

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

01.01 – МР. 2223 “С” 2023.12.07. 035 ПЗ

**ГРОМОВА ВІКТОРА ВОЛОДИМИРОВИЧА**

2024 р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет механіко-технологічний**

**ПОГОДЖЕНО**

Декан  
механіко-технологічного  
факультету, проф.

\_\_\_\_\_ В.В. Братішко

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
сільськогосподарських машин та  
системотехніки ім. акад. П.М.  
Василенка, к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_ Ю.О. Гуменюк

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**на тему:** «Обґрунтування параметрів і режимів роботи мульчувача для догляду  
за садами»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»  
(код і назва)

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми:**

Доктор технічних наук, професор \_\_\_\_\_ В.В. Братішко

**Керівник магістерської роботи**

доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_  
науковий ступінь та вчене звання

\_\_\_\_\_ підпис

Мартишко В.М.  
ПІБ

**Виконав**

\_\_\_\_\_ підпис

Громов В.В.  
ПІБ студента

Київ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет механіко-технологічний

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
сіськогосподарських машин та  
системотехніки ім. акад.  
П.М. Василенка, к.т.н., доц.  
\_\_\_\_\_ Ю.О. Гуменюк  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Грому Віктору Володимировичу**

Спеціальність 208 – «Агроінженерія»  
(код і назва)

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: «Обґрунтування параметрів і режимів роботи  
мульчувача для догляду за садами»

Затверджена наказом ректора НУБіП України від "07" грудня 2023 р.  
№2223"С".

Термін подання завершеної роботи на кафедру 13 жовтня 2024 року  
(рік, число, місяць)

Вихідні дані до роботи – Взаємодія корпусу плуга із ґрунтовим середовищем

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз способів обробітку ґрунту в садах і ягідниках.
2. Дослідження процесу взаємодії мульчувача з ґрунтом
3. Теоретичні дослідження мульчувача
4. Експериментальні дослідження мульчувача
5. Техніко-економічна оцінка роботи

Дата видачі завдання “21” грудня 2023 р.

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_ В.М. Мартишко  
підпис прізвище

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ В.В. Громов  
підпис прізвище

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: “ **Обґрунтування параметрів і режимів роботи мульчувача для догляду за садами** ”

Пояснювальна записка виконана на 94 сторінках машинописного тексту пояснювальної записки формату А4, що містить 138 формули, 5 таблиць, 26 рисунків.

Магістерська робота присвячена обґрунтуванню схеми і конструктивних параметрів фрезерного мульчувача.

У першому розділі пояснювальної записки наведено характеристики садів, способи обробітку ґрунту в садах та технічні засоби для їх реалізації.

У другому розділі представлені механіко-технологічні передумови для розробки фрезерного мульчувача.

У третьому розділі ми представили теоретичні дослідження фрезерного мульчувача з вертикальною віссю обертання.

У четвертому розділі ми визначаємо параметри та режими роботи удосконаленого фрезерного мульчувача.

У п'ятому розділі наведені данні експериментальних досліджень.

У шостому розділі розраховано економічну ефективність розробки.

Ключові слова: МУЛЬЧУВАЧ, ФРЕЗА, РОТОР, ПАРАМЕТРИ, ОБРОБКА ГРУНТУ, ПРИСТОВБУРНІ СМУГИ, ДОГЛЯД ЗА ГРУНТОМ.

## ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Обґрунтування теми магістерської роботи	8
1.1. Характеристика садів, як об'єкту обробітку ґрунту	8
1.2. Способи обробітку ґрунту в садах і ягідниках	9
1.3. Огляд конструкцій машин та знаряддя для обробітку ґрунту в садах	12
1.4. Класифікація фрезерних мульчувачів	20
Розділ 2. Механіко-технологічні передумови до розробки фрезерного мульчувача	26
2.1. Фізико-механічні властивості ґрунту, як об'єкта обробітку	28
2.2. Агротехнічні та експлуатаційні вимоги до ґрунтообробних знарядь	32
Розділ 3. Теоретичні дослідження фрезерного мульчувача з вертикальною віссю обертання	33
3.1. Кінематика фрезерного мульчувача з вертикальною віссю обертання	33
3.2. Визначення розмірів скиби	36
3.3. Умови руйнування ґрунту	39
3.4. Вибір раціональної геометричної форми ротора	44
3.5. Синтез механізму висувної секції	48
3.6. Вибір та аналіз системи гідрослідкувального пристрою	59
Розділ 4. Розрахунок основних параметрів і режимів роботи	64
4.1. Опис розроблюваного фрезерного мульчувача та прототипу	64
4.2. Вихідні дані до розробки фрезерного мульчувача	66
4.3. Діаметр ротора	67
4.4. Кількість ножів на одному диску	68
4.5. Кінематичний режим роботи фрезерного мульчувача	69
4.6. Швидкість різання та частота обертання ротора	70
4.7. Визначення параметрів ножів ротора	71
Розділ 5. Експериментальні дослідження фрезерного мульчувача з вертикальною віссю обертання	77
5.1. Технічні характеристики лабораторно-польового зразка фрезерного мульчувача та методика проведення досліджень	77
5.2. Результати експериментальних досліджень	80
Розділ 6. Показники економічної ефективності фрезерного мульчувача	84
Список використаної літератури	90

## ВСТУП

Садівництво – одна з найбільш інтенсивних і прибуткових галузей сільськогосподарського виробництва. Затрати праці і засобів виробництва в садівництві значно вищі, ніж при вирощуванні зернових культур. На кожен гектар плодово-ягідних насаджень при доброму догляді і сучасному рівні механізації в середньому затрачається 80-100 людиноднів, що в 15-20 разів вище, ніж на один гектар зернових культур.

Необхідною умовою підйому продуктивності в садівництві і зниження собівартості продукції являється послідовна інтенсифікація виробництва на базі комплексної механізації і автоматизації виробничих процесів.

Для подальшого збільшення вирощування плодів та ягід, велике значення має організація раціонального використання техніки, з застосуванням інтенсивних технологій, а також подальше її удосконалення.

Одержанню високих урожаїв плодів сприяє вчасний і високоякісний обробіток ґрунту в садах. До основних робіт по обробітку ґрунту належать зяблева оранка або дискування, боронування, культивація міжрядь та розпушування пристовбових смуг. Саме догляд за ґрунтом в пристовбурно-міжстовбурними смугами є найбільш відповідальним, а існуючі машини і пристрої не завжди задовільняють агротехнічні вимоги.

В зв'язку з цим перед конструкторами сільськогосподарської техніки стоїть завдання подальшого розроблення високопродуктивних машин для догляду за ґрунтом в садах.

*Об'єктом дослідження* магістерської роботи є технологічний процес та технічні засоби обробітку між стовбурних смуг в інтенсивних садах.

