

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри
_____ Войтік А.В.
“ ____ ” _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи

_____ магістр

(освітній рівень)

на тему **«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ**
КОНІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ТА ВІДВАЛУ СТРІЛЬЧАТОЇ
КУЛЬТИВАТОРНОЇ ЛАПИ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 23м-ім
Спеціальність 208

«Агроінженерія»

_____ Олександр ТИХОМИРОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2024 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА Агроінженерії

Освітній рівень _____ магістр _____
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
 _____ **Войтік А.В.**
 “ ____ ” _____ **2024 р.**

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Тихомирову Олександрю Борисовичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування конструктивних параметрів конічної поверхні та відвалу стрільчатої культиваторної лапи»

керівник роботи _____ **Войтік А.В., к.т.н., доцент**
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 14 ” _____ листопада 20 24 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 30.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: фізико-механічні властивості ґрунтів; існуючі технологічні процеси та технічні засоби у виробничому процесі поверхневого обробітку ґрунту.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз існуючих способів та засобів для суцільного обробітку ґрунту, огляд попередніх досліджень з даного питання; визначення впливу параметрів культиваторних лап на якість виконання операції; обґрунтування конструктивних параметрів культиваторної лапи; дослідження якісних показників роботи запропонованої машини; розробка заходів з охорони праці; визначення ефективності застосування розробленої машини.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 15 слайдів) як додаток до доповіді за темою магістерської роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 16 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	02.03.2024 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання та задачі досліджень	02.03.2024 р.	
3.	Розділ 2. Теоретичні дослідження	02.04.2024 р.	
4.	Розділ 3. Експериментальні дослідження	29.05.2024 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	15.09.2024 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічна ефективність машини для зрізання та подрібнення гілок кущових ягідників	30.10.2024 р.	
7.	Виконання графічної частини роботи	17.11.2024 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.2024 р.	

Студент

(підпис)

Олександр ТИХОМИРОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тихомиров О.Б. Обґрунтування конструктивних параметрів культиваторної лапи (Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2024. – 51 с.).

Об'єкт дослідження. Процес поверхневого обробітку ґрунту з використанням стрілочастих культиваторних лап.

Предмет дослідження. Параметри технологічного процесу культивації і конструктивні параметри стрілчастої лапи з криволінійною робочою поверхнею.

Метою роботи є підвищення ефективності використання культивації шляхом поліпшення якісних та енергетичних параметрів роботи за рахунок обґрунтування оптимальних параметрів стрілчастої лапи, а також розробки методики визначення криволінійної робочої поверхні.

В роботі написано вступ, дана характеристика та приведено аналіз робочих процесів і конструкцій машин для поверхневого обробітку ґрунту. Проведено огляд теоретичних і експериментальних досліджень стрілочастих культиваторних лап. Виконано теоретичне обґрунтування форми кривої робочої поверхні.

Розроблено методику проектування культиваторних лап з криволінійною робочою поверхнею.

Запропоновані заходи з покращення умов охорони праці та довкілля.

Визначено економічну ефективність від впровадження запропонованого пристрою у виробництво.

Зроблено висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: культивація, спіраль, ґрунт, робоча поверхня, криволінійний.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ЛАП КУЛЬТИВАТОРА	7
1.1. Призначення обробки ґрунту культиватора і параметри поверхні існуючих лап культиватора	7
1.2. Обґрунтування параметрів поверхні ланцета культиватор лапа	11
Розділ 2. СКЛАД І ХАРАКТЕРИСТИКА БУР'ЯНІВ. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛАП З БУР'ЯНАМИ	16
2.1. Якісний і кількісний склад бур'янів Дніпропетровської області та їх вплив на посіви культурних рослин	16
2.2. Визначення основних фізико-механічних властивостей бур'янів	17
2.3. Обтікання лапи культиватора струменем ґрунту	20
Розділ 3. ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ, ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА З ВИГНУТИМ ЛЕЗОМ.....	25
3.1. Геометрична модель поверхні лапи культиватора з вигнутим лезом	25
3.2. Опис криволінійного леза лапи за допомогою поліномів	30
3.3. Проектування леза лап культиватора на основі логарифмічної спіралі	33
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	45
Розділ 8. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУ	48
Загальні висновки	50
Список використаних джерел	51

ВСТУП

Основою розвитку механізації сільського господарства є пошук шляхів збільшення виробництва сільськогосподарської продукції фермерськими господарствами незалежно від форми власності, що дозволить вирішити стратегічне завдання забезпечення населення України продукцією власного виробництва. У зв'язку з цим особливе значення стоїть завдання забезпечення сільськогосподарських машин робочими органами, найбільш пристосованими до даних ґрунтово-кліматичних умов [1, 2].

У технологічному процесі виробництва будь-яких культур значне місце займає поверхневий обробіток ґрунту.

Поверхневий обробіток ґрунту передбачає як операції передпосівної підготовки, так і операції боротьби з бур'янами, яким в технологічному процесі обробітку сільськогосподарських культур, особливо просапних, приділяється особлива увага. Одна сотка сухої надземної маси бур'янів на 1 га у посівів кукурудзи викликає дефіцит зерна 0,8-1,1 ц / га, а у соняшнику зниження врожайності на 0,2-0,4 ц / га. Конкурентне пригнічення сільськогосподарських культур проходить через компоненти життєзабезпечення рослин, до яких відносяться волога і мінеральні речовини. Такою ж соткою маси бур'янів у зернових культурах є втрата 8-12 мм вологи і 5-7 кг діючих речовин азоту, калію і фосфору [12]. При досягненні біологічної маси бур'янів 123 ц / га втрати врожаю зерна кукурудзи можуть досягати 50% і вище [1, 3].

Промисловість пропонує культиватори для поверхневої та міжрядної обробки ґрунту, оснащені різними робочими органами, з яких найбільш поширені стрілчасті лапи.

Будучи традиційними знаряддями поверхневого обробітку ґрунту, вони широко застосовуються в усіх зонах України для міжрядного обробітку просапних культур і парової обробки. Однак у ланцетних лап є і деякий недолік. Під час роботи крила азіміни обволікаються бур'янами, що різко знижує кількість знищених бур'янів. Крім того, обволікання лап бур'янами і прилипання до ґрунту порушують геометрію леза, що призводить до їх поглиблення і зменшення глибини обробки. Тому зміна конструкції поверхні ніжки культиватора, здатного до самоочищення, є важливим завданням.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ЛАП КУЛЬТИВАТОРА

1.1. Призначення обробки ґрунту культиватора і параметри поверхні існуючих лап культиватора

Ґрунт, крім основного обробітку, здійснюваного полицевими плугами, плоскорізами, чизельними знаряддями, потребує, особливо навесні, додаткової обробки. Така обробка називається культивацією і виконується культиваторами, оснащеними різними робочими органами. Найбільш повні вимоги до вирощування викладені Г.Н. Синєоковом [16], П.М. Василенко, П.Т. Бабій [21]. Ці вимоги діляться на дві групи:

1. Деформація і руйнування ґрунту: а) обробка верхнього шару ґрунту на глибину $\pm 5-2$ см для руйнування кірки, утвореної атмосферними опадами; б) середнє і глибоке розпушування на глибину до 10 ... 20 см, що призводить верхній шар ґрунту в дрібно грудкуватий стан. Ця операція забезпечує аерацію і просочування вологи в ґрунт, створюючи сприятливі умови для розвитку кореневої системи культурних рослин; в) підшва розпушеного шару в процесі передпосівної підготовки ґрунту повинна бути рівною, розташованою на заданій глибині, так як в протилежному випадку порушуються умови закладення насіння і подачі вологи;
2. Знищення бур'янів: а) знищення бур'янів шляхом обрізки, при обробці на глибину до 3 ... 10 см; б) знищення бур'янів шляхом викорчовування на глибині обробки 8 ... 15 см.

Дуже важливою операцією культивації є передпосівна підготовка ґрунту, яка забезпечує формування насіннєвого ложа.

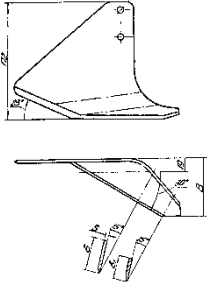
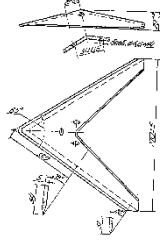
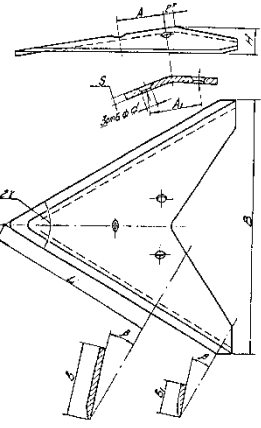
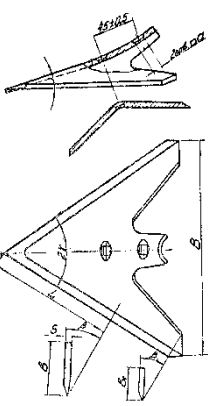
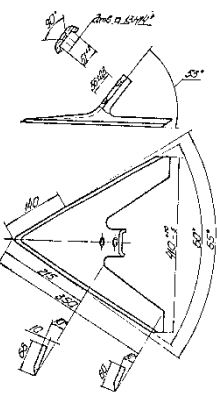
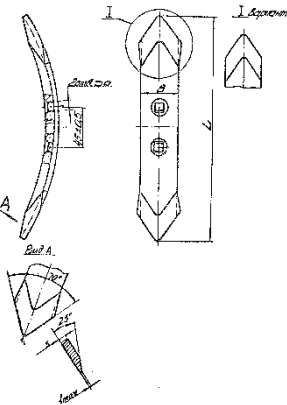
Тип	Ознака	Тип	Ознака
1 	Типи: 1, 3, 5, 7, 8, 9 Параметр В (мм): 85; 120; 150; 165	 4	
2 	Типи: 1, 2, 3, 5, 6 Параметр В (мм): 145; 150; 260; 290 $2\gamma = 60^\circ; 70^\circ$ $\beta = 18^\circ; 20^\circ$	5 	Типи: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23 Параметр В (мм): 220; 270; 330; 250; 300; 380; 150 $\alpha = 16^\circ; 13^\circ$ $2\gamma = 65^\circ; 60^\circ;$ 80° $\beta = 28^\circ; 30^\circ; 23^\circ$
3 		6 	Типи: 1, 2, 3, 4, 6 Параметр L: 186; 260; 250 Параметр В: 45; 36; 50; 60

Рисунок 1.1 – Серійні лапи культиваторів вітчизняного виробництва для суцільної та міжрядної обробки ґрунту



$2\gamma_0 = 70^\circ$; $b = 75 \text{ мм}$



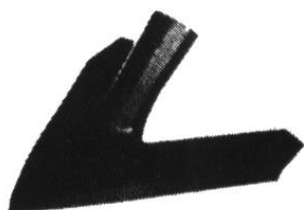
$2\gamma_0 = 60^\circ$; $b = 250 \text{ мм}$



$2\gamma_0 = 65^\circ$; $b = 225 \text{ мм}$



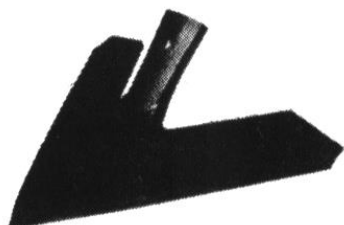
$2\gamma_0 = 60^\circ$; $b = 230 \text{ мм}$



$2\gamma_0 = 65^\circ$; $b = 275 \text{ мм}$



$2\gamma_0 = 60^\circ$; $b = 220 \text{ мм}$



$2\gamma_0 = 65^\circ$; $b = 320 \text{ мм}$



$2\gamma_0 = 80^\circ$; $b = 190 \text{ мм}$

Рисунок 1.2 – Серійні лапи культиваторів іноземного виробництва для суцільної та міжрядної обробки ґрунту

Глибина загортання насіння під кожну культуру залежить від ряду факторів, зокрема від ґрунтово-кліматичних умов.

П.М. Василенко і П.Т. Бабій [21] наводять дані про глибину загортання насіння, яка знаходиться в межах 3,5 ... 10 см. Незважаючи на значні коливання середньої глибини закладення від культури до культури, обмеження по відхиленнях глибини досить близькі, і в середньому знаходяться в межах 1,5 ... 2 см, що пред'являє певні вимоги до стабільності руху робочого органу культиватора у вертикальній площині. При нестабільному русі відбувається порушення глибини загортання насіння і дружності сходів.

В результаті поєднання операцій розпушування ґрунту і боротьби з бур'янами був розроблений універсальний культиватор ланцетний фут. На рисунку 1.1 представлені креслення лап культиватора вітчизняної конструкції відповідно до ГОСТ 1343-82. Показано на рис. 1.2 Набір ріжучих ніжок обумовлений одним геометричним фактором - прямолінійністю ріжучої кромки і не претендує на вичерпну інформацію по криволінійних формах, яких існує незліченна безліч. Як видно з малюнків, всі вони мають схожу конструкцію - крила і хвостовик для кріплення. Загальною особливістю конструкції всіх ніжок культиватора є те, що вони мають пряме лезо, незалежно від виду і країни виробництва.

Узагальнюючи геометрію зменшених лап культиватора, підходимо до гранованої поверхні, що представляє собою два симетрично сполучених тригранних клина. Один з таких клинів з елементами руху ґрунту показаний на рис. 1.3.

