$
 грн/га

Всього по агрегатам:

$$B = B_{TP} + B_M = 409,59 + 117,76 = 527,35$$
 грн/га

$$B = 409,63 + 119,05 = 528,68$$
 грн/га

Всього експлуатаційних витрат на 1 га:

$$E_B = 87,77 + 38,03 + 142,35 + 409,59 = 677,74$$
 грн/га

$$E_B = 70,05 + 21,83 + 112,7 + 409,63 = 614,21 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на весь обсяг роботи:

Базовий	Проект
$E_{\Sigma} = E_B \cdot W_{CEZ} = 677,74 \cdot 75 = 50830,5 \text{ грн}$	$E_{\Sigma} = 614,21 \cdot 75 = 46065,75 \text{ грн}$

Капітальні вкладення на 1 га:

Базовий	Проект
Трактор: $K_B = \frac{B_B}{W_{CEZ}} = \frac{160000}{75} = 2133,33 \text{ грн/га}$	$K_B = \frac{160000}{75} = 2133,33 \text{ грн/га}$

Машина: $K_B = \frac{46000}{75} = 613,33 \text{ грн/га}$	$K_B = \frac{46500}{75} = 620,00 \text{ грн/га}$
--	--

Всього:

$K_B = 2133,33 + 613,33 = 686,66 \text{ грн/га}$	$K_B = 2133,33 + 620 = 2753,33 \text{ грн/га}$
--	--

Приведені витрати на 1га:

$$P_B = E_B + 0,15 \cdot K_B$$

Базовий
$P_B = 677,74 + 0,15 \cdot 2746,66 = 1089,74 \text{ грн/га}$

Проект
$P_B = 614,21 + 0,15 \cdot 2753,33 = 1027,21 \text{ грн/га}$

Приведені витрати на весь обсяг робіт:

Базовий
$P_{B\Sigma} = P_B \cdot W_{CEZ} = 1089,74 \cdot 75 = 81730,5 \text{ грн}$

## Проект

$$P_{\text{вс}} = 1027,21 \cdot 75 = 77040,75 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект:

$$E_E = 81730,5 - 77040,75 = 4689,75 \text{ грн}$$

Термін окупності:

$$T_o = 206500 - 206000 / 4689,75 = 0,1 \text{ роки}$$

Результати заносимо до таблиці 6.2.

Таблиця 3.2

### Економічна ефективність роботи

#### 3.3. Висновки до розділу

1. Встановлено, що на тяговий опір і відхилення носка лапи робочого органу на пружній S-подібній стійці великий вплив надає глибина обробки, робоча швидкість агрегату і жорсткість стійки.

Основні запропоновані методики розроблені на підставі загально відомих [14,15], які добре відпрацьовані і сумнівів в адекватності не викликають. Кількість контрольованих показників, як показали проведені дослідження достатня для оцінки відповідності виконуваного агрегатом технологічного процесу агротехнічним вимогам. Нами запропоновано внести до переліку контрольованих параметрів коефіцієнт різноподрібнення структурованих агрегатів [15] і змінена методика оцінки гребнистості.

За результатами розрахунків прогнозований річний економічний ефект складає 4689,75 грн при сезонному навантаженні 75 га, а термін окупності становить 0,1 роки

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На сучасному етапі найбільш актуальними в сільськогосподарському виробництві є проблеми, пов'язані з впровадженням органічного землеробства.
2. В роботі виконані аналітичні дослідження взаємодії з ґрутовим середовищем. Аналіз працездатності на основі математичної моделі показує на хорошу працездатність розробленої конструкції.
3. Проведена модернізація робочого органу покращила всі основні показники виконання технологічного процесу. Так, головний оціночний показник коефіцієнт структурності підвищився з 0,55 до 0,82. Коефіцієнт різноподрібнення структурованих агрегатів знаходиться в діапазоні 0,74 – 0,95. . Отримано диференціальні рівняння руху робочого органу на пружній стійці, що включають динамічну модель коливань, модель форми коливань і модель коливань носка лапи робочого органу на пружній стійці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

4. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. / В.В. Адамчук, Г.Л. Баранов, О.С. Барановський та ін./ К.: Аграрна наука, 2004.396 с.
5. Булгаков В.М. Від класичних основ землеробської механіки до сільськогосподарських машин майбутнього / В.М. Булгаков, А.С. Заришняк, І.В. Головач // Механізація і електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2012. Вип. 96. С. 26-34.
6. Економіка сільського господарства : навч. посіб. / Збарський В.К., Бабієнко М.Ф., Кулаєць М.М., Синявська І.М., Хоменко М.П./ К.: Агроосвіта, 2013. - 352с.
7. Застосування способів основного обробітку ґрунту в сівозмінах/ В.М. Кабанець, М.Г. Собко, О.В. Радченко / . Сад, 2015. 16 с.
8. Шустік Л. Техніка для передпосівного обробітку ґрунту //

Пропозиція, 2015. - №1. - С.44 - 51.

9. Булгаков В.М. Пріоритетні напрями наукових досліджень з механізації сільського господарства / Булгаков В.М., Лінник М.К., Гуков Я.С. – Збірник наукових праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”, т. X, 2001. С. 8-14.

10. Гевко Р.Б. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль: Т, 2005. - 228 с.

11. Калетнік Г.М. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства // Г.М. Калетнік, О.М Черниш, М.Г Березовий / Збірник наукових праць ВНАУ. В.: Вінниця, 2011.Т1 (65). С.8-18.

12. Пастухов В.І. Довідник з машиновикористання в землеробстві. [текст]/. В.І. Пастухов, А.Г. Чигрин, П.А., Джолос та ін. Харків: Весна, 2001. – 344 с.