*Предметом дослідження* є закономірність впливу параметрів фрезерного мульчувача, з вертикальною віссю обертання, на ефективність виконання технологічного процесу

*Метою магістерської роботи* є підвищення ефективності процесу обробітку ґрунту у міжстовбурних смугах садів інтенсивного типу шляхом вдосконалення вертикального ротора фрезерного мульчувача.

*Завдання досліджень* – довести теоретично і експериментально доцільність застосування вертикальних роторів фрезерного мульчувача, обґрунтувати основні параметри та режими роботи.

*Методи досліджень.* Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень математики, теоретичної механіки та теорії землеробської механіки. Експериментальні дослідження виконувались у лабораторних і виробничих умовах з використанням методів планування експериментів і статистичної обробки експериментальних даних з використанням комп'ютерної техніки.

## РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

### 1.1. Характеристика садів, як об'єкту обробітку ґрунту

Першочерговою задачею, при обробітку ґрунту у садах, є збереження верхнього родючого шару, а також обережне відношення до підстилаючих горизонтів – материнської породи. У зв'язку з цим необхідно обдуманно використовувати засоби механізації, які сильно перемішують верхній родючий шар з материнською породою. За 3 – 5 років поверхня ущільнюється, що знижує її водопроникність і призводить до застоювання води. У результаті погіршуються умови для росту кореневої системи рослин, життєдіяльності різних комах та бактерій [15].

На сучасному етапі розвитку садівництва за інтенсивною технологією значно зменшилась відстань між деревами. Якщо раніше дерева садили достатньо широко одне від одного, то тепер за інтенсивною технологією відстань між деревами зменшилася у 2 і більше рази. Величина міжрядь  $Y$  (рис. 1.1) зменшилася з 10 метрів, за старою технологією, до 6 – 8 метрів, відстань між деревами  $X$  зменшилася з 10 метрів до 4 – 6 метрів. Це призвело до зміни обробітку ґрунту у садах.

З рисунка 1.2 видно, що ґрунт у міжрядді можна обробити звичайним знаряддям: плугами, культиваторами, дисковими боронами, а у пристовбурній смузі це зробити важче.

Рис. 1.1. Схема міжрядь

$X$  – відстань між деревами;  $Y$  – величина міжрядь.

Тому і почали розробляти знаряддя праці, які дозволили б обробити пристовбурну смугу. Це культиватори та фрези з висувною секцією [15].

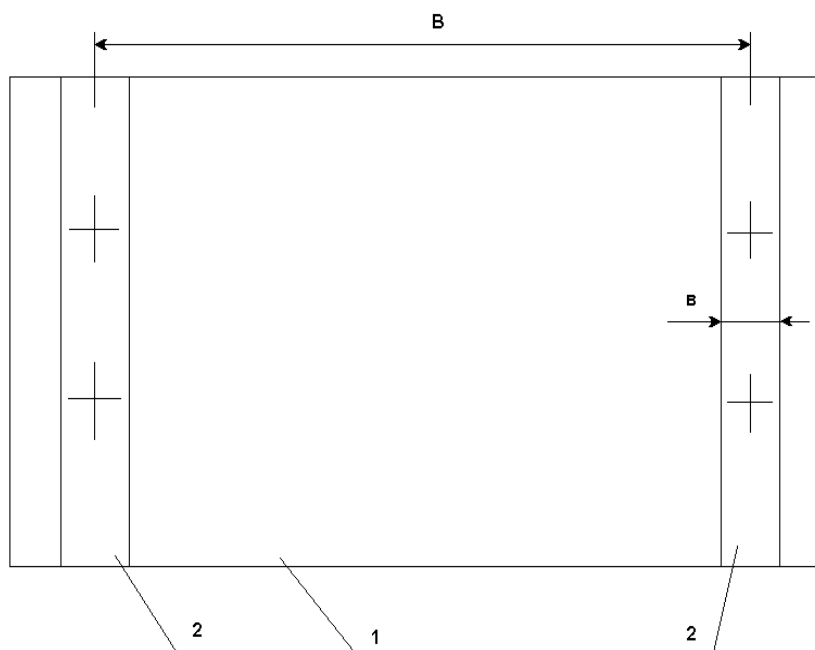


Рис. 1.2. Схема обробки міжрядь

$B$  – ширина міжрядь;  $b$  – ширина пристовбурних смуг;

1- міжряддя; 2 – пристовбурна смуга.

## 1.2. Способи обробки ґрунту в садах і ягідниках

Система утримання ґрунту в садах включає комплекс агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення його родючості та створення необхідних умов аерації, накопичення та утримання вологи в ґрунті.

Залежно від ґрунтово-кліматичних та погодних умов зони, застосовують різні системи утримання ґрунту. Найбільш поширені чорнопарова, паросидеральна та система штучного або природного задерніння.

Характерною ознакою чорнопарової системи є те, що ґрунт в садах весь час утримується в розпушеному стані. Вона включає зяблеву оранку, весняне розпушування поверхневого шару ґрунту (закриття вологи), весняно-літнє розпушування в міжряддях та в пристовбурних смугах саду. Чорнопарову систему рекомендують застосовувати в районах з недостатньою кількістю опадів і з недостатнім зволоженням. Позитивною ознакою цієї системи є те, що

усувається не раціональна витрата нагромадженої у ґрунті вологи. Проте тривале утримання ґрунту під чорним паром призводить до руйнування його структури та зниження родючості внаслідок мінералізації гумусу. Щоб уникнути цього, у ґрунт вносять достатню кількість мінеральних добрив.

При паросидеральній системі утримання ґрунту в міжряддях саду періодично висівають сидеральні культури, а при сидеральній – щорічно. Паросидеральну систему утримання ґрунту застосовують при достатньому зволоженні ґрунту або при неможливості вносити необхідну кількість добрив.

Сидеральні культури дають таку кількість зеленої маси, яка може замінити внесення 20 – 40 тон органічних добрив. Ці культури висівають у другій половині вегетації, коли потреби плодкових дерев у волозі і живленні дещо зменшуються. У першу половину вегетації ґрунт у саду розпушують, утримуючи його під чорним паром. Сидерати, висіяні у другій половині вегетації, сприяють також ранньому визріванню деревини, що підвищує морозостійкість плодкових дерев.

Сидеральні культури висівають щороку або через рік у північних районах України, через два-три роки у південних районах. У засушливі роки, коли ґрунт надто сухий, їх висівати недоцільно.

У зрошуваних садах і районах, де випадає достатня кількість опадів, ґрунт у міжряддях утримують під багаторічним задернінням. При цьому траву скошують протягом літа 2 – 3 рази, подрібнюють і, як правило, залишають у садах.