При цьому параметрами, що визначають якісні показники роботи, є:

$2\gamma_0$ - кут нахилу розхилу лапи;

$2b$ - ширина лапи;

β - кут площини крила лапи до нижньої частини борозни (кут розсипання).

частина β зони пластичних деформацій АК виступає за дно борозни, ущільнюючи її. Для запобігання ущільнення дна борозни А.С. Кушнар'єв і А.В. Бауков пропонують граничне значення кута кришення, яке визначається за формулою:

$$\beta = 45^\circ - \rho / 2, \quad (1.1)$$

ρ де - кут внутрішнього тертя ґрунту.

Так як зона пластичних деформацій ґрунту розташовується над дном борозни, то основа підшви практично відсутня, що забезпечує нормальний режим розвитку культурних рослин. Ці ж дослідження встановили значення кута внутрішнього тертя ρ від вологості для південних чорноземів. Так, для «стиглих» південних чорноземів (вологість 16...19%) кут ρ становить $45^\circ \dots 50^\circ$. При зниженні вологості ґрунту від 16 до 6 о. З цих даних впливають рекомендації по величині кута обсіпання, так на стиглих ґрунтах $\rho = 20^\circ$, β а на сухих $\rho = 25^\circ$.

Процес розтріскування ґрунту докладно розглянутий в роботах В.І. Корабельського і А.С. Павлоцького. Ці дослідження показують, що складна поверхня може бути спроектована з відсіками площин, відповідно до фазами деформації і руйнування.

Дослідженням опору пішого культиватора і аналізом напруженого стану ґрунту займалися С.М. Васильковський, В.В. Ключев і Г.А. Деграф [2, 5]. В результаті досліджень були встановлені закономірності стійкості ґрунту до стиснення важких суглинних чорноземів від вологості і швидкості навантаження. Дослідження функціональних властивостей ґрунту показують, що кут зовнішнього тертя ґрунту ϕ_1 об сталь при підвищенні вологості ґрунту в межах 10 ... 35% спочатку збільшується з 20 до 28° , а потім знижується на $1 \dots 2^\circ$. При куті розв'язання лапи $\gamma_o = 60^\circ$ і робочій ширини $2b = 270$ мм опір кромки крила становить 70 ... 80% значення горизонтальної складової від загального опору ґрунту руху агрегату, а опір руху крил лапи становить 10 ... 20 %.

А.П. Осадчий і С.К. Миронюк [9], вивчаючи умови руйнування пласта, встановили залежність руйнування пласта сколом і руйнуванням, яка залежить, перш за все, від кута обсіпання. До кута β відбувається сколювання, а потім, в залежності від відношення питомого опору зсуву до питомого опору тяги, - руйнування. Так, при збільшенні $\beta = 90^\circ - \phi_1$ кута від $\rho = 25^\circ$ до сили $\beta = 90^\circ - \phi_1$ сила збільшиться на 45%, де ϕ_1 - кут тертя ґрунту об сталь.

Вивчаючи тяговий опір плоскорізних робочих органів, Є.І. Василенко [1] і А.С. Кириченко [6] встановили, що тяговий опір робочого органу ланцета мінімальний при куті виходу $2\gamma_o = 55 \dots 60^\circ$ і кут розсипання 35° .

Роботу культиваторів і плоскорізних культиваторів вивчали П.В. Бекетов [10], В.П. Дьяков [5], А.П. Грибановський і Д.А. Gleiberzon [4], А.Ш. Чиковані [13]. Цими дослідженнями встановлено, що зі збільшенням швидкості з 0,4 м/с до 2,4 м/с глибина ходу лапи зменшується, а коефіцієнт варіації збільшується. При куті розмивання розхилу лапи $= 70^\circ$ $2\gamma_o$ і куті кришення $= 13^\circ$ необхідно встановити на лапу вертикальні відбивачі для зменшення борозен. Абсолютна швидкість утворення на поверхні плоского клина для $\beta = 20^\circ$ відповідає $v_{a\delta\delta} = 0.32$ м / с, що не робить істотного впливу на процес утворення борозен. Щоб запобігти розвантаження ґрунту перед лапою на високих швидкостях, кут розсипання β не повинен перевищувати 20° .

Роботами Ю.С. Гукова встановлено, що після вдосконалення плоскорізальної стопи з мінімальним опором тяги були отримані наступні параметри: кут обсипання $= \beta$ 10° , кут розчину $= 70^\circ$ $2\gamma_o$, при робочій ширині $= 550$ мм і висоті підйому шва 25 мм. 2b

А.Н. Панченко у своїй роботі [13], вивчаючи ступінь обсипання ґрунту різними інструментами, наводить рівняння для розрахунку тягового опору, але ці рівняння не підходять для розрахунку параметрів ногої культиватора.

Розглянувши схему розпушування ґрунту, П.М. Василенко і П.Т. Бабій [21] встановили (рис. 1.3), що при русі клина в ґрунті ґрунтова стружка в площині, спрямованої під кутом ψ до горизонту. Послідовна сколювання утворює окремі елементи ґрунту, які взаємодіють між собою. Якщо позначити наскрізь - швидкість руху лапи, - відносну швидкість переміщення ґрунту по поверхні $v_{перен}$ лапи, то абсолютна швидкість, $v_{отн}$ руху $v_{a\delta}$ ґрунтової частинки, розташованої в площині стружки, дорівнює

$$\bar{v}_{a\delta} = \bar{v}_{перен} + \bar{v}_{отн}. \quad (1.2)$$

Крім цього виразу, абсолютну швидкість можна визначити наступним чином

$$v_{a\delta} = v \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \psi)}; \quad (1.3)$$

і

$$v_{a\delta} = v_o \frac{\sin \beta}{\sin \psi}, \quad (1.4)$$

де ψ - кут відколу ґрунту, який визначається наступним чином [38]:

$$\psi = \frac{\pi - (\beta + \varphi_1 + \varphi_2)}{2}, \quad (1.5)$$

де β - кут кришення;

φ_1 - кут тертя матеріалу робочої поверхні лапи об ґрунт;

ρ - кут внутрішнього тертя ґрунту.

Після обрізки ґрунтовий шар проходить через полку лапи і під впливом власної ваги опускається на дно борозни. На кожен елемент утворення будуть впливати сили тертя і вага. Причому спочатку ці елементи будуть перебувати під впливом сил тертя, що діють в одному напрямку, а в кінці, коли елемент шару наблизиться до підшви ґрунту, - в зворотному. Через це тут також відбувається розпушування.

Траєкторію руху ґрунту після виходу з полиці лапи розглядають С.А. Івженко, Б.І. Шихсаидов, Т.С. Байбулатов, [9], А.П. Грибановський, Д.А. Gleiberzon [4]. В результаті цих досліджень встановлено, що елементи ґрунтового шару при падінні на дно борозни відчують і додаткове розпушування.

Так, згідно з літературними даними, рекомендуються наступні значення кута:

- кришиться $\alpha = 10 \dots 25^\circ$;
- розчин лап $2\gamma_o = 55 \dots 70^\circ$.

Розглядаючи взаємодію культиватора з ґрунтом, необхідно згадати дослідження, спрямовані на з'ясування характеру заточування леза і впливу ступеня затуплення на енергетичні та якісні показники роботи.

Дослідження, виконані С.І. Бондаревим [13], показують, що збільшення товщини леза призводить до збільшення питомого опору тяги (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Питомий опір тяги ніг культиватора R [кН/м²]

Швидкість руху, км/год	Товщина леза, мм		
	0,25	0,6	1,0
6,5	1,6	1,8	2,1
8,0	2,1	2,4	2,7
10,0	3,2	3,5	3,9

Як видно з таблиці, у міру затуплення відвалу спостерігається збільшення тягового опору незалежно від швидкості роботи культиватора.

Окремо слід звернути увагу на такий важливий параметр технологічного процесу підготовки ґрунту, як розпушування ґрунту на глибину закладення насіння. Зв'язок між глибиною борозни і профілем поля залежить від дружності сходів. Однак в літературі дуже мало даних про статистичну обробку взаємозв'язку між профілем поверхні поля і дном дна борозни.

Так, В.В. Невзоров [9], В.А. Алієв [2], Г.А. Хайліс та І.Г. Усевича [12], дають характеристику профілю поля за допомогою нормалізованої кореляційної функції і спектральної щільності і відзначають, що ці характеристики є достатньою і повною інформацією для розрахунку і дослідження сільськогосподарських агрегатів і вибору режиму їх роботи.

Важливість статистичного дослідження польових поверхонь відзначають А.Б. Лур'є і А.І. Любимов [9]. Однак, як зазначалося, недостатньо інформації про кореляцію між поверхнею поля і підшвою розпушеного шару.

Розглядаючи питання взаємодії лапи культиватора з ґрунтом, не можна не згадати про знос. Так як частинки ґрунту є абразивними частинками, лапи культиватора піддаються інтенсивному зносу. Крім підвищення тягового опору, виникає потилична фаска [7] викликає підйомну силу, яка поглиблює робочий орган і порушує глибину обробки.

Інтенсивний знос в поєднанні з нерівномірним тиском на поверхню лапи культиватора призводить до того, що деякі деталі зношуються швидше і лапи необхідно відбраковувати.

У зв'язку з вищесказаним обґрунтування параметрів робочих органів обробки ґрунту повинно проводитися з урахуванням властивостей ґрунту [12] і здійснення технологічного процесу [15, 17, 18].

РОЗДІЛ 2. СКЛАД І ХАРАКТЕРИСТИКА БУР'ЯНІВ. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛАП З БУР'ЯНАМИ

При розробці моделі культиватора була прийнята робоча гіпотеза про те, що потік ґрунту, що рухається по відвалу, не має достатньої сили для витіснення бур'янів. У зв'язку з цим було вирішено теоретично досліджувати витрата навколо ґрунту і рух бур'янів по лапі культиватора.

Для розробки моделі необхідно визначити фізико-механічні та геометричні параметри бур'янів. У цьому розділі розглядаються ці питання.

2.1. Якісний і кількісний склад бур'янів Дніпропетровської області та їх вплив на посіви культурних рослин

На території України налічується близько 700 видів бур'янів [14]. Із загальної кількості бур'янів близько 10-15% засмічують поля Дніпропетровської області.

Боротьба з бур'янами проводиться в основному під час весняної передпосівної підготовки ґрунту під будь-які культури, а для просапних також під міжрядний обробіток ґрунту.

Просапні культури (кукурудза, соняшник) є найслабшою ланкою сівозміни з конкурентоспроможністю щодо бур'янів. Експериментальними дослідженнями Інституту зернового господарства встановлено, що в п'ятипільній сівозміні в посівах кукурудзи та соняшнику загальна кількість бур'янів становить 186,6 шт/м², тоді як в посівах безперервного способу сівби (озима пшениця, ярий ячмінь) 73,2 шт/м² [6]. З цих даних видно, що боротьба з бур'янами на полях з просапними культурами має особливу актуальність, так як площа оброблюваних площ становить до 85%.

В агроценозах просапних культур особливо виділяються однорічні бур'яни - щетинник сірий, плоский черв'як звичайний, амброзія полілистна, чернощір звичайний, щириця звичайна, щириця мигдалеподібна, щириця біла, лобода біла і коренепаросткові - осот рожевий і польовий, березка польова. У структурі фітоценозів бур'янів таких видів 85-95% [28] і в деяких випадках може становити 159-178 шт / м².

Дані про види цих бур'янів Дніпропетровської області наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Характеристика бур'янів, характерних для Дніпропетровської області

№ п / п	Вид бур'яну	Кількість на 1 м ² (шт/м ²)	Середня кількість на 1 м ² (шт/м ²)	вага, кг/м ²	Середня вага m_c кг/м ²
1	Щетина сіра	7... 92	49,5	0,46-2,54	1,50
2	Березка польова	0... 1	0,5	0,07-1,82	0,95
3	Щириця	0... 2	1	0,91-3,90	2,41
4	Амброзія полинолиста	2... 63	32,5	0,82-2,71	1,77
5	Осот польовий	1... 3	2,0	0,39-2,08	2,47
6	Мері Уайт	1... 3	2,0	0,65-0,82	0,74
	В середньому	2...30	87,5	3,3-13,84	8,57

Кількість бур'янів визначали за такою методикою: на поле хаотично накладалися рамки розміром 1 х 1 м, на яких рахували бур'яни. Потім за допомогою каркаса площею 0,5 м² підраховували бур'яни в міжряддях просапної культури за винятком захисних зон.

Як видно з таблиці, кількість одного і того ж бур'яну істотно варіюється, що характеризує засміченість полів як високу.

Найважливішою проблемою є боротьба з кореневими бур'янами, такими як осот польовий і березка польова. Проблема в тому, що коренева система цих бур'янів має значну довжину, до 7 м [12], тому використовується багаторазова культивування як парових, так і просапних культур. При повторних неякісних обробках відбувається періодична обрізка кореневої системи бур'янів, що призводить до їх інтенсивного росту.