13. Гаврильченко О.С. Обґрунтування параметрів та розробка конструкції культиваторних лап з криволінійним лезом:дис.. ...канд.техн.наук :спец.05.05.11/О.С.Гаврильченко – Глеваха, 2005.- 160 с.

14. Калетнік Г.М. Технічна механіка [Текст] : підручник для студентів вищих навчальних закладів / Калетнік Г.М., Булгаков В.М.; Черниш, О.М. та ін.. К. : Хай-Тек Прес, 2011. 340 с.

15. Середа Л.П., Швець Л.В., Швець О.І. Розробка культиватора для нових технологій обробітку ґрунту. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця, 2020. №3(110). С.117-125с.

16. Пат. 97217 Україна, МПК А 01В 35/02. Культиватор для обробітку ґрунту [Текст]/ С.О. Харченко, Г.В. Фесенко, С.С. Антонєць., В.П. Лубенець, І.С. Тіщенко; - Бюл.№1, 2012 р.

17. Культиватори ЛЕМКЕН-Україна [Електронний ресурс] . – Режим доступу: [http://lemken.com.ua/ua/harrow\\_karat1](http://lemken.com.ua/ua/harrow_karat1)

18. Kverneland TLD - вибро-культиватор [Електронний ресурс] . – Режим доступу: [..https:// ru.kverneland.com / Obrabotka-pochvy / Kultivatory /](https://ru.kverneland.com/Obrabotka-pochvy/Kultivatory/)

19. Калетнік Г. М. Основні питання розвитку галузі механізації сільського господарства в Україні / Калетнік Г. М., Адамчук В.В., Булгаков В.М., Крючев В.М., Надикто В.Т. // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця, 2016. №3(95). С.6-13с.
20. Гуков Я. С. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту В  
умовах України. Київ: ДІА, 2007. 276 с.
21. Булгаков В.М. Прикладна механіка: Навчальний посібник. / Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В. Київ: Аграр. наука, 2016. 816 с.
22. Trukhanska O. Investigation the impact of the constructive parameters of the working body the tillage machine on the energy intensity and quality of soil tillage. Вібрації в техніці та технологіях. 2023. №1(108). С. 104-109.
23. Trukhanska O. Technological methods of increasing wear resistance and durability of details. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 4 (111). С. 109-115.
24. Sereda L., Trukhanska O., Shvets L. Investigation of the hydraulic drive of the unit for strip tillage with simultaneous application of liquid fertilizers. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 4 (99). С. 67-72.
25. Trukhanska O. Improvement of quality indicators of the process of sowing of row crops. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 2 (101). С. 124-134.
26. Aliev E. B., Bandura V. M., Pryshliak V. M., Yaropud V. M., Trukhanska O. O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH - Agricultural Engineering. 2018. Vol. 54. № 1. P. 95-104.
27. Сисолін В. П., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські



машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / за ред. М. І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 384 с.

28. Trukhanska O. Investigation the impact of the constructive parameters of the working body the tillage machine on the energy intensity and quality of soil tillage. Вібрації в техніці та технологіях. 2023. №1(108). С. 104-109.

29. 32. Sereda L., Trukhanska O., Shvets L., Dyachenko A. Perspectives and features of branch utilization technologies in intensive gardens and parks. Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця, 2023. № 2 (109). С. 85-92.

30. Калетнік Г.М Використання сучасних методів механіки для сільського господарства // Г.М. Калетнік, О.М Черниш, М.Г Березовий / Збірник наукових праць ВНАУ. В.: Вінниця, 2011.Т1 (65). С.8-18.

31. Калетнік Г.М. Теорія плоскопаралельного руху удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату / Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Петриченко Є.А., Булгаков В.М., Кувачов В.П.// Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця: ВНАУ, 2017. №2 (97). С. 6-18.

32. Пат. 134781 Україна, МПК А01В 35/12. Пружна S-подібна стійка лапи культиватора з обмежувачем переміщень / О. С. Гринченко, О. І. Алфьоров, Г. П. Юр'єва (Україна). № u201810963;

33. Пат. 127386 UA, МПК А01В 49/02. Планувальник поверхні ґрунту / Швець Л. В., Труханська О. О. пат. на корисну модель № u 201802509

34. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність та жорсткість. Ч.І, ІІ: Підручник / Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. К.: Хай Тек-Прес, 2011. 616 с.

35. Булгаков В.М. Побудова математичної моделі коливального руху у ґрунті /В.М. Булгаков, І.В.Головач, В.П. Горобей, О.М. Свірень // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських

36. Калетнік Г.М. Теоретична механіка в прикладах та завданнях: Навч. посібник / В. М. Булгаков, Г. М. Калетнік, І. В. Гриник та ін.; За

ред. : В. М. Булгакова. - К.: Аграрна наука, 2014. - 348 с.

37. Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань: ДСТУ 7435:2013. – К.: Держспоживстандарт України, 2013. 25с. (Національний стандарт України).

38. Булгаков В.М. Стан та перспективи створення в Україні сучасних сільськогосподарських машин / В.М. Булгаков, В.В. Адамчук // Наук. вісник ЛНАУ, 2011. № 29. С. 252-260.

39. Випробування сільськогосподарської техніки. Машини посівні. Методи випробувань. СОУ 74.3-37-129:2004 / М. Собчук, В. Погорілий, Л. Шустік та ін. – К.: Мінагрополітики України, 2006. – 86 с.

40. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність та жорсткість. Ч.І, ІІ: Підручник / Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. – К.: Хай Тек-Прес, 2011. – 616 с.

41. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування (сільськогосподарська техніка). ДСТУ 4397:2005. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005.

42. Яропуд В.М., Гунько І.В., Серета Л.П., Швець Л.В., Труханська О.О. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання. Вінниця: ВНАУ, 2023. 39 с.