Досліди показують, що при утриманні ґрунту в задернілому стані температура в ньому протягом вегетаційного періоду нижча, ніж під чорним паром, а взимку вища і ґрунт промерзає на меншу глибину [21].

У перші роки після садіння саду використовують не всю відведену деревам для живлення площу, а лише пристовбурні круги або, при загущених посадках, пристовбурні смуги. Отже міжряддя доцільно використовувати для вирощування сільськогосподарських культур. Залежно від ґрунтовокліматичних зон та біологічних властивостей культивованих рослин Український науково-дослідний інститут садівництва (УНДІС) рекомендував

різні способи сивозмін. Так на Поліссі та в Лісостепу, у північній та центральній частинах Степу, а також у передгірських районах Карпат і в зрошуваних садах в міжряддях молодих садів бажано вирощувати просапні: картоплю, столові буряки, гарбузи, а в більшості південних районах – баклажанні культури. Крім того у цих районах вирощують зернобобові: горох, квасоллю та сарго на зерно, силос та зелені корми. На Поліссі та в північних частинах Степу, а також у південних районах, де сади зрошують, в міжряддях вирощують цукрові буряки і суниці.

У найбільш посушливих районах південного Степу в міжряддях молодих садів вирощують баштанні культури, а також просапні овочеві культури, які висаджують через міжряддя. Висівати колосові зернові культури та однорічні трави, як показали спеціальні дослідження та практика, не рекомендується тому, що їх активний ріст починається рано на весні і в цей час вони дуже висушують ґрунт. Не слід також висаджувати в міжряддях високостебельні рослини, оскільки вони пізно дозрівають затримуючи обробіток ґрунту. При використанні міжрядь молодого саду для вирощування інших культур залишають чистими пристовбурні смуги, ширина яких у північних районах повинна бути 2 – 3 метри, а у південних 2 – 4 метри.

По мірі росту дерев їх коренева система розростається і займає все більшу площу. Тимчасові культури стають конкурентами. Тому через 3 – 4 роки, при чорнопаровій системі утримання ґрунту, їх з міжрядь потрібно забирати. В подальшому на рівних ділянках ґрунт залишають під чорним паром в розпушеному і чистому від бур'янів стані [15].

На нерівних ділянках з крутими схилами для запобігання ерозії ґрунту, сповзання верхнього родючого шару проводять залуження. На ділянках з родючим ґрунтом можна поєднувати ці прийоми. При залуженні сіють багаторічні трави: люцерну, еспарцет, вівсяницю польову, житняк, пирій безкореневий, райграс високий, шалфей мускатний. Для відлякування шкідників додають наступні рослини: проти яблуневих молей – лаванду, проти нематоди – календулу (нагідки), а також фітонцидні – іссоп, ефіромасяні – м'яту прилузьську, кріп, петрушку, коріандр, хрін та інші [14].

Пристовбурні смуги утримують розпушеними протягом усієї вегетації, для цього їх розпушують 6 – 7 разів. Після кожного весняного обробітку пристовбурні смуги можна мульчувати торфом, перегноем або соломою, що зберігає ґрунт від висушування, пригнічує ріст бур'янів і сприяє нагромадженню поживних речовин. Отже при цьому відпадає необхідність у багаторазовому розпушуванні ґрунту в пристовбурних смугах.

У молодих плодоносних садах в усіх природних зонах не рекомендують висаджувати інші культури [15].

### **1.3.Огляд конструкцій машин та знаряддя для обробітку ґрунту в садах**

Зяблевий обробіток проводять восени відразу ж після опадання листя з плодкових дерев. У садах зерняткових порід на чорноземних ґрунтах орють на глибину 18 – 22 см., опідзолених – на глибину гумусового шару з поступовим поглибленням, а в садах кісточкових порід на глибину 16 – 18 см. Під час обробітку ґрунту в садах рекомендується спочатку провести розпушування ґрунту у пристовбурних смугах.

Ґрунт в міжряддях саду орють садовим плугом ПС-4-30 або плугами-луцильниками ПЛС-5-25А.

Плуг садовий причіпний ПС-4-30 складається з рами, корпусів та передплужників, ходової частини, секторного причіпу, механізмів підйому польового, борозенного та заднього коліс. Плуг можна переобладнати для роботи з трьома корпусами. Секторний причіп дає можливість зміщувати плуг в бік від поздовжньої осі трактора на відстань до 2.7 м. Підіймають та опускають плуг за допомогою гідросистеми трактора. Агрегатують плуг з тракторами класу 1.4, 2, 3.

Плуг-луцильник п'ятикорпусний причіпний ПЛС-5-25А складається з таких основних вузлів: рами, п'яти корпусів, ходової частини, польового, борозенного і заднього коліс, підйимального механізму, причепу. П'ятий і четвертий корпуси можна знімати. Причіп складається з тяги, двох серг і сектора. У дузі сектора зроблені отвори, що дають можливість закріплювати тягу під різним кутом до поздовжньої осі трактора. Це дозволяє зміщувати плуг від

поздовжньої осі трактора на відстань до 800 мм. Агрегатують плуг з тракторами класу 1.4.

Ґрунт у садах боронують у кінці березня чи на початку квітня на глибину 4 – 6 см в один або два сліди, з метою закріплення вологи в ґрунті, руйнування кірки, вирівнювання поверхні після осінньої оранки та знищення сходів бур'янів. Для цього використовують борони ЗБЗТУ-1, БЗТС-1, БЗСС-1. Для агрегування борін в садах застосовують середню частину зчіпки С-11-4. Агрегатують борони з тракторами класу 1.4, 2.

При утриманні ґрунту під чорним паром, міжряддя протягом весняно-літнього сезону декілька разів розпушують на глибину 10 – 12 см. Для цього використовують культиватори КСШ-5Б, КСГ-5, КСМ-5, КПУ-400; садові дискові борони БДСТ-2.5, БДС-3.5; борони загального призначення БДН-1.3А, БДН-3, БДТ-3. Іноді на важких ґрунтах використовують лемішні луцильники ПЛС-5-25А із знятими полицями.

Культиватор садовий гідрофікований начіпний КСГ-5 призначений для розпушування ґрунту та знищення бур'янів у міжряддях та пристовбурних смугах. В комплект культиватора входять робочі органи, які дають можливість обробляти ґрунт у міжряддях стрілчастими лапами, розпушувати ущільнений ґрунт без обертання пласта і нарізувати посівні борозни на глибину відповідно 8 – 12, 14 – 20, 20 – 25 см. Пристовбурні смуги обробляють за допомогою поворотного ножа, що відводиться при наближенні до стовбура гідроциліндром. Культиватор складається з трисекційної рами, начіпного пристрою, опорних коліс, поворотного ножа, системи гідравлічного керування, слідопоказчика та набору робочих органів. Ширина захвату середньої рами 3.3 м, а бічних по 1 м. Поворотний ніж призначений для обробітку міжстовбурних смуг. За допомогою гідрослідкувального пристрою він обминає стовбури, не завдаючи їм шкоди. При обробітку ґрунту розпушувальними лапами використовують тільки середню секцію. Під час обробітку стрілчастими лапами ширину захвату встановлюють залежно від ширини міжрядь саду. Агрегатують культиватор з тракторами класу 0.9, 1.4 [10].