2.2. Визначення основних фізико-механічних властивостей бур'янів

Основною фізико-механічною властивістю, необхідною для розробки моделі руху бур'яну по лезу лапи, є кут тертя між бур'яном і металом. Тут слід зазначити, що існує два тертя: тертя спокою і тертя ковзання [8]. Ці види тертя характеризуються статичним коефіцієнтом тертя f_c і динамічним $f_{дин}$, причому нерівність спостерігається завжди:

$$f_c > f_{дин} \quad (2,1)$$

У літературі недостатньо даних для визначення кута тертя між бур'янами і металом. Так, Н.В. Бугайченко [11] вказує, що кут статичного тертя дорівнює, а динамічний дорівнює. Г.Н. Сінеков [15, 16] дає узагальнений кут тертя, який дорівнює . $\varphi_c = 35-37^\circ$ Однак цих даних недостатньо для розробки моделі пересування бур'янів і подальшого обґрунтування параметрів поверхні лапи культиватора, так як в цих джерелах не уточнюється, при якому положенні бур'яну на лезі лапи вимірювалися коефіцієнти тертя. $\varphi_{дин} = 30-34^\circ$ $\varphi \approx 45^\circ$

Під час повного контакту бур'ян покриває лапу, тому для визначення φ_c статичного і динамічного кута $\varphi_{дин}$ тертя розроблена методика, що враховує кут охоплення леза лапи бур'яном.

Кут лопаті лапи до горизонтальної площини становить приблизно 20° , тому кут охоплення леза дорівнює . $\alpha_o = 180^\circ - 20^\circ = 160^\circ$ Тому коефіцієнти тертя слід вимірювати, коли бур'ян повністю покритий ногою культиватора.

Вимірювання коефіцієнтів тертя бур'яну об лопатку лапи проводилося наступним чином.

Лапу фіксували так, щоб лезо розташовувалося горизонтально, а крило лапи зберігало кут постановки до нижньої частини борозни вертикальною площиною. На лезо лапи з корінням розміщували бур'яни, які прикривали накладкою (рис. 2.1). Після цього на підкладку встановлювали знімний вантаж, а підкладку разом з корінням бур'янів натягували уздовж лапи за допомогою пружинного динамометра зі шкалою, каліброваної по Ньютонам. При витягуванні фіксувалося значення сили в момент старту з місця, а потім значення при русі.

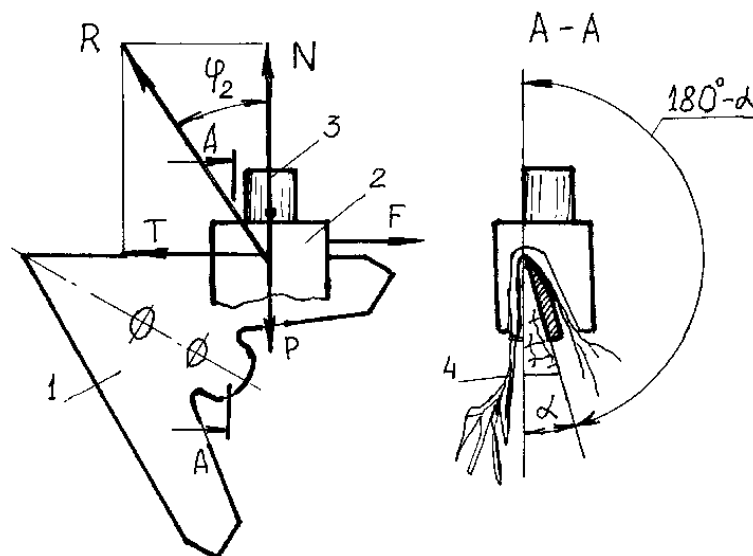


Рисунок 2.1 – Схема для визначення кута тертя з урахуванням охоплення бур'яни леза лапи: 1 - лапи; 2 - накладка; 3 - знімний вантаж; 4 – бур'ян;

T - сила тертя; F - сила руху; P - вага вантажу; N - нормальна реакція;
 R - повна реакція; φ_2 - кут тертя між бур'яном і лезом лапи;

Коефіцієнт тертя визначався виразом

$$f = \operatorname{tg} \varphi = \frac{F}{P}, \quad (2.2)$$

де F - сила руху, що зчитується зі шкали динамометра, Н;

P – вага вантажу і футеровки, Н.

При вимірюванні використовувалися ваги 50, 100 і 150 г.

Дані коефіцієнтів статичного і динамічного тертя наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Значення коефіцієнтів тертя і параметрів кореневої системи бур'янів

№ п / п	Вид бур'яну	Кут тертя, град		Коефіцієнт тертя		Діаметр кореня, мм
		Спокою	Ковзання	Спокою	Ковзання	
1	березка польова	43°45'	36°	0,96	0,73	1,5
2	Щетина сіра	44°40'	35°	0,99	0,70	3,85
3	Щириця закинута назад	42°25'	36°	0,91	0,73	4,3
4	осот польовий	43°20'	37°	0,95	0,75	3,4
5	Амброзія полінолиста	44°	35°	0,97	0,70	1,7
6	Мері Уайт	41°30'	37°	0,89	0,75	3,5
7	Середнє	43°27'	36°	0,95	0,73	

Як видно з таблиці, кут тертя в спокої знаходиться в межах 41° 30' / і 44° 40', а кут ковзання - в межах 35-37°, що в середньому на 10° менше кута тертя в спокої. Зменшення кута тертя ковзання можна пояснити тим, що деревоподібна оболонка кореня [5] в початковій фазі мнеться, виділяючи вологу, розташовану в корені, який при подальшому просуванні служить мастилом. В ході експерименту було встановлено, що кут тертя підпорядковується нормальному закону розподілу.

У цій же таблиці наведені геометричні параметри коренів бур'янів на глибині залягання лапи культиватора.

Таким чином, при обґрунтуванні параметрів лапи культиватора слід враховувати максимальний кут тертя в спокої, рівний 43° 27', і тертя ковзання, рівний 36°.

2.3. Обтікання лапи культиватора струменем ґрунту

При роботі поверхня лапи культиватора обтічна зі зруйнованим ґрунтом. Лобовий потік ґрунту при вході в поверхню лапи перетворюється в поперечний і поздовжній, що рухається по лопаті лапи.

Розглянемо модель руху поздовжнього потоку ґрунту, так як вона є основним фактором забезпечення руху бур'янів.

На малюнку 2.2 показано лезо АВ стандартної лапи стрілкового культиватора, що має половинчасте захоплення, що в руху в ґрунті зі швидкістю v

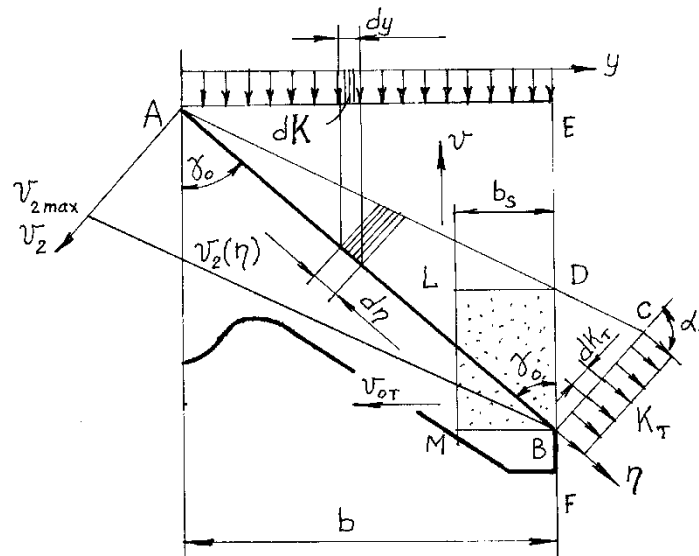


Рисунок 2.2 – Схема ґрунтових потоків, що обтікають ногою універсального культиватора і графік швидкості поздовжнього потоку ґрунту

Ґрунт, що надходить у відвал по ширині напівзахоплення, має елементарну величину руху

$$dK = dm v, \quad (2.3)$$

де dm - маса елементарного обсягу ґрунту, кг.

Запишемо елементарну масу dm через елементарний обсяг dw наступним чином

$$dm = \rho dv = \rho dv h v dt, \quad (2.4)$$

де h - глибина потоку, м;

ρ - щільність ґрунту, кг/м³;

dt - одиниця часу, с.

Тоді елементарний лобовий потік dQ буде мати наступну величину руху, задану рівнянням:

$$dK = \rho h d v^2 dy. \quad (2.5)$$

При виході на поверхню лапи частина елементарного лобового потоку dQ перетворюється в поздовжній dQ_T , що має наступне елементарне кількість руху:

$$dK_T = \rho h d v^2 \cos^2 \gamma_o d\eta. \quad (2.6)$$

де γ_o - половина кута розв'язку, град.

Для переходу на плоску картинку dQ_T прийме зображений потік і тоді $dt = 1$ $h = 1$ вираз (2.6) буде виглядати наступним чином:

$$dK_T = \rho v^2 \cos^2 \gamma_o d\eta. \quad (2.7)$$

Інтегрують (2,7) по довжині лопаті лапи, отримуючи загальну величину руху поздовжнього потоку ґрунту при спуску з лопаті лапи:

$$K_T = \int_0^{AB} \rho v^2 \cos^2 \gamma_o d\eta = \rho v^2 \cos^2 \gamma_o AB. \quad (2.8)$$

Так як довжина лопаті АВ становить

$$AB = \frac{b}{\cos \gamma_o}, \quad (2.9)$$

Тоді формула визначення сумарного імпульсу тангенціального потоку ґрунту буде виглядати так:

$$K_T = \rho v^2 b \cos \gamma_o. \quad (2.10)$$

З геометричної точки зору (рис. 2.2) величина руху (2.10) тангенціального потоку ґрунту являє собою трикутник АВС, в якому сторона Сонця дорівнює

$$BC = b \cos \gamma_o. \quad (2.11)$$

При роботі кінець відвалу лапи культиватора, позначений на малюнку 2.2 точкою Б, переміщається уздовж кордону нерухомого ґрунту - лінії ЕФ. Як видно з малюнка, частина поздовжнього потоку виходить за межі нерухомого ґрунту. У реальних умовах ґрунтовий потік відбивається від кордону ЕФ, в результаті чого відбувається часткове гасіння поздовжнього потоку. У зв'язку з цим за кордоном ЕФ утворюється зона застою ґрунту шириною ширини b_s . У цій зоні поздовжня швидкість ґрунтового потоку гаситься, що призводить до висіння бур'янів на лапі.

Позначимо частину тангенціального потоку, що виступає за кордон БКД, і визначимо його площа, яке, виходячи з рішення косих трикутників, дорівнює

$$S_{BCD} = \frac{1}{2} BC \cdot DC \cdot \sin \alpha_1. \quad (2.12)$$

Кут α_1 знаходять з наступного співвідношення:

$$\alpha_1 = 90^\circ - \operatorname{arctg} \frac{BC}{AB} = 90^\circ - \operatorname{arctg} \cos^2 \gamma_o. \quad (2.13)$$

У свою чергу, сторона постійного струму трикутника CBD дорівнює

$$DC = \frac{b \cdot \cos \gamma_o \cdot \sin(90^\circ - \gamma_o)}{\sin(\gamma_o + \operatorname{arctg} \cos^2 \gamma_o)} = \frac{b \cdot \cos^2 \gamma_o}{\cos(\gamma_o + \operatorname{arctg} \cos^2 \gamma_o)}. \quad (2.14)$$

Підставляючи формули (2.14) і (2.13) в (2.12) і маючи на увазі величину руху (2.10) ґрунту, що спускається по лінії Сонця, отримуємо площу трикутника

$$S_{BCD} = \frac{\rho v^2 b^2 \cos^3 \gamma_o}{2 \sin(\gamma_o + \operatorname{arctg} \cos^2 \gamma_o)}. \quad (2.15)$$

Щоб визначити ширину застійної зони, припустимо, що площа прямокутника BDLM дорівнює площі трикутника CBD. Тут площа прямокутника BDLM - це зворотна величина руху. Виходячи зі сказаного

$$S_{BDLM} = S_{BCD}. \quad (2.16)$$

Зафіксуємо імпульс повернення наступним чином:

$$S_{BDLM} = \rho v_{om}^2 b_s BD, \quad (2.17)$$

де v_{om} - швидкість відбитого потоку, м/с.

Швидкість відбитого потоку визначається з діаграми (рис. 2.2)

$$v_{om} = v \cos \gamma_o \sin \gamma_o. \quad (2.18)$$

Тоді величина руху, укладеного в області, S_{BDLM} дорівнює

$$S_{BDLM} = \rho v^2 \cos \gamma_o \sin \gamma_o b_s BD. \quad (2.19)$$

Нагадаємо, що в отриманому виразі час $t=1$ дорівнює. Сторона BD знаходиться за формулами вирішення косих трикутників

$$BD = \frac{b \cos \gamma_o \cos \operatorname{arctg} \cos^2 \gamma_o}{\sin(\gamma_o + \operatorname{arctg} \cos^2 \gamma_o)}. \quad (2.20)$$

Підставляючи (2.20) в (2.19), прирівнюючи площі і S_{BDLM} (2.15) і проводячи перетворення, отримуємо ширину зони застою, яка буде записана рівнянням S_{BCD}

$$b_s = \frac{b \cos^2 \gamma_o \sin \gamma_o}{2 \cos \operatorname{arctg} \cos^2 \gamma_o}. \quad (2.21)$$

На рисунках 2.3 і 2.4 показані залежності ширини зони застою b_s як функції кута нахилу розчину лапи для γ_o фіксованої швидкості $v=2$ м/с,

мінімуму для суцільної культивачії і максимальної для міжрядної культивачії [6], а також відбитої швидкості $v_{om}(\gamma_o)$.

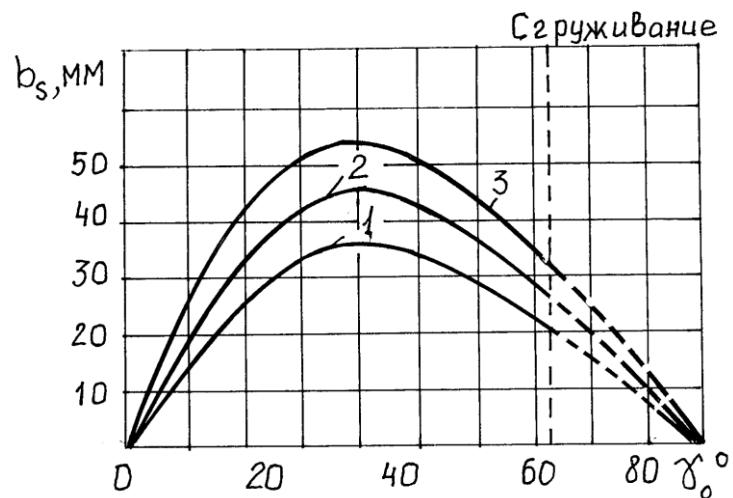


Рисунок 2.3 - Залежність ширини зони застою від кута нахилу лапи розчину і ширина напівзахоплення: 1 – $b = 125$ мм; 2 – $b = 135$ мм; 3 – $b = 165$ мм

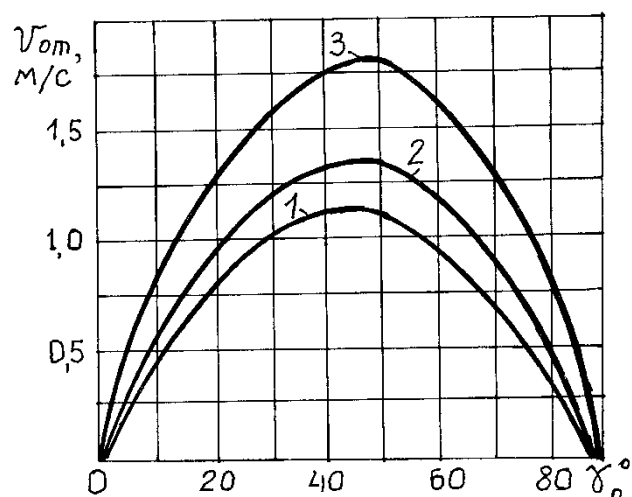


Рисунок 2.4 – Залежність відбитої швидкості від кута розв'язку лапи і швидкостей: 1 – $v = 1,8$ м/с; 2 – $v = 2$ м/с ; 3 – $v = 2,5$ м/с

Як видно з малюнка 2.3, функція має максимум при $b_s(\gamma_o) 45^\circ$, причому γ_o цей максимум не залежить від ширини напівзахоплення. При куті нахилу розчину $= 0$ фронтальний потік переходить в поздовжній, а при $\gamma_o = 90^\circ$ Q_T - в поперечний, при цьому поздовжній потік відсутній через розвантаження γ_o ґрунту перед лапою.

Тому, згідно (рис. 2.3), половина кута розчину лапи не повинна перевищувати 40° , тобто знаходиться в межах $\gamma_o = 25 \dots 30^\circ$.

Графік відбитої швидкості $v_{om}(\gamma_o)$ також має максимум на рівні $\gamma_o = 45^\circ$, незалежно від швидкості роботи культиватора (рис. 2.4), тому з цієї точки зору кут не повинен перевищувати $30\gamma_o^\circ$.

Так, відображення швидкості поздовжнього потоку ґрунту від стаціонарного ґрунту викликає пристінне явище у вигляді зони застою шириною b_s (2, 21).

Тут необхідно зробити наступне спостереження. Хоча графік $v_{om}(\gamma_o)$ основою для графіка зони застою, $b_s(\gamma_o)$ починаючи з кутів γ_o , де γ_o - кут тертя ґрунту об $\gamma_o = \gamma + \varphi_1$ метал, ґрунт починає φ_1 розвантажуватися на ногу і дія поздовжнього потоку припиняється.

Таким чином, виходячи з перерахованих вище залежностей, $b_s(\gamma_o)$ можна припустити, що для запобігання зависання бур'янів в зоні застою кут $v_{om}(\gamma_o)$ не повинен перевищувати $30\gamma_o^\circ$.

Якщо взяти ширину напівзахоплення, $b=1$ то по (2, 21) отримаємо ширину зони застою в відносних одиницях довжини леза

$$b_s = \frac{\cos^2 \gamma_o \sin \gamma_o}{2 \cos \arctg \cos^2 \gamma_o}. \quad (2.22)$$

Природно, наведений вище розрахунок зони застою не претендує на повноту, але на його підставі можна зробити висновок, що при русі поздовжнього потоку ґрунту по відвалу його швидкість зменшується і на кінці відвалу, в точці B , швидкість дорівнює нулю. Тому записати зміна тангенціальної витрати можна наступною формулою:

$$v_2 = v \cos \gamma_o \left(1 - \frac{\eta \sin \gamma_o}{b}\right). \quad (2.23)$$

Залежність $v_2(\eta)$ представлена на рисунку 2.2.

Виведена залежність дозволяє розробити механічну модель руху бур'яну по лопаті лапи, зокрема, розрахувати сили, що діють на бур'ян в будь-якій точці лопаті лапи.

РОЗДІЛ 3. ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ, ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА З ВИГНУТИМ ЛЕЗОМ

3.1. Геометрична модель поверхні лапи культиватора з вигнутим лезом

Одним із способів формування поверхонь є так званий кінематичний метод. Згідно з цим методом, певна лінія, звана формоутворюючою лінією, рухається в просторі, маючи з іншою лінією - направляючою загальну точку, звану падаючою точкою.

Для проектування поверхонь робочих органів сільськогосподарських машин найбільш прийнятними є лінійні поверхні, т. Е . Поверхні яких утворені прямою лінією.

Лінійні поверхні поділяються, у свою чергу, на мобільні та немобільні.

Розкладаються поверхні відрізняються своїми диференціально-геометричними властивостями:

- гауссова кривизна поверхні, що розгортається дорівнює нулю;
- Дотична площина стосується поверхні вздовж всієї генеруючої поверхні і не змінює свого положення в просторі при переміщенні точки дотику.

Гауссова кривина є основною характеристикою поверхні [12, 11] і розраховується за формулою

$$K = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2}, \quad (3.1)$$

де i - радіуси кривизни поверхні в двох основних взаємно перпендикулярних напрямках. $R_1 R_2$

Оскільки для розгортається поверхні один основний напрямок збігається з колишнім, то

$$K = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{1}{\infty} = 0, \quad (3.2)$$

тому що радіус кривизни прямої $R_2 = \infty$.

Друга властивість показує, що нормаль до поверхні, що розгортається уздовж однієї і тієї ж формування, не змінює свого положення, а значить, поверхня, що розгортається, може бути об'єднана з площиною, так як всі нормалі площини паралельні один одному.

Завдяки своїм диференціально-геометричним властивостям робочі органи з розкладається поверхнею мають ряд переваг.

Оскільки поверхня, що розкладається, може поєднуватися з площиною, деформація ґрунтового шару протікає тільки в одному напрямку, що робить ці поверхні менш енергоємними [11].

Розкладні лемішно-відвалові поверхні більш технологічні, ніж нерозгорнуті. При виготовленні таких робочих органів вигин металу відбувається без пластичних деформацій, що практично виключає викривлення при загартуванні.

Розгорнуті поверхні включають конічну, циліндричну форму та форму тулуба. Всі інші криволінійні поверхні мають властивість не розкриватися, тобто не перетворюватися в площину без розриву або складок. Тому невеликі ділянки нерозгортаних форм (елементи кузова автомобіля, предмети побуту і т. Д.) Виконуються методом гарячого штампування або лиття. Неправильні форми значних розмірів (фюзеляжі літаків, поверхні кораблів, сферичні контейнери) підлягають грудковому наближенню (математичній заміні) окремих нерозгортаних елементів на сусідні розгорнуті (конус, циліндр, тулуб).

Перевага в конструкції розпушує лапи віддавалася конічної поверхні, так як вона має широкий спектр перетинів з по-різному орієнтованими в просторі площинами. Це значно підвищує розпушують якості таких лап за рахунок зміни напрямку впливу, спрямованого перпендикулярно цим кривим.

Так, наприклад, найпростіший прямий круговий конус, в залежності від розташування ріжучих площин, має в якості визначальних перетинів коло, еліпс, параболу і гіперболу. Це геометрична властивість конуса стало вирішальним при визначенні переваги криволінійної форми.

У розділі 2.5 було встановлено, що для забезпечення спуску бур'янів лезо лапи культиватора має бути вигнутим, а площина кривої збігається з площиною дна борозни. Оскільки лапка культиватора має площину симетрії, в цьому випадку в якості розкладання найбільше підходить конічна поверхня.

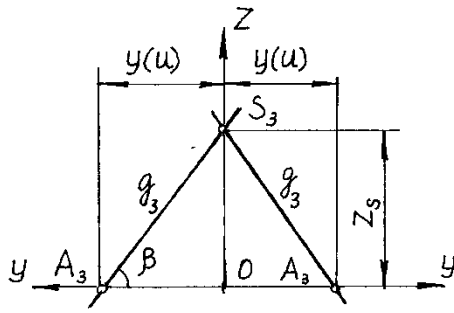
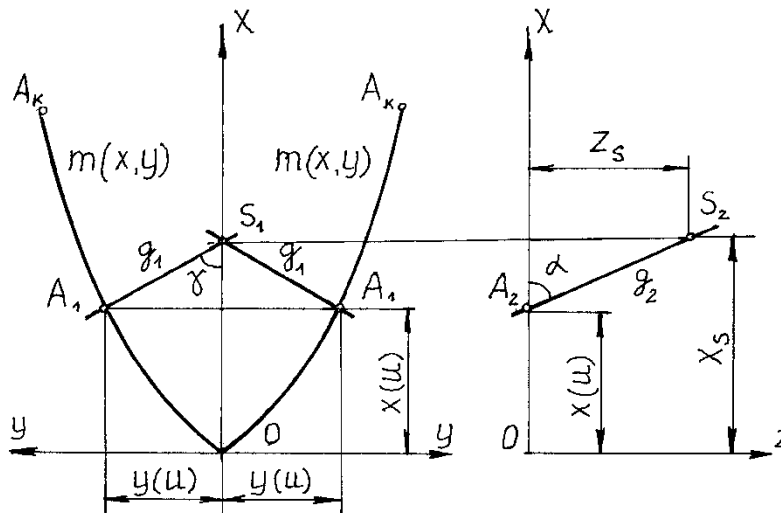


Рисунок 3.1 – Схема формування конічної поверхні лапи універсального культиватора з вигнутим лезом



Розглянемо утворення конічної поверхні (рис. 3.1) з вершиною S , яка лежить в поздовжньо-вертикальній площині O_{xz} . Направляючою кривою є лезо лапи, розташоване в площині, O_{xy} яка є нижньою частиною борозни:

$$m: \quad x = x(u), \quad y = y(u), \quad (3.3)$$

де i - деякий параметр.

Запишемо рівняння прямолінійної g -утворюючої поверхні, що проходить через вершину $S(x_s, y_s, z_s)$ і точку падіння $A[x(u), y(u)]$:

$$z - z_s = r_1(x - x_s), \quad (3.4)$$

$$y - y_s = r_2(x - x_s), \quad (3.5)$$

де r_1 і r_2 - кутові коефіцієнти проєкцій першого.

З трикутника, S_1, S_2, A_2 на площині проєкцій, O_{xz} маємо

$$r_1 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{z_s}{x_s - x(u)}, \quad (3.6)$$

А з трикутника, S_3, O, A_3 на горизонтальній площині проєкцій, O_{yx} маємо

$$r_2 = \operatorname{tg} \gamma = \frac{y(u)}{x_s - x(u)}. \quad (3.7)$$

Підставляючи отримані значення кутових коефіцієнтів r_1 в r_2 рівняння прямої (3, 4) і (3, 5) отримаємо

$$z - z_s = \frac{z_s}{x_s - x(u)}(x - x_s), \quad (3.8)$$

$$y - y_s = \frac{y(u)}{x_s - x(u)}(x - x_s). \quad (3.9)$$

Розділивши обидві частини на $(x - x_s)$ і виключивши член з наведених рівнянь, $(x - x_s)$ отримаємо загальне рівняння конічної поверхні

$$\frac{y - y_s}{x - x_s} = \frac{y(u)(z - z_s)}{z_s(x - x_s)}. \quad (3.10)$$

Отримане рівняння можна вирішити однією з координат, наприклад z :

$$z = \frac{y - y_s}{y(u)}(x - x_s) - \frac{y(u)}{x - x_s}. \quad (3.11)$$

Отримане рівняння є загальним рівнянням конічної поверхні. Запишемо рівняння формування g у вигляді рівняння прямої в просторі, що проходить через дві точки, одна з яких вершина S , а інша - точка падіння A з координатами (3, 3):

$$\frac{x - x_s}{x(u) - x_s} = \frac{y - y_s}{y(u) - y_s} = \frac{z - z_s}{z(u) - z_s}. \quad (3.12)$$

Оскільки направляюча крива m (3.1) плоска, а вершина конічної поверхні лежить в поздовжньо-вертикальній площині, то , $y_s = 0$ рівняння прямої (3.12) прийме наступний вигляд

$$\frac{x - x_s}{x(u) - x_s} = \frac{y}{y(u)} = \frac{z - z_s}{-z_s}. \quad (3.13)$$

Отримане рівняння розбивається наступним чином:

$$\frac{x - x_s}{x(u) - x_s} = \frac{y}{y(u)}, \quad (3.14)$$

$$\frac{x - x_s}{x(u) - x_s} = \frac{z - z_s}{-z_s}, \quad (3.15)$$

$$\frac{y}{y(u)} = \frac{z - z_s}{-z_s}. \quad (3.16)$$

З отриманих рівнянь (3.14), (3.15) і (3.16) приходимо до рівнянь проєкцій перших. Отже, з рівняння (3.14) по горизонтальній проєкції O_{xy} маємо рівняння формування проєкції

$$y = \frac{y(u)}{x(u) - x_s} x + \frac{y(u)x_s}{x(u) - x_s}. \quad (3.17)$$

З рівняння (3.15) на площині профілю O_{xz} проекції, рівняння формує виглядає так:

$$z = \frac{-z_s}{x(u) - x_s} x + z_s \left[\frac{x_s}{x(u) - x_s} - 1 \right]. \quad (3.18)$$

І, нарешті, перетворюючи рівняння (3.16), отримуємо рівняння формування проекції на фронтальній площині проекцій:

$$z = \frac{-z_s}{y(u)} y + z_s. \quad (3.19)$$

Вирази (3.17), (3.18) і (3.19) можна спростити. Для цього необхідно до рівнянь додати третину (3.4)

$$z - z_s = r_3(y - y_s), \quad (3.20)$$

де r_3 - кутовий коефіцієнт формування проекцій на горизонтальній площині.