Всесоюзним науково-дослідним інститутом сільськогосподарського машинобудування ім. В. П. Горячкіна (ВІСГОМ) були розроблені ротаційні машини з вертикальною віссю обертання ротора: борона ВРБ-3.6 і культиватор КФВ-3.6.

Ротаційна борона ВРБ-3.6 (Рис. 1.3) призначена для обробітку перезволожених ґрунтів та для поверхневого обробітку важких за механічним складом ґрунтів в умовах підвищеної вологості. Агрегатується борона ВРБ-3.6 з тракторами класу 1.4, 3. Ширина захвату борони 3.6 м. При глибині обробітку 0.2 м і швидкості руху до 6 км/год вона обробляє до 2.2 га/год. Маса борони 850 кг.

Культиватор роторний з вертикальною віссю обертання робочих органів КФВ-3.6 (Рис. 1.4) призначений для передпосівного та основного обробітку важких за механічним складом ґрунтів на глибину до 0.2 м. Він складається з 12 роторів із загальною шириною захвату 3.6 м, агрегатується з тракторами класу 3 і при швидкості руху до 7 км/год обробляє 2.5 га/год. Маса культиватора 1120 кг.

Рис. 1.3. Ротаційна борона з вертикальними роторами BEDNAR FMT

Рис. 1.4. Ротаційного культиватор з вертикальними роторами Rinieri EL

У суть роботи ротора з вертикальною віссю обертання закладені важливі особливості, які дозволяють використовувати його для обробки пристовбурних смуг у садах .

У Всесоюзному інституті механізації сільського господарства (ВІМ) розроблена вертикальна ротаційна машина для пошарового обробітку важких ґрунтів. Вона має чотири ротори діаметром 0.9 м. На кожному роторі встановлено по шість ножів. Загальна ширина захвату машини 3.33 м, глибина розпушування до 0.2 м, робоча швидкість 5 – 7 км/год при частоті обертання 100 – 150 об/хв [11].

Садові фрези призначені для обробітку ґрунту і знищення бур'янів у міжряддях садів, ягідників і виноградників. Фрези цієї групи по своїм параметрам подібні до польових і відрізняються лише тим, що мають можливість працювати під кронами і в рядках плодкових дерев та кущів.

Для обробітку ґрунту в міжряддях і під кронами дерев застосовують в основному фрези з горизонтальною віссю обертання. Для обробітку ґрунту в рядках між деревами і пристовбурних колах використовують фрези як з горизонтальною, так і з вертикальною віссю обертання. Технічна характеристика фрез дана в таблиці 1.1:

Таблиця 1.1. Технічна характеристика фрез

Показники	Модель, країна, фірма								
	ФП-2, Росія	ФМ-2, Росія	ФСН-0,9, Росія	ФЛР-1,10, НРБ	Нарди, Італія	ФС-0,9, Росія	ФС-0,6, Росія	ФСП-1,2, Росія	Г.Феррі, Італія
Тип машини	навісна		Напівнавісна						ри-чіпна
Ширина захвату, м.	1,3-2	1,5-2	0,9	1,1	0,85	0,9	0,6	1,2	0,6
Глибина обробітку, см.	до 12	до 8	6-11	до 12	до 10	до 10	до 10	до 12	до 12
Діаметр фрезерного барабана, мм.	450	225	370	440	450	400	600	450- 470	335
Число оборотів барабана за хвилину	196	400; 510; 605	403	210	160; 270	220	70;80; 100	180; 220	540
Поступова швидкість, км/год.	6,0	3-5	4-5	1,3-3,6	1,5-2,5	2,8	3-5	3-5	1,5-2,0
Питома металомісткість, кг/м.	250	200	380	240	265	400	500	270	650
Необхідна потужність, к.с.	40	40	15-20	23-30	20-35	10-15	15-20	35	3-10
Боковий винос від осі трактора, м.	до 1,6	-	2,4	-	1,0	до 2,8	до 3,5	3,2	до 2,6

Для обробітку ґрунту у міжряддях ягідних кущів молодих садів розроблені садова фреза ФП-2, ФМ-2 і ФПШ-200.

Фреза ФП-2 начіплюється на колісні трактори класу 1.4. Фрезерний барабан складається з трьох секцій, з'єднаних між собою болтами, що дозволяє змінювати ширину захвату фрези в межах 1.4 – 2 метри. Передача крутного моменту відбувається від ВВП трактора.

Фреза з'єднується з трактором паралелограмною рамкою, управляючи якою при допомозі виносного циліндра можна зміщувати фрезу в сторону під крони дерев до 1,5 метрів. Тракторист може, не виходячи з кабіни, зміщувати фрезу в залежності від ширини міжряддя і розвитку крони дерев.

По обидві сторони фрезерного барабана встановлені плоскорізальні ножі, які дозволяють обробляти ґрунт під кронами кущів, що розрослися.

Особливістю конструкції фрези ФМ-2 є ешелоноване розміщення двох фрезерних секцій. На кожній секції є своя запобіжна муфта. Передача крутного моменту на дві секції підвищує чутливість і надійність роботи запобіжних муфт. Ешелоноване розміщення секцій з перекриттям забезпечує суцільний обробіток ґрунту без огривів. Робочі органи виконані у вигляді плоских врізних дисків з відігнутими кінцями. Невеликі розміри фрези по висоті дозволяють використовувати її для обробки ґрунту під кущами ягідників з мінімальною захисною зоною [11].

Для обробки ґрунту в рядках між деревами і в пристовбурних кругах випускається садова фреза. Вона навішується на спеціальну навіску, що встановлюється з правої сторони трактора між передніми і задніми колесами. Таке розміщення фрези дозволяє одночасно з нею навішувати на задню навіску трактора інші ґрунтообробні машини для обробки міжрядь саду.

Фреза опирається на два колеса – переднє служить для опори рами, а заднє, з'єднане за допомогою паралелограмної рамки з фрезерним барабаном, - для підйому фрези в транспортне положення.

Для вводу фрези в ряд дерев і виводу з ряду є спеціальний механізм управління, який складається з щупа, золотника, гідроциліндра. При зустрічі щупа з штаблом дерева він відхиляється і через систему важелів переміщує золотник. Поршень золотника направляє оливу у відповідну ємність

гідроциліндра, який при допомозі штока втягує або висуває фрезу. Зусилля на щупі при ввімкненні механізму не перевищує трьох кілограм.