З трикутника S_3OA_3 визначимо кутовий коефіцієнт, r_3 який дорівнює

$$r_3 = \operatorname{tg} \delta = \frac{z_s}{y(u)}. \quad (3.21)$$

Нарешті, система рівнянь, що описують поверхню, буде виглядати наступним чином

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{z_s}{x_s - x(u)} (x - x_s) + z_s, \\ y &= \frac{y_s}{x_s - x(u)} (x - x_s) + y_s, \\ z &= \frac{z_s}{y(u)} (y - y_s) + z_s. \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

Таким чином, ми маємо систему рівнянь, що описують проекції формуючої поверхні лапи культиватора.

Значення параметра може бути і різним: певна координата, кут повороту радіуса-вектора точки A_i , абстрактний параметр, який приймає значення від 0 до 1, однак, незалежно від способу установки параметра, система (3, 22) повністю описує конічну поверхню.

Незважаючи на те, що дослідження проводилися для умов Дніпропетровської області, технічне рішення має певну універсальність.

3.2. Опис криволінійного леза лапи за допомогою поліномів

У попередньому розділі було показано, що для того, щоб бур'яни не обволікали лапи культиватора, леза повинні бути криволінійними, а для посилення тангенціального стоку ґрунту опуклими по ходу руху.

Одним з найпростіших способів проектування кривих є опис їх поліномами виду

$$P = \sum_{i=0}^n a_i x_i, \quad (3.23)$$

де n - число доданків многочлена.

Розглянемо конструкцію леза лапи культиватора виходячи з відомих конструктивних параметрів.

Помістимо лезо порожнинної лапи в систему координат Ox (рис. 3.2), вісь Ox якої спрямована в сторону, протилежну руху лапи. При цьому початок клину буде на початку координат, точка $O(0, 0)$, а кінець в точці $K(l, b)$, де l - довжина леза лапи по осі Ox , а b - половина ширини лапи. У цих точках необхідно вказати дотичні t_0 і t_k , розташовані під кутом γ_0 на початку координат O і в точці K . В даному випадку ми маємо чотири параметри, тому контур леза порожнини стопи можна описати многочленом третього ступеня γ_k

$$y = a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0, \quad (3.24)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 знаходяться невідомі коефіцієнти.

Перед визначенням коефіцієнтів многочлена відразу уточнимо умова опуклості. Ця умова говорить, що кут γ_k повинен бути менше кута γ_0 , тобто $\gamma_k < \gamma_{про}$. Якщо $\gamma_k > \gamma_{про}$ многочлен буде мати точку перегину [50], яка порушить монотонність зміни першої похідної по лезу між точками O і K .

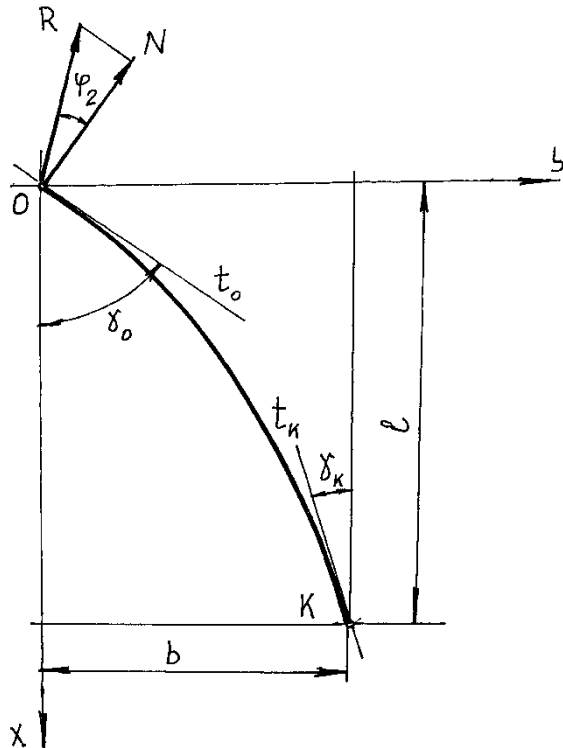


Рисунок 3.2 – Схема формування криволінійного відвалу лапи універсального культиватора

Висловимо коефіцієнти a_0, a_1, a_2, a_3 многочлена (3, 24) через параметри конструкції l, b, γ_0 і γ_k

Оскільки початок координат леза знаходиться на початку координат, вільний член a_0 многочлена (3, 24) дорівнює нулю, і многочлен буде виглядати так:

$$y = a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x. \quad (3.25)$$

Похідна многочлена (3, 18) буде мати вигляд

$$y' = 3a_3 x^2 + 2a_2 x + a_1. \quad (3.26)$$

Запишіть вирази (3.25) і (3.26) для початку леза, точку O, підставивши значення координат точки O і кута нахилу дотичної t_o в одній точці. При цьому необхідно враховувати той факт, що кут γ_0 повинен задовольняти умові Початок руху бур'яну по лезу:

$$\gamma_{\text{близько}} < 90^\circ - \varphi_2 - \Delta, \quad (3.27)$$

де φ_2 - кут тертя бур'яну об метал, $\varphi_2 = 41^\circ$ до 31° / $-44^\circ 40'$ (перетин 2.2);

Δ - це додатковий кут, який враховує липкість ґрунту, яку можна враховувати в межах $\Delta = 3 \dots 8^\circ$.

Це нерівність забезпечує потрапляння бур'яном W за межі кута тертя, утвореного нормаллю до леза N і його повної реакції R (рис. 3.2). Таке положення забезпечує переміщення бур'яну на початку леза під дією поздовжнього потоку ґрунту, що рухається по лезу лапи.

Для початку клину точкою O запишіть вирази (3.25) і (3.26), підставляючи значення координат $x_o = 0, y_o = 0, = tg(\gamma - \gamma'_o \varphi_2 - \Delta)$:

$$0 = a_3 \cdot 0 + a_2 \cdot 0 + a_1 \cdot 0, \quad ,$$

$$tg(\gamma - \varphi_2 - \Delta) = , \quad (3.28) 3a_3 \cdot 0 + 2a_2 \cdot 0 + a_1$$

Звідки $a_1 = tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta)$. Тому коефіцієнт a_1 многочлена (3.25) дорівнює дотичній кута нахилу дотичної на початку лопатки лапи.

Для кінця клину, який визначається точкою K , підставляємо значення координат, рівні розрахунковим параметрам $x = l, y = b, = tg$ маємо з виразів (3.25) і (3.26): $y'_K \gamma_K$

$$b = a_3 \cdot l^3 + a_2 \cdot l^2 + tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta) l, \quad (3.29)$$

$$tg \gamma_K = + 3a_3 l^2 + 2a_2 l tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta), \quad (3.30)$$

система з двох рівнянь з двома невідомими a_2 і a_3 . Висловимо коефіцієнт з першого a_3 рівняння:

$$a_3 = [- l^{-3} b - a_2 \cdot l^2 tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta)], \quad (3.31)$$

і підставляємо в другий, отримуючи значення коефіцієнта a_2 :

$$a_2 = [- tg - 2 (l^{-1} \frac{3b}{l} tg \gamma_K (90^\circ - \varphi_2 - \Delta))]. \quad (3.32)$$

Нарешті, маємо значення коефіцієнта a_3 :

$$a_3 = [l tg - l^{-3} 2b + \gamma_K tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta)]. \quad (3.33)$$

Підставляючи значення коефіцієнтів a_1, a_2 і a_3 , маємо

$$y = [l tg - l^{-3} 2b + \gamma_K tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta)] x^3 + \\ + l^{-1} [- tg - 2 tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta)] x^2 + \frac{3b}{l} + \gamma_K tg(90^\circ - \varphi_2 - \Delta) x. \quad (3.34)$$

Основні положення підрозділу з наведеним прикладом наведені в роботі [35].

Таким чином, криволінійне лезо лапи культиватора можна описати многочленом третього ступеня, висловивши його коефіцієнти через конструктивні параметри: половину ширини роботи, довжину і кути нахилу дотичні на початку і кінці леза.

3.3. Проектування леза лапи культиватора на основі логарифмічної спіралі

Розглянемо конструкцію леза лапи культиватора на основі логарифмічної спіралі з різним розташуванням центру спіралі.

Варіант I. Полярний центр логарифмічної спіралі розташований на осі O_x декартової системи координат як показано на малюнку 3.3. Назвемо цей випадок симетричним розташуванням центру спіралі. Визначимо точку К, яка буде кінцем дуги з координатами (x_K, y_K) , де $x_K = \ell$ - довжина лапи, а $y_K = b$ - ширина напівзахоплення. Тоді кут θ буде дорівнює куту рішення лапи, а полярна вісь θ пройде через точку К. γ_0 - кут між осью O_c та осью O_x .

У декартовій системі координат рівняння логарифмічної спіралі буде мати вигляд

$$\begin{cases} x = x_c - r_0 e^{W\varphi} \cos(\varphi_K - \varphi); \\ y = r_0 e^{W\varphi} \sin(\varphi_K - \varphi), \end{cases} \quad (3.35)$$

$$(3.36)$$

де φ_K - кінцевий полярний кут, рад.; x_c - координата центру спіралі по осі O_x , м; $W = \frac{1}{\ln \theta}$; φ - полярний кут, рад.

Виходячи з цих рівнянь, початковий радіус-вектор, кінцевий полярний кут і координата r_0 центру спіралі невідомі. Щоб визначити кінцевий полярний кут, запишіть суму кутів для чотирикутника x_c (рис. 3.3). Відзначимо, що в точці К тангенс до спіралі розташований під кутом до $ODKO_c$ осі. Отже, γ_K - кут між O_x та $ODKO_c$. $\angle DOO_c = \gamma_0 = \theta$, $\angle ODK = 180^\circ - \theta + \gamma_K$, і $\angle DKO_c = 180^\circ - \theta$. Звідси ми маємо $\angle KO_c O = \varphi_K$.

$$360^\circ = \theta + 180^\circ - \theta + \gamma_K + 180^\circ - \theta + \varphi_K,$$

Звідки

$$\varphi_K = \theta - \gamma_K. \quad (3.37)$$

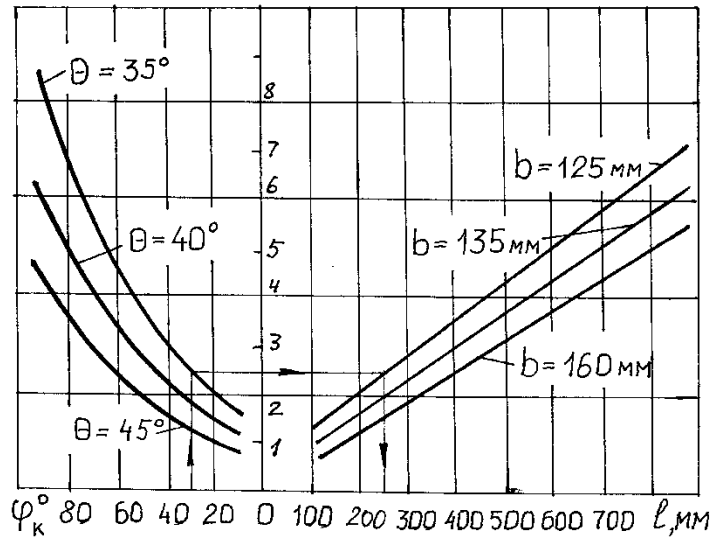


Рисунок 3.4 - Залежності для визначення довжини лапи з вигнутим лезом для заданих параметрів θ , φ_K і b симетричним розташуванням полярного центру

Залежності довжини лапи від ℓ кінцевого полярного кута φ_K при стандартній ширині напівзахоплення b наведені на номограмі 3.4.

Як видно з малюнка, зі збільшенням кута θ зменшується довжина лапи, що позначається на витраті металу. Наприклад, при $\theta = 35^\circ$, мм $\varphi_K = 40^\circ$ $b = 125$ і мм $\ell = 250$.

Варіант II. У цьому варіанті центр логарифмічної спіралі розташовується за віссю O_x (рис. 3.5). Назвемо, таким чином, цей варіант із зовнішнім розташуванням полярного центру спіралі.