Заводом „Красный Аксай” була створена і досліджена садова фреза ФСП-1,2 для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах і між деревами в ряду. Вона складається з комбінації двох фрез: горизонтальної і вертикальної. Фреза приєднується збоку садового трактора і приводиться в дію від ведучої зірочки правої гусениці.

Горизонтальна фреза є основним робочим органом і служить для обробітку ґрунту під кронами дерев. Вертикальна фреза служить для обробітку ґрунту в рядах дерев і навколо штаблів. Загальний захват фрези – 1.2 метра.

Під час руху вздовж ряду дерев вертикальна фреза обробляє ґрунт в рядку і пристовбурній смузі, обкочуючись навколо штаблів спеціальним колесом – копіром з прогумованим ободом. Вертикальна фреза приєднана до горизонтальної спеціальним кронштейном – водилом. Привод вертикальної фрези відбувається від вала горизонтальної фрези.

Дослідження фрези ФСП-1,2 показали, що вона має ряд переваг: простота конструкції, можливість близького підходу робочих органів до дерев, повний обробіток пристовбурних смуг. Дослідження виявили також, що вертикальна фреза розкидає ґрунт в сторону і утворює заглиблення вздовж ряду дерев.

На вертикальній садовій фрезі ФС-0,6, створеної Науково-дослідницьким інститутом садівництва ім. І.В.Мічуріна і ДСКБ по садовим і виноградним машинам, разом з прогумованим копірним колесом є щуп для автоматичного виводу фрези з ряду дерев. Дослідження цієї фрези показали, що вона розкидає ґрунт з міжстовбурної смуги і пристовбурного круга, оголяючи кореневу систему плодкових дерев [11].

Фреза садова начіпна ФСН-0,9Г складається з таких основних вузлів: рами, фрезерного барабана, рамки підіймання, механізму переміщення, який приводиться в дію від гідроциліндра трансмісії. Фрезерний барабан – це вал з вставленими на ньому дисками, на яких закріплені Г-подібні ліві та праві ножі (Рис. 1.5). Основні вузли трансмісії – головний привід, поперечний і

поздовжній карданні вали, конічний редуктор з запобіжною муфтою. Фрезерний барабан приводиться в дію за допомогою ВВП трактора [8].

**Рис. 1.5.** Фрезерний барабан

1 – вал барабана; 2 – диск кріплення ножів; 3 – Г-подібний ніж; 4 і 7 – болтові кріплення; 5 – корпус підшипника; 6 – поздовжній брус рами.

Фреза садова начіпна ФА-0,76 призначена для обробітку дуже забур'янених і важких ґрунтів у пристовбурних смугах плодкових дерев. Вона складається з рами, пристрою гідравлічного слідкування, конічного редуктора, гідронасоса, фрезерного барабана з дисками, Г-подібних ножів, гідророзподільника, масляного бака.

На рамі фрези змонтований конічний редуктор, гідронасоса та гідророзподільник, фрезерний барабан, опорний башмак та кронштейн для кріплення шупа. Конічний редуктор передає крутний момент від ВВП трактора на фрезерний барабан і масляний насос гідроприводу. Глибину обробітку ґрунту регулюють переміщення опорного башмака вгору чи вниз по кронштейну. Висувний пристрій складається з шупа, системи важелів для

передачі сигналів на розподільник, розподільника, гідроциліндра і шлангів. Агрегатують фрезу з тракторами класу 1,4 [9].

#### **1.4. Класифікація фрез та фрезерних робочих органів**

Робочі органи ґрунтообробних фрез за формою діляться на два основних типи: суцільні та роздільно-ножові. Суцільні робочі органи бувають з безперервно-різальним краєм по довжині барабана (шнекові) та з переривчастим по діаметру фрезерного барабана (дискові). Шнекові робочі органи мають значну енергоємність, зміщують ґрунт в бік і широко застосовуються в меліоративних машинах у лісовому господарстві.

До роздільно-ножових робочих органів відносяться пружинні зубці круглого перерізу, мотикові, лопатні, пластинчасті ножі з Г-подібним відгином носка та спіральні (Рис. 1.6). Пружинні зубці менше псуються та спрацьовуються. Мотикові робочі органи застосовують на ґрунтах з наявністю більш крупного каміння та корневих решток. Для обробітку ґрунту з наявністю чагарників використовують чашкові ножі. Інші типи робочих органів є зміненою формою вищевказаних [11].

Робочі органи ґрунтообробних машин незалежно від їх призначення зводяться у схемі до плескатого або тригранного клина з тією лише різницею, що в одних вони пасивної дії, а в інших – активної. Положення осі обертання визначає робочу площину клина. Тут можна виділити такі типи робочих органів: горизонтально-поперечні, вертикальні, поздовжні, повернуті, поперечно нахилені, поздовжньо нахилені, повернуті і нахилені. Ці типи можна об'єднати у такі три основні групи: з горизонтальною, вертикальною або вертикально нахиленою віссю обертання (Рис. 1.7) [10].

Спосіб кріплення робочих органів значно впливає на характер взаємодії ножа з ґрунтом, особливо в початковий момент його заглиблення. Всі конструктивні варіанти технічних рішень цього питання зводяться у п'ять типів: жорстке кріплення, пружинне, шарнірне, з вільним підвішуванням на цівках або тросах, комбіноване кріплення на валу або диску.

Зараз в основному застосовують жорстке кріплення робочих органів. Використовується також шарнірне або пружинне кріплення ножів.

Рис. 1.6. Пружинні зубці круглого перерізу (а), мотикові (б), лопатні (в), пластинчасті з Г-подібним відгином носка (г), спіральні (д), чашкові (е) ножі

Рис. 1.7. Схема класифікація роторів ротаційних машин та знарядь по розміщенню осі обертання:

А – горизонтально-поперечне; Б – вертикальне; В – поздовжнє; Г- повернуте; Д – поперечно-нахилене; Е – поздовжньо-нахилене; Ж – повернуте і нахилене.

За характером дії на ґрунт робочі органи ґрунтообробних фрезерних машин діляться на розпушувальні, різальні та комплексної дії.

Розпушувальні робочі органи утворюють стружку на 85% шляхом розривання та сколювання, на 15% – різанням. Таким чином, подрібнення ґрунту відбувається в основному внаслідок стиснення грудок у секторі та частково в результаті перетирання ножами.

Різальні робочі органи утворюють стружку на 85 – 90% шляхом різання, на 10 – 15% шляхом розривання та сколювання. При цьому різання дернини проводиться з незначним розпилюванням на глибину до 15 см. Дно борозни після проходу робочих органів такого типу стає пухким, що сприяє кращому проникненню вологи на глибину підорного шару.

В основу органів комплексної дії на ґрунт покладений спосіб подрібнення ґрунту з використанням “перерізу слабких зв’язків”. При цьому зниження енергоємності обробітку ґрунту досягається за рахунок зменшення питомої площі зрізу на одиницю об’єму.

Ґрунтообробні машини з активними робочими органами за принципом дії можна поділити на чотири групи: ротаційні лопати, фрезерні машини, ротаційні плуги, ротаційні борони.

Фрезерні машини поділяються на чотири групи залежно від положення фрезерного барабана відносно напрямку їх поступального руху:

- з горизонтальною віссю обертання фрезерного барабана, перпендикулярною до напрямку поступального руху (Рис. 1.8);
- з горизонтальною віссю обертання фрезерного барабана, яка збігається з напрямком поступального руху;
- з горизонтальною віссю обертання фрезерного барабана, розташованого під кутом до напрямку поступального руху;
- з вертикальною віссю обертання фрезерного барабана або дещо нахиленою до горизонту (Рис. 1.9).

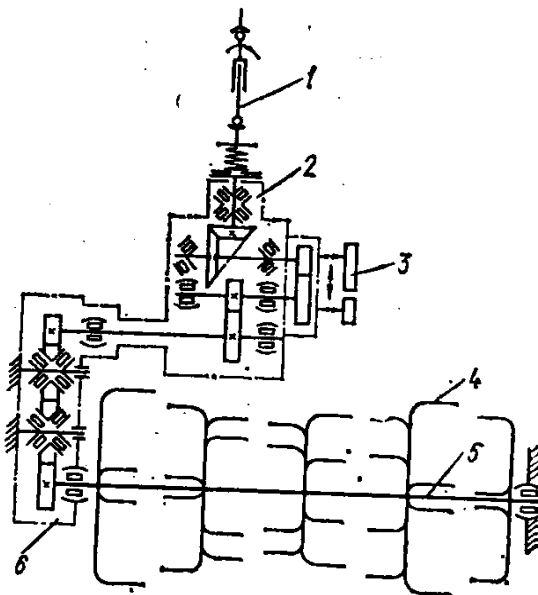


Рис. 1.8. Кінематична схема машини МПТ – 1,2

1 – карданна передача; 2 – редуктор; 3 – коробка передач; 4 – Г-подібний ніж; 5 – вал фрезерного барабана; 6 – циліндричний редуктор.

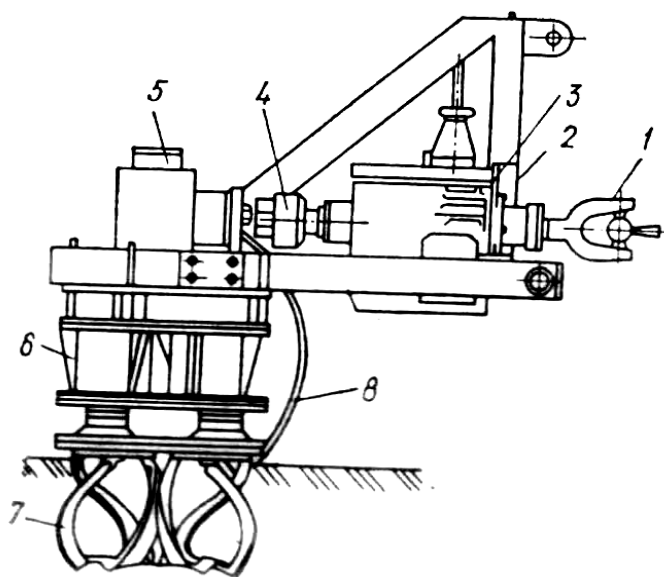


Рис. 1.9. Фрезерна машина з вертикальною віссю обертання та спіральними ножами

1 – карданна передача; 2 – рама; 3 – коробка передач; 4 – запобіжна муфта; 5 – конічний редуктор; 6 – циліндричний редуктор; 7 – ротор; 8 – колесо опорне.

За видом сільськогосподарських робіт фрезерні машини можна поділити на такі групи:

- для суцільного обробітку ґрунту;

- для міжрядного обробітку (фрезерні культиватори);
- комбіновані фрезерні машини.

Кожну з цих груп можна ще поділити на кілька підгруп. Наприклад, фрезерні машини для суцільного обробітку ґрунту – на луго-болотні (Рис. 1.10), лісові, польові (Рис. 1.11, 1.12) та садово-городні (малогабаритні, моторизовані).

За способом агрегування фрезерні машини ділять на причіпні, начіпні, та самохідні [10].

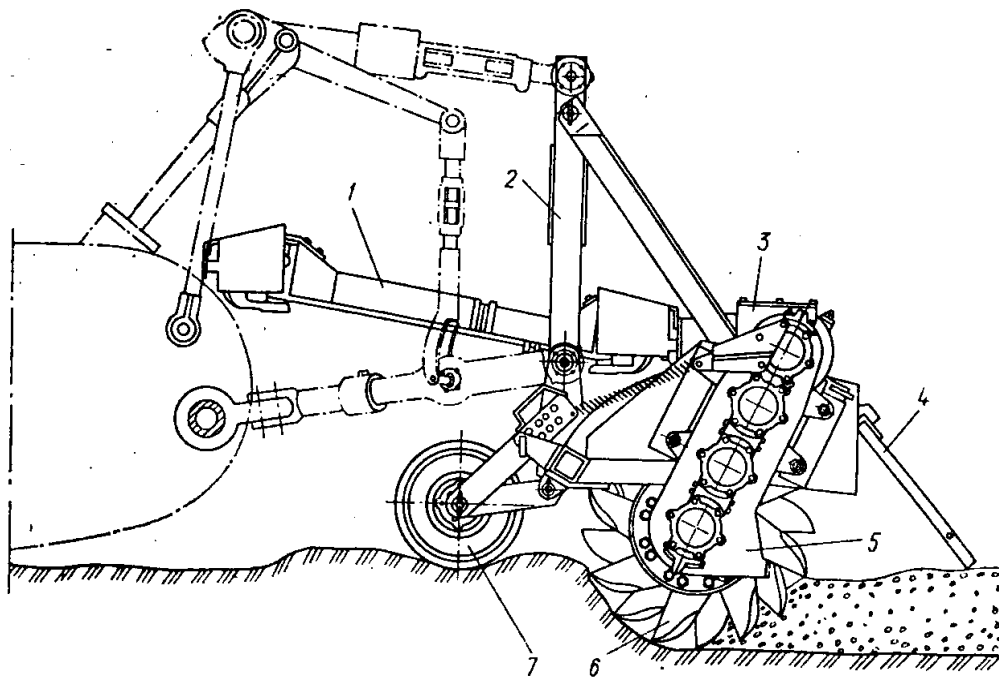


Рис. 1.10. Луго-болотна фреза ФБ – 1,5

1 – карданна передача; 2 – начіпний пристрій; 3 – конічний редуктор; 4 – грабельна решітка; 5 – циліндричний редуктор; 6 – фрезерний барабан; 7 – опорне колесо.