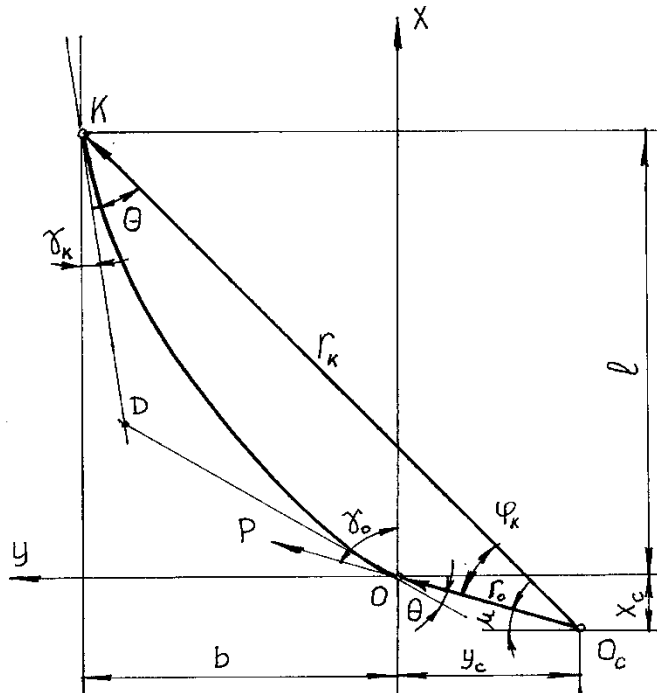


Рисунок 3.5 - Схема побудови логарифмічної спіралі із зовнішнім розташуванням полярного центру

У цьому варіанті рівняння логарифмічної спіралі в декартовій системі координат буде виглядати так :

$$x = -x_c + r_o e^w \sin(\varphi - \mu); \quad (3.44)$$

$$y = -y_c + r_o e^w \cos(\varphi - \mu), \quad (3.45)$$

де μ - кут між початковим радіус-вектором і r_o віссю O_y , град.

Виходячи з рівнянь (3.44) і (3.45), маємо чотири невідомих: x_c , y_c , r_o і μ . Тому для їх визначення необхідно до (3, 44) і (3, 45) скласти ще два рівняння. Однак кількість невідомих можна зменшити, висловивши кут r_o через кут рішення μ і γ_o .

Для визначення кута μ запишіть першу похідну числа (3,44) і (3,45), пам'ятаючи, що дана функція задана параметрично

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\operatorname{ctg} \theta \cos(\varphi - \mu) - \sin(\varphi - \mu)}{\cos(\varphi - \mu) - \operatorname{ctg} \theta \sin(\varphi - \mu)}. \quad (3.46)$$

Взявши кут повороту радіуса-вектора, рівний нулю $\varphi = 0$ і розділивши $\cos \mu$ на $\cos \mu$, отримаємо для початку спіраль

$$\operatorname{tg} \gamma_o = \frac{dy}{dx} = \frac{\operatorname{ctg} \theta + \operatorname{tg} \mu}{1 - \operatorname{ctg} \theta \operatorname{tg} \mu}, \quad (3.47)$$

Куди ми приходимо до формули розрахунку кута μ

$$\mu = \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{tg} \gamma_o - \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \theta \operatorname{tg} \gamma_o + 1}\right). \quad (3.48)$$

На рисунку 3.6 $\mu(\gamma_o, \theta)$ показані залежності.

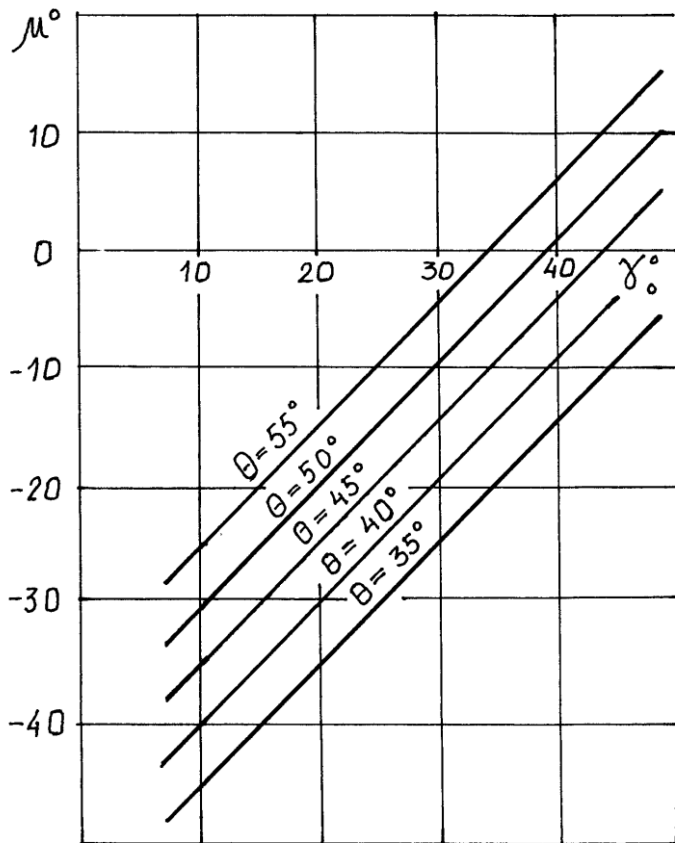


Рисунок 3.6 - Залежність кута відхилення початкового радіуса-вектора як функції кута розв'язку лапи μ і γ_0 , від зовнішнього розташування полярного центру θ

Запишемо рівність кутів для багатокутника $O_c ODK$ Виходячи з малюнка 3.5 $\angle OO_c K = \varphi_K$ $\angle O_c OD = 180^\circ - \theta = \mu + 90^\circ + \gamma_0$ $\angle ODK = 180^\circ - \gamma_0 + \gamma_K$, $\angle DKO_c = \theta$ то ,

$$360^\circ = \varphi_K + 180^\circ - \theta + 180^\circ - \gamma_0 + \gamma_K + \theta,$$

Звідки

$$\varphi_K = \gamma_0 - \gamma_K, \quad (3.49)$$

або

$$360^\circ = \varphi_K + \mu + 90^\circ + \gamma_0 + 180^\circ - \gamma_0 + \gamma_K + \theta,$$

Звідки

$$\varphi_K = 90^\circ - \mu - \gamma_K - \theta. \quad (3.50)$$

Запишемо вирази (3.44) і (3.45), для точки O , яка є початком координат,

$$O = -x_c + r_o \sin \mu, \quad (3.51)$$

$$O = -y_c + r_o \cos \mu. \quad (3.52)$$

Де приходимо до формул визначення центру спіралі O_c через початковий радіус-вектор

$$x_c = -r_o \sin \mu, \quad (3.53)$$

$$y_c = -r_o \cos \mu. \quad (3.54)$$

Щоб визначити початковий вектор радіуса, запишіть r_o рівняння (3,44) і (3,45), підставляючи замість координат поточної точки половину ширини захвату b і довжину лапи ℓ

$$\ell = -x_c + r_o e^{w\varphi_k} \sin(\varphi_k - \mu), \quad (3.55)$$

$$b = -y_c + r_o e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu). \quad (3.56)$$

Підставляючи в отримані вирази значення координат спіралі (3, 53) і (3, 54), отримуємо

$$\ell = -r_o \sin \mu + r_o e^{w\varphi_k} \sin(\varphi_k - \mu), \quad (3.57)$$

$$b = -r_o \cos \mu + r_o e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu). \quad (3.58)$$

Звідки ми приходимо до виразів для визначення початкового радіуса-вектора через довжину лапи

$$r_o = \frac{\ell}{e^{w\varphi_k} \sin(\varphi_k - \mu) - \sin \mu} \quad (3.59)$$

або через ширину напівзахоплення лапи:

$$r_o = \frac{b}{e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu) - \cos \mu}. \quad (3.60)$$

Виключивши початковий радіус-вектор від (3,59) і (3,60), r_o отримаємо залежність між половиною ширини захоплення b і довжиною лапи ℓ

$$\ell = \frac{b \left[e^{w\varphi_k} \sin(\varphi_k - \mu) - \sin \mu \right]}{e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu) - \cos \mu} \quad (3.61)$$

або

$$b = \frac{\ell \left[e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu) - \cos \mu \right]}{e^{w\varphi_k} \sin(\varphi_k - \mu) - \sin \mu}. \quad (3.62)$$

З двох формул слід віддати перевагу (3, 61), так як ширина напівзахоплення b є технологічним параметром.

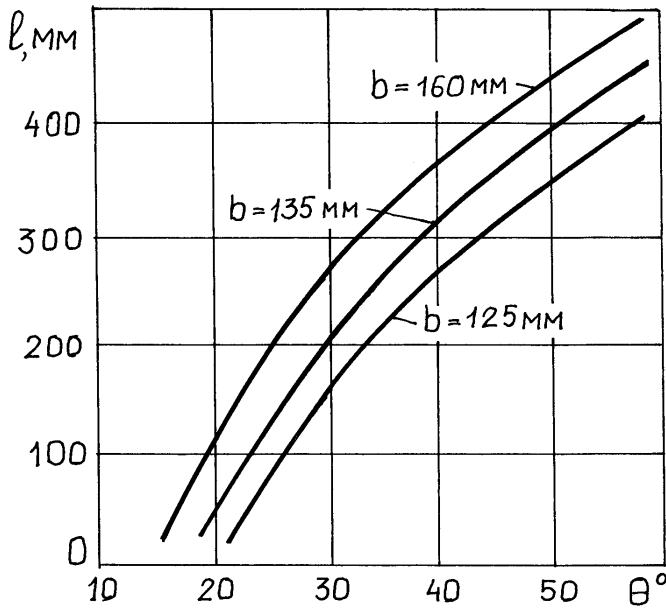


Рисунок 3.7 - Залежність довжини лапи і кута при зовнішньому розташуванні полярного центру і різна половинна ширина робочої ℓ θ

На малюнку 3.7 представлені залежності $\ell(b, \theta)$ при фіксованих значеннях кутів i . φ_K Як видно з малюнка, зі збільшенням кута μ між радіусом-вектором спіралі і дотичною довжина лапи збільшується, тому для зниження витрати металу необхідно брати кут якомога θ менше, але не виходити за рамки технологічних вимог. θ

У разі, коли задані половина ширини захоплення b і довжина лапи, ℓ необхідно вирішити нелінійне рівняння будь-яким чисельним методом, щоб визначити кінцевий полярний кут повороту вектора радіуса, який впливає з (3, 61)

$$\varphi_K^{i+1} = \arccos \left\{ \frac{b + \ell \operatorname{ctg} \mu}{A \left[\ell (\operatorname{ctg} \mu + \operatorname{tg} \varphi_K^i) + b (1 - \operatorname{ctg} \mu \varphi_K^i) \right]} \right\} \quad (3.63)$$

де i - крок ітерації;

$$A = e^{\varphi^i \operatorname{ctg} \theta}.$$

Розрахунки проводяться до тих пір, поки різниця не буде менше деякого заздалегідь заданого значення ϵ , яке може дорівнювати $= 0,5 \varphi_K^{i+1} - \varphi_K^i \xi^\circ$ або $= 0,0088$ рад. ξ

Варіант III. У цьому варіанті полярний центр розташовується всередині спіралі, а полярна вісь $O_c P$ проходить через кінцеву точку дуги спіралі К (рис. 3.8).

Рівняння логарифмічної спіралі в даному випадку буде виглядати наступним чином:

$$x = x_c - r_o e^{w\varphi} \cos(\varphi - \mu); \quad (3.64)$$

$$y = y_c - r_o e^{w\varphi} \sin(\varphi - \mu), \quad (3.65)$$

де μ - кут нахилу початкового радіуса-вектора до осі O_x , град.

Таким чином, ми маємо чотири невідомих, μ , r_o , x_c , y_c

Напишемо першу похідну для (3.64) і (3.65):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\cos(\varphi - \mu) + \operatorname{ctg} \theta \sin(\varphi - \mu)}{\operatorname{ctg} \theta \cos(\varphi - \mu) - \sin(\varphi - \mu)}. \quad (3.66)$$

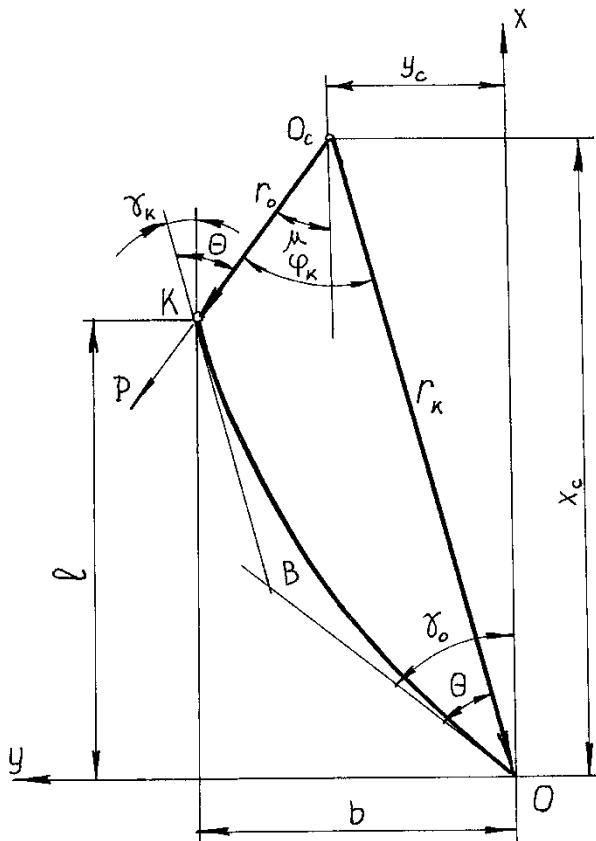


Рисунок 3.8 – Схема побудови спіралі у внутрішньому розташуванні полярного центру

Щоб визначити кут нахилу початкового радіуса-вектора, розділимо μ вираз (3, 66) на $\cos(\varphi - \mu)$ і оскільки для початкового радіуса-вектора, $\varphi = 0$ то можна записати

$$\operatorname{tg} \gamma_k = \frac{dy}{dx} = \frac{\cos \mu + \operatorname{ctg} \theta \sin \mu}{\operatorname{ctg} \theta \cos \mu - \sin \mu}, \quad (3.67)$$

Звідки ми родом?

$$\mu = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{\operatorname{ctg} \theta \cdot \operatorname{tg} \gamma_k - 1}{\operatorname{tg} \gamma_k + \operatorname{ctg} \theta} \right\} \quad (3.68)$$

де γ_k - кут нахилу дотичної в точці K, град.

На малюнку 3.9 показані залежності. $\mu(\gamma_k, \theta)$ Як видно з малюнка, в даному варіанті всі кути негативні, на μ відміну від варіанту 2 із зовнішнім розташуванням центру спіралі.

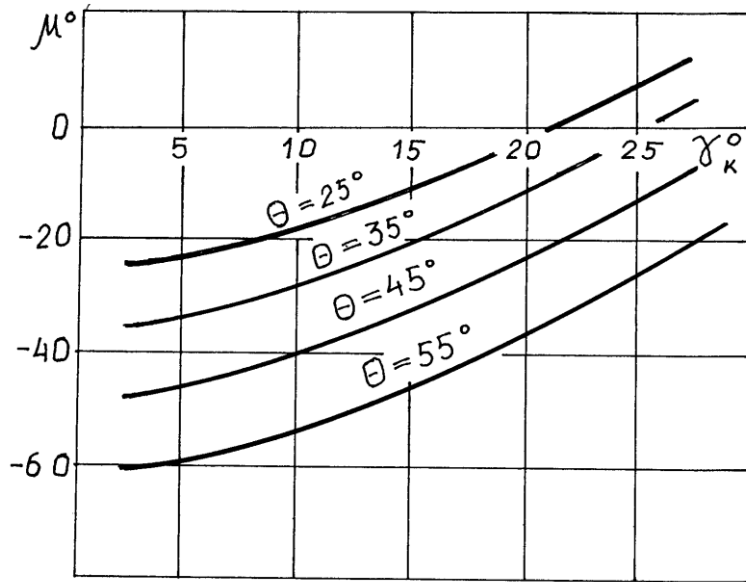


Рисунок 3.9 - Залежність кута нахилу початкового вектора радіуса μ від кутів γ_k і θ при внутрішньому розташуванні полярного центру

Запишемо суму кутів багатокутника $OBKO_c$ У цьому багатокутнику $\angle BOO_c = \theta$, $\angle OBK = 180^\circ + \gamma_k - \gamma_o$, $\angle BKO_c = 180^\circ - \theta$ і $\angle KO_cO = \varphi_k$.

Тоді сума кутів дорівнює

$$360^\circ = \theta + 180^\circ + \gamma_k - \gamma_o + 180^\circ - \theta + \varphi_k.$$

Звідки кінцевий полярний кут повороту радіуса-вектора

$$\varphi_k = \gamma_o - \gamma_k. \quad (3.69)$$

Запишемо його, підставивши замість координат x і y параметрів конструкції (3,65) в (3,64) ℓ і b ,

$$\ell = x_c - r_o \cos \mu, \quad (3.70)$$

$$b = y_c - r_o \sin \mu. \quad (3.71)$$

Координати полярного центру спіралі відповідно рівні

$$x_c = r_o e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu), \quad (3.72)$$

$$y_c = r_o e^{w\varphi_k} \sin(\varphi_k - \mu) \quad (3.73)$$

Підставляючи в (3,70) і (3,71) отримані значення і x_c , висловлюємо початковий радіус-вектор через половину ширини захоплення y_c і довжину лапи ℓ :

$$\ell = r_o e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu) - r_o \cos \mu, \quad (3.74)$$

$$b = r_o \ell^{w\varphi} \sin(\varphi_K - \mu) - r_o \sin \mu, \quad (3.75)$$

$$r_o = \frac{\ell}{e^{w\varphi_K} \cos(\varphi_K - \mu) - \cos \mu}, \quad (3.76)$$

$$r_o = \frac{b}{e^{w\varphi_K} \sin(\varphi_K - \mu) - \sin \mu}. \quad (3.77)$$

Аналогічно варіанту II, визначаємо взаємозв'язок між конструктивними параметрами b і ℓ

$$\ell = \frac{b [e^{w\varphi_K} \cos(\varphi_K - \mu) - \cos \mu]}{e^{w\varphi_K} \sin(\varphi_K - \mu) - \sin \mu}. \quad (3.78)$$

Слід зазначити, що $(\varphi_K - \mu)$ вираз слід підставляти абсолютне значення кута μ .

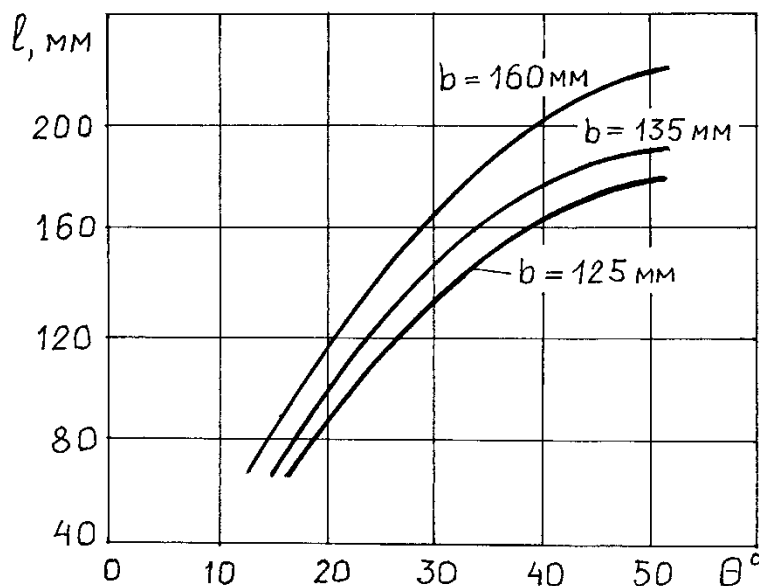


Рисунок 3.10 - Залежність довжини лапи від ширини ℓ напівзахоплення і кута з внутрішнім розташуванням полярного центру і фіксованим значенням кута $b, \theta) \mu (\mu = -35^\circ$

На малюнку 3.10 показана залежність довжини лапи від ширини ℓ полузахоплення і кута. Як видно з малюнка, при зменшенні кута b зменшується θ і довжина лапи. Так для мм при $\theta = 40^\circ$, довжина лапи $b = 125$ мм. Однак існують істотні обмеження, що накладаються на параметри. $\gamma_K = 12^\circ$ $\mu = -35^\circ$ $\ell = 170$

Щоб встановити зв'язок між параметрами, якими є кути, звернемося до малюнка 3.11. На малюнку показаний випадок, коли точка В потрапляє на лінію ОК. Це призводить до того, що початковий радіус-вектор r_o стає рівним нескінченності $r_o = \infty$ і спіраль перестає існувати.

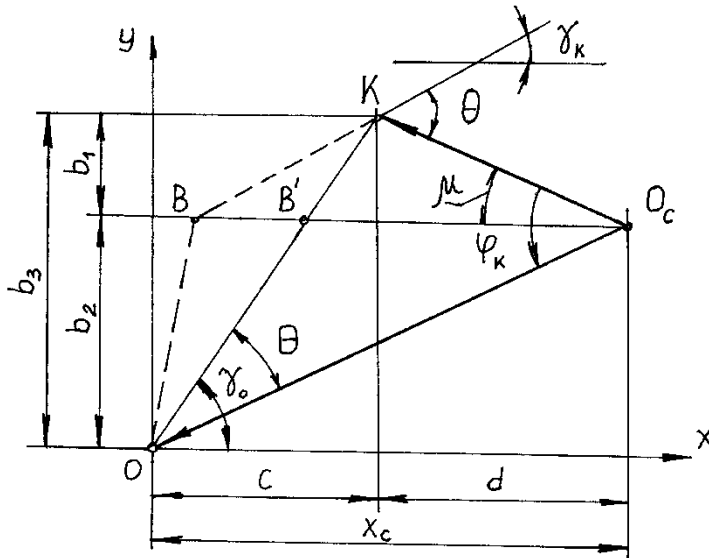


Рисунок 3.11 - Схема визначення граничних значень параметрів логарифмічної спіралі

З малюнка видно, що відрізок ОК, з одного боку, дорівнює

$$OK = \frac{c}{\cos \gamma_o} = \frac{x_c - d}{\cos \gamma_o}, \quad (3.79)$$

а з іншого боку

$$OK = \frac{b_3}{\sin \gamma_o} = \frac{b_1 + b_2}{\sin \gamma_o}. \quad (3.80)$$

Прирівнюючи ці вирази, маємо

$$\frac{x_c - d}{\cos \gamma_o} = \frac{b_1 + b_2}{\sin \gamma_o}. \quad (3.81)$$

Але оскільки

$$x_c = r_o e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu), \quad (3.82)$$

$$d = r_o \cos \mu, \quad (3.83)$$

$$b_1 = r_o \sin \mu, \quad (3.84)$$

$$b_2 = r_o e^{w\varphi_k} \sin(\varphi_k - \mu), \quad (3.85)$$

Тоді попередній вираз буде виглядати так:

$$\frac{r_o e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_k - \mu) - r_o \cos \mu}{\cos \gamma_o} = \frac{r_o \sin \mu + r_o e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_k - \mu)}{\sin \gamma_o}. \quad (3.86)$$

Виключивши з отриманого рівності r_o і помноживши $\sin \gamma_o$ на , отримаємо наступне рівняння

$$\operatorname{tg} \gamma_o \left[e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_k - \mu) - \cos \mu \right] - \sin \mu - e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_k - \mu) = 0, \quad (3.87)$$

що дозволяє встановити межі існування логарифмічної спіралі для заданого варіанту розташування полярного центру.

У разі, коли половина ширини захоплення b і довжина лапи дані одночасно, ℓ необхідно для заданих значень кутів i і μ вирішити нелінійне рівняння θ визначити кінцевий полярний кут повороту радіуса-вектора . Це рівняння випливає з (3, 86) і виглядає наступним чином: φ_k

$$\varphi_k^{i+1} = \arcsin \left\{ \frac{\ell - b \operatorname{tg} \mu}{e^{\varphi_k^i \operatorname{ctg} \theta} [\ell (\operatorname{ctg} \varphi_k^{i+1}) - b(1 - \operatorname{ctg} \varphi_k^i \operatorname{tg} \mu)]} \right\}. \quad (3.88)$$

де i - крок ітерації.

Розглянемо тепер всі три варіанти проектування спіралі.

Варіант 1. У цьому варіанті полярний центр спіралі лежить на осі, тому O_x вона ще й найпростіша. Кут лапи розчину дорівнює γ_0 куту θ ($\gamma_0 = \theta$), тому обмежений тільки технологічними вимогами.

Варіант 2. При цьому полярний центр спіралі знаходиться за межами спіралі, тому обмежень по куту нахилу лапи розчину γ_0 немає.

Варіант 3. Цей випадок накладає певні обмеження на кут нахилу розчину лапи. Перше обмеження говорить, що кут розчину лапи повинен бути більше кута між дотичною і радіус-вектором

$$\gamma_0 > \theta, \quad (3.89)$$

другий накладає з'єднання (3,87) на кути , , θ . В іншому випадку φ_k μ , γ_0 спіраль перестає існувати.

Таким чином, виходячи з вищесказаного, найпоширенішим варіантом конструкції лапи є варіант із зовнішнім розташуванням центру спіралі, оскільки він дозволяє найменше обмежувати параметри. Однак і перший, і другий варіанти можуть використовуватися в конструкції лап в окремих випадках.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

1. Загальні вимоги безпеки

Розділ викладається самостійно відповідно до Типової інструкції «Загальні вимоги безпеки до професій і видів робіт, що виконуються в польових умовах» ТОВ Р-07-001-98 з урахуванням специфіки конкретного лісового господарства.

2. Вимоги безпеки перед початком робіт

2.1. Перед початком робіт уточніть у майстра порядок проходження інструкції з безпечних методів і порядок виконання операцій, передбачений технологічною картою, з якою бригада (ланка) знайомиться перед роботою. Не змінюйте порядок без дозволу майстра. Небезпечні зони і місця відпочинку повинні бути позначені попереджувальними знаками.

2.2. При підготовці ґрунту для живцювання попередньо розчищаються ходи. Не допускається:

працювати плугами, фрезами, дисковими культиваторами на ділянках площею понад 500 пнів на 1 га без розчищення проходів;

роботи в небезпечній зоні вирубки дерев.

2.3. На крутих, сильно еродованих схилах заповнювати яри і встановлювати в них опорні каркаси для запобігання осипання ґрунту. Не допускається проведення робіт на схилі з нерівностями більше 0,2 м без їх розкладки.