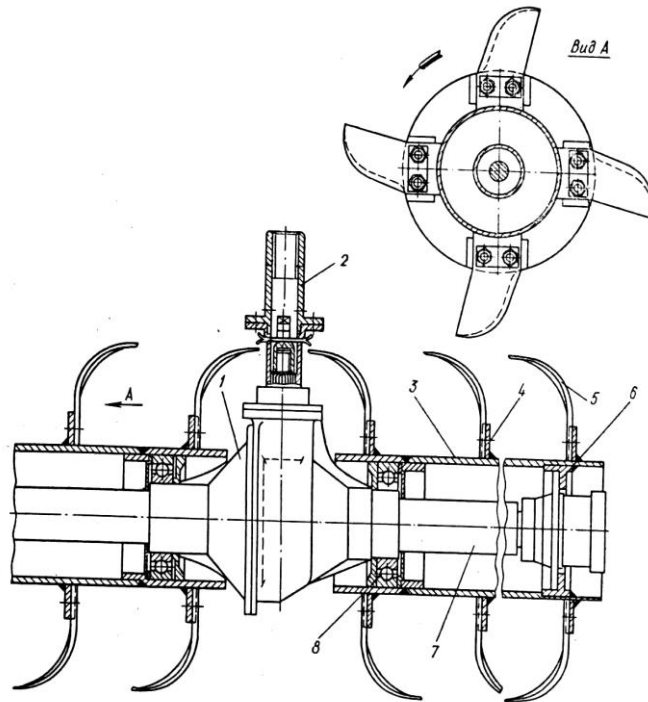


Рис. 1.11. Грунтообробна фреза ВИК – 1

1 – конічна передача; 2 – хвостовик привода; 3 – труба; 4 – диск; 5 – Г-подібний ніж; 6 – втулка розпірна; 7 – піввісь; 8 – підшипник.

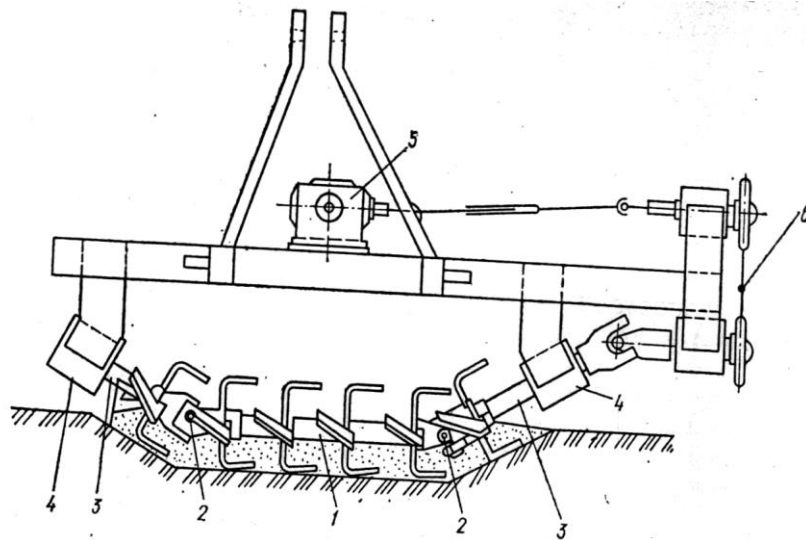


Рис. 1.12. Грунтообробна фреза польового типу ВИК – 2

1 – вал фрезерного барабана з робочими органами; 2 – хрестовини карданні; 3 – вали похилі; 4 – упорні підшипники; 5 – редуктор конічний; 6 – ланцюгова передача.

## РОЗДІЛ 2. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО РОЗРОБКИ ФРЕЗЕРНОГО МУЛЬЧУВАЧА

Одним з найбільш трудомістких процесів в садівництві є обробіток міжстовбурних смуг, високоякісний обробіток яких забезпечує сприятливі умови для розвитку кореневої системи, підвищуючи цим врожайність плодкових культур.

Проблему обробітку ґрунту в міжстовбурних смугах можна вирішити двома шляхами: внесенням гербіцидів стрічковим методом, як загальної так і контактної дії типу УТАП, або створенням машин, обладнаних висувними секціями з контактними або безконтактними пристроями для контролю входу і виходу.

Відмова від механічного обробітку пристовбурних та міжстовбурних смуг часто приводить до негативних явищ.

Для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах застосовують різні типи робочих органів: ножові, дискові та фрезерні.

В результаті багаторазових дослідів встановлено, що урожай культур на ділянках, оброблених фрезою, був на 10 – 15%, а іноді на 20 – 25% вищий, ніж на ділянках, оброблених плугом і агрегатом із дискових та зубових борін.

Відповідно до даних співробітників Агрофізичного науково-дослідного інституту І.Б.Ревута та Л.Д.Козлова, при внесенні 30 – 40 т/га торфо-аміачних і 8 т/га мінеральних добрив обробіток фрезою ФБН-0,9 у порівнянні з обробітком плугом ПКС-4-35 забезпечила збільшення урожаю картоплі на супіщаному ґрунті на 48 ц/га або на 18,1%, а на суглинистому на 56 ц/га або на 21,6% [14].

Ефективність ротаційних машин при обробітку садових культур теж дуже висока. Н.Ф.Канев відмічав, що робочі органи фрези повністю знищують кореневища бур'янів, а при зворотному русі ротора можна виконувати роботу по догляду за садовими культурами навіть на кам'янистих ґрунтах.

Вивчення передового вітчизняного та зарубіжного досвіду показало, що при невеликій і середній забур'яненості ділянок пристрої з ножовими робочими

органами працюють задовільно, вони прості в експлуатації, повністю підрізають бур'яни, не металоємні. Ножеві секції незадовільно працюють при великій кількості старих бур'янів, не можуть працювати на дуже щільних ґрунтах. При обробі міжстовбурних смуг пасивними поворотними ножами створюється накопичення великих бугрів ґрунту висотою 17 – 22 см., що призводить до виходу з ладу механізмів.

Ряд переваг порівняно з пасивними поворотними ножами мають дискові робочі органи, які при інших затратах потужності, виконують технологічний процес на більших робочих швидкостях (до 7 км/год) і значно менше пошкоджують кореневу систему дерев.

Основним недоліком дискових робочих органів являється значне розгортання ґрунту біля стовбурів дерев при введенні або виведенні висувної секції з ряду.

Таким чином більш якісний обробіток ґрунту в міжстовбурних смугах досягається за допомогою машин з ротаційними робочими органами. На користь таких органів говорить те, що вони, в порівнянні з пасивними робочими органами, дозволяють повністю завантажити трактор [16].

По даним німецьких дослідників ротаційні навісні знаряддя дозволяють використовувати потужність трактора на 80%, а пасивні тільки на 50%.

Одним з факторів, які стримують широке впровадження ротаційних машин, є їх відносно висока енергоємність. Наприклад, енергоємність горизонтальної фрези ФП-2 приблизно в 2,7 рази вища ніж у ПРВН-2,5А. Однак при певних умовах енергоємність активних робочих органів може бути рівною і навіть нижчою ніж у пасивних робочих органів при вищій якості обробітку.

Слід мати на увазі, що ротаційні робочі органи забезпечують необхідний рівень рихлення ґрунту за один прохід, в той час як знаряддя з пасивними робочими органами для досягнення такого ж результату потрібно декілька проходів [10].

Найбільш поширена в наших садівничих господарствах фреза садова ФА-0,76. Вона широко застосовується для обробітку пристовбурних смуг плодкових

садів. Під час роботи машини фрезерна секція рухається в пристовбурній смузі, а при контакті щупа з стовбуром дерева фреза відхиляється і, обійшовши його знову, повертається в ряд, залишаючи необробленою тільки невелику зону біля стовбуру.

## **2.1. Фізико-механічні властивості ґрунту, як об'єкта обробітку**

Найбільш цінною якістю ґрунту є його родючість, рівень якої залежить від хімічного складу і фізико-механічних властивостей ґрунту, а також від виробничої діяльності людини. Дія людини на ґрунт в цілях підвищення родючості зводиться в основному до механічної обробки і внесення добрив.

При обробітку ґрунту відвальними плугами не завжди досягається достатній ступінь розпушування ґрунту і перемішування його шарів, тому для покращення якості обробітку проводять додаткові операції – дискування, культивування, боронування і т.д. Механічний обробіток ґрунту простими ґрунтообробними знаряддями не на всіх ґрунтах дає задовільний результат. На таких ґрунтах рекомендують застосовувати фрезерні машини.

В початковий період застосування фрезерних машин в сільському господарстві було багато протиріч, а в багатьох випадках і негативне ставлення до питання впливу активних робочих органів на структуру ґрунту.

Водний, повітряний, тепловий і харчовий режими ґрунту частково залежать від шпаруватості ґрунту. Для окультурених ґрунтів загальна шпаруватість може складати 60 – 65%. При шпаруватості ґрунту менше 50% рекомендується проводити додаткове розпушування. Ґрунти, оброблені ротаційними машинами часто мають шпаруватість до 70%, що не для всіх рослин раціонально. В таких випадках необхідно використовувати ущільнювачі ґрунту.

Ґрунтообробні машини з ротаційними робочими органами завдяки відрізанню від ґрунту порівняно невеликої стружки створюють високу якість оброблюваного шару, так як в процесі різання одночасно відбувається рівномірна заробка по глибині бур'янів і рослинних решток.

Деякі вчені вказували на те, що при фрезеруванні ґрунту утворюються частинки менші 0,25 мм., в наслідок чого значно знижується його родючість.

Академік В.Р.Вільямс надавав великого значення показнику структурованості ґрунту. Він помилково недооцінював катки, ротаційні борони, ґрунтообробні фрези та інші машини, які, на його думку, при роботі на ґрунтах, які втратили оптимальну “спілість”, порушували структуру, розпилювали ґрунт. Досліди В.А.Францессона, І.Б.Ревута, П.А.Некрасова та інших вчених показали, що на структурних чорноземних ґрунтах агрегати з розмірами навіть менше 0,25 мм. (до 0,06 мм.), отриманні в результаті неодноразового розпушування, не погіршують корисні якості ґрунту.

Неодноразове розпушування ґрунту фрезою не збільшує кількість частинок менше 0,25 мм. Ґрунт, оброблений плугом і фрезою, розрізняється лише вмістом крупних комків (100 – 150 мм.). Дрібні ж фракції знаходяться приблизно в однакових співвідношеннях при обох варіантах обробітку. Ці дані відповідають результатам дослідження Н.Сміта, Б.М.Дауголла, В.І.Алексашина та інших.

Кандидат сільськогосподарських наук Д.І.Козлов, вивчаючи властивість розпушування задернілого ґрунту різними знаряддями, прийшов до висновку, що при фрезерному обробітку дернина луку розрихлюється в три рази інтенсивніше ніж при обробітку плугом і дисковою бороною. Це ж відмічав раніше в своїх дослідженнях професор А.Д.Далін та інші вчені.

Якість обробітку лугоболотних ґрунтів фрезами різних типів було експериментально вивчено у Всесоюзному науково-дослідницькому інституті кормів (ВІК). В результаті дослідів було встановлено, що подрібнення дернини фрезами сприяє швидкій мінералізації органічної речовини в ґрунті, підвищує продуктивність кормових угідь і покращує кормові якості лугових трав[15].

Дослідами А.Ф.Любської встановлено, що на сухих лугах фрезерування на глибину 10 см. В один слід привело до зміни видового стану луку. Якість травостою луку покращилась. Однак повного знищення бур'янів, наприклад щучки дернистої, в досліді не було досягнуто.

Потрібно відмітити, що в конструкціях фрез 30 – 50 –х років швидкість різання була 8 – 12 метрів за секунду, а в сучасних конструкціях вона знижена до 3 – 6 м/с., тобто вдвічі. Цим можна обумовити негативні висновки деяких вчених по відношенню до зміни структури ґрунту при фрезеруванні. Розпилення ґрунту значно зменшилось при правильному застосуванні і експлуатації фрезерних машин.

Ступінь кришіння ґрунту і знищення бур'янів, порівняно з машинами які мають пасивні робочі органи, ротаційні машини мають значно вищий, вони краще рихлять ґрунт, повніше підрізають бур'яни, рівномірніше заробляють в ґрунт органічні добрива і рослинні рештки.

Так П.А.Некрасов вказував на повну відсутність грудок після фрезерування, в той час як після оранки з плугом грудочковість ґрунту складала понад 10%. На ці якості роботи фрези вказують багато дослідників, підтверджуючи, що фрезерування повністю підготовлює ґрунт до сівби.

В землеробстві багатьох країн експериментально доведено, що найдосконалішою машиною, яка здатна розпушувати ґрунт і перемішувати його з добривами, є ґрунтообробна фреза. Високі результати роботи фрези отримують при рівномірному розподілі внесених добрив по поверхні перед робочими органами і ретельному розпушуванні внесеного матеріалу.

Інтенсивне розпушування ґрунту фрезою значною мірою впливає на волого-повітряний режим ґрунту, що обробляється. Багатьма дослідженнями було доведено, що збільшується аерація, зменшуються втрати вологи