2.4. При роботі машин на схилі необхідно виключити присутність людей на схилі по всій його довжині. Попереджувальні знаки встановлюються вздовж кордону території.

2.5. Безпосередньо перед роботою перевіряти наявність і придатність засобів індивідуального захисту, справність ручного інструменту, машин і навісного обладнання, світлової і звукової сигналізації та засобів захисту на агрегатах. Узгодити з оператором лісгоспного підрозділу способи обмінної сигналізації.

3. Вимоги безпеки при експлуатації

3.1. Обробку ґрунту машинами і знаряддями допускається проводити під ухилом не більше 8 градусів для колісних тракторів і 12 градусів для гусеничних тракторів при горизонтальному переміщенні агрегату по схилу. Якщо трактор змушений зупинитися на схилі, його необхідно загальмувати і закріпити, а двигун заглушити.

3.2. Паркани, канави та інші перешкоди слід перетинати під кутом на найнижчій передачі, не допускаючи крену і поштовхів агрегату.

3.3. Обробка території платформобудівниками, ямочисниками, мотобурами та іншими машинами повинна проводитися по схилу не більше 20 градусів зверху вниз.

3.4. При роботі з мотобурами і розпушувачами моторист зобов'язаний: заливати горючу суміш при вимкненому двигуні; переміщатися з місця на місце на низьких оборотах двигуна, коли робочий орган не обертається; Ремонт і регулювання слід проводити при вимкненому двигуні. При обробці вручну працівники повинні дотримуватися безпечної дистанції в 3 м.

3.5. Забороняється: перевозити ручний моторний інструмент з увімкненим робочим органом, а також працювати ручним моторорозпушувачем з несправним запобіжним пристроєм; робота з незахищеними обертовими деталями механізмів; перебувати ближче 15 м від працюючої лісорізки; перебувати між тягачем і причепом; ближче 20 м від агрегату; Злізьте і сядьте на агрегат, поки він рухається.

3.6. При роботі двох і більше машин на схилі відстань між ними повинна бути не менше 60 м, а по горизонталі не менше 30 м.

3.7. При підготовці ґрунту з терасами не допускається: проводити роботи на вологому і глинистому ґрунті і в дощову погоду; відійти вниз від основної частини тераси з передгірною гусеницею; здійснювати круті повороти на схилі; переміщати валуни, каміння, пні за межі тераси; Роботи на терасі без її попередньої розмітки, в умовах поганої видимості, у вечірній і нічний час.

3.8. При терасуванні повинна бути забезпечена безпека входів на тераси, переміщення з тераси на терасу і поворотних майданчиків. При цьому ширина перехідного полотна повинна забезпечувати безпечну відстань не менше 1 м від гусениці до краю насипу ухилу переправного дорожнього полотна.

4. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

4.1. Припиняти роботу при швидкості вітру більше 11 м/с, під час грози, під час сильних дощів, снігопадів та густого туману (видимість менше 50 м).

4.2. Під час грози припиніть роботи, відведіть безпечне місце в приміщенні, на галявині, ділянці листяного молодняку, між деревами, що ростуть на відстані 20 м один від одного, в горах і горбистій місцевості ближче до середини схилу, по можливості сядьте на ізоляційний матеріал (сухий сухостій, мох, береста), приберіть з себе металеві предмети, механізми.

Під час грози: перебувати в русі, на вершині гори, пагорба, узліссі; зупинки біля струмків, річок, озер; ховатися під окремо стоять деревами, скелями,

камінням, притулятися до них; Стійте поблизу і під лініями електропередач, біля триангуляційних знаків, інших веж і знаків, будьте ближче 10 м від машин і механізмів.

4.3. У разі виникнення лісової пожежі вжити заходів щодо гасіння пожежі самостійно, по можливості надати інформацію лісгоспу, лісгоспу або іншій організації, підприємству, населенню. При неможливості загасити пожежу і є загроза життю, вжити заходів особистої безпеки і залишити місце пожежі.

Зробити те ж саме в разі виникнення будь-якої іншої небезпеки (екологічної, стихійного лиха, радіаційної, хімічної небезпеки), яка загрожує життю людини.

4.4. При ДТП надати потерпілому першу медичну допомогу, при необхідності вжити заходів щодо доставки його до медичного закладу, повідомити адміністрацію про подію, а по можливості зберегти обставини випадку.

5. Вимоги безпеки після закінчення робіт

5.1. Прибирати, приводити в порядок інструменти, обладнання, механізми, зберігати їх у спеціально відведених для цього місцях.

5.2. Зняти обмундирування, спецодяг і взуття, очистити і звільнити їх від пилу, зберігати на зберіганні.

5.3. Переконатися у відсутності енцефалітного кліща, якщо він є, видалити.

5.4. Виконувати гігієнічні процедури, при роботі в зоні радіаційного забруднення виконувати передбачені процедури.

5.5. Інформувати посадову особу про всі зауваження до роботи та вносити їх до журналу адміністративно-громадського контролю за охороною праці.

5.6. Гасити пожежі і присипати їх ґрунтом.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУ

Визначимо економічну ефективність від використання розробленого культиватора. Обидва агрегати мають рівну продуктивність, яка становить 2,7 га/год. Витрати палива в базового агрегату становлять 4,9 л/га., а в нового 5,9 л/га.

Вартість базового (серійного) культиватора становить 2772 ум. од. При визначенні вартості запропонованого культиватора приймемо до уваги наступне. Виготовлення додаткового комплексу робочих органів (та зміна конструкції кріплення стрілочних лап призведе до збільшення ціни серійного культиватора на 30 %.

Якісний передпосівний обробіток ґрунту дозволяє, за рахунок підвищення польової схожості насіння зменшити норму висіву його на 8...10 %. Враховуючи, що норма висіву та ринкову ціну посівного матеріалу 12...15 тис. грн/т, будемо мати, що за рахунок економії посівного матеріалу можна одержати додаткову продукцію в розмірі 17...21 грн/га. Приймемо, що в нашому випадку вартість додаткової продукції за рахунок економії насіння становить 20 грн/га. Тоді,

$$E_p = [(262,27 + 0,15 \cdot 167,6) - (288,77 + 0,15 \cdot 168,35) + 20] \cdot 2,7 \cdot 350 = 6249 \text{ грн.}$$

Строк окупності затрат на виготовлення додаткового комплексу робочих органів визначимо за формулою:

$$T_{ок} = \Delta B / E_p,$$

де ΔB - вартість удосконалення культиватора, $\Delta B = 76794 - 59072 = 17722$ грн.

$$T_{ок} = 17722 / 6249 \approx 3,0 \text{ роки.}$$

Результати розрахунку економічної ефективності зведемо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Основні економічні показники проекту

Назва показників	Агрегат		Відхи- лення (+,-)
	серійний	удосконалени й	
1. Вартість культиватора, грн.	513072	530794	+76794
2. Продуктивність, га/год.	2,70	2,70	0
3. Затрати праці, люд.год/га.	0,37	0,37	0
4. Прямі експлуатаційні витрати, грн/га	262,27	288,77	+ 26,5
в тому числі:			
оплата праці	115,13	115,13	0
амортизаційні відрахування	25,14	27,95	+ 2,81
відрахування на ремонти і ТО	14,03	15,72	+ 1,69
витрати на ПММ	107,8	129,8	+ 22,0
5. Питомі капіталовкладення, грн./га	167,6	168,35	+ 1,25
5. Річний економічний ефект, грн.	6249		
6. Строк окупності витрат на модернізацію культиватора, років	3		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Існуючі лапи культиватора, як вітчизняні, так і зарубіжні, мають пряме лезо. Наявність прямого леза не забезпечує зрізання бур'янів на кінці
2. Теоретичні дослідження руху ґрунту і бур'яну по прямолінійному лезу лапи показують, що в результаті відображення потоку ґрунту від стінки борозни виникає ефект стінки, дія якого проявляється в утворенні з кінця крила лапи зони застою, 0,22-0,31 довжини леза. Так як в зоні застою швидкість руху ґрунту по відвалу практично дорівнює нулю, вона зависає, а потім обволікає крило лапи бур'янами.
3. Усунення зони застою забезпечується виконанням леза лапи у вигляді вигнутої лінії. Одним з варіантів кривої, по якій виконано лезо лапи в горизонтальній площині, є логарифмічна спіраль. Виготовлення леза лапи у вигляді логарифмічної спіралі дозволяє збільшити динамічний тиск потоку ґрунту пропорційно руху по лезу, що виключає зону застою ґрунту і забезпечує повне очищення лапи від бур'янів.
4. Розроблено алгоритм проектування поверхні, який дозволить спроектувати ніжки з вигнутим лезом з наступними конструктивними параметрами:
 - початковий кут нахилу розчину $2\gamma^\circ = 55-60^\circ$;
 - ширина захвату $2b = 250, 270, 330$ мм;
 - кінцевий кут розв'язку $\gamma = 3-7^\circ$;
 - кут між радіусом-вектором напрямної і дотичною до нього $Q = 35-45^\circ$;
 - кут нахилу фронтальної проекції верхнього краю $\beta_2 = 8-12^\circ$;
 - висота нижньої точки верхнього краю крила лапи $E = 10-12$ мм;
 - кут нахилу формуючої поверхні лапи в першій третині леза $\beta = 15-25^\circ$;
 - відстань верхівки конічної поверхні від носка лапи становить $X_c = (0,5-1,0) l$, де l - довжина лапи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабицкий Л.Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин. – К.: Урожай, 1998. – 164 с.
2. Булгаков В.М., Цурпал І.А., Шелудченко Б.А. Факторно-технологічна модель динаміки ґрунтових структур // Науковий вісник НАУ. – К.: 1998. – Вип. 3. – С. 139-142.
3. Бондарєв С.І. Вплив ступеня спрацювання лез культиваторних лап на енергетичні та якісні показники їх роботи // Науковий вісник НАУ – К.: 2002. – Вип. 50. – С. 227-230.
4. Бур'яни України. Визначник-довідник. – К.: Наукова думка, 1970. – 212 с.
5. Веселовський І.В., Маньков Ю.П. та ін. Шкідливість основних видів бур'янів // Довідник по бур'янах. – К.: Урожай, 1993. – 185 с.
6. Гуков Я.С. Про взаємодію клину з ґрунтовим середовищем // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Київ. Урожай. – 1994. – № 79 – С. 84-88.
7. Гуков Я.С. Обґрунтування кута різання робочих органів культиваторів-розпушувачів // Вісник аграрної науки, 1998. - № 11. – С. 54-57.
8. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. – К.: Нора-прінт, 1999. – 280 с.
9. Енергозберігаючі технології – майбутнє землеробства України // Пропозиція. – 2000. - № 8-9. – С. 32.
10. Кобець А.С. Основи теорії робочих органів сільськогосподарських машин. – Дніпропетровськ. 1999. – 204 с.
11. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2003. – Вип. 33. – С. 100-104.
12. Кукурудза // Науково обґрунтована система ведення сільського господарства у Степу УРСР / Д.С.Фільов, І.С.Прокапало, В.І.Золотов та ін. – К.: Урожай, 1974. – С. 35-162.
13. Лебідь Є.М., Шевченко М.С. Пріоритетні напрямки розробки нових технологічних комплексів виробництва зерна // Бюлетень: Новини УТІМ. – К.: 2000. – Т. 2. - № 1.2. – С. 37-41.
14. Марков М.П. Кукурудза на зелений корм і силос. – К.: Урожай, 1977. – 103 с.
15. Пастухов В.І., Фесенко Г.В., Фесенко Т.Г. Розробка робочого органу культиватора для біологічної системи землеробства // Механізація сільськогосподарського виробництва / Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. –Х.: 2002. – Вип. 12. – С. 88-90.

16. Програма виробництва технологічних комплексів машин і обладнання для агропромислового комплексу на 1998-2005 роки: Схвалено Постановою Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 р. № 403.
17. Сакало В.М. Автоматизація механічного обробітку ґрунту навколо рослин // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград, 2002. – Вип. 11. – С. 108-111.
18. Шевченко М.С., Робу В.Т. Конкуренція між кукурудзою та бур'янами щодо основних елементів живлення в південно-західному регіоні // Бюл. Інституту зернового господарства. 2001. - № 17. – С. 24-26.
19. Шмат С.І., Лузан П.Г., Артеменко Д.Ю. Аналіз форм робочої поверхні відвальника до сівалки прямого посіву // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 32 – Кіровоград: КДТУ. С. 49-54.
20. Dubrowin W., Mironienko W. Techniczne zabezpieczenie gospodarstw rolnych Ukrainy I rola doradztwa rolniczego w ich rozwoju // Rozwoj infrastruktury technicznej wsi w dzialalnosci doradztwa rolniczego. – Warszawa: IBMER, 2003. – S/ 73-80.
21. W. Dubrowin, D. Vojtjuk, L. Aniskevych. Farm mechanization development in Ukraine // Research and development of Central- and Eastern European Institutes of agricultural engineering. – Godollo: MGI, 2003. – P. 59-66/
22. Robertson L., et al. Tillage sustem for Michigan corn and crons. Exiesion Bulletin. – 1997. - № 42. – P. 1-6.
23. Takashi T. Sakae S. Soil-blad dynamicsin rererse-rotational rotary tillage. I. Terramech. 2002. 39, № 2. – Str. 95-113.
24. Gianni G. Erpici, trince e falciacondiriona trici Rau pensa in grande. Macch. e mot. arr. 2003. 61. № 11. – Str. 118-119.
25. William R. Soil compaction by traffic. «Agricultural Engineering», 1959. № 7, P. 37-41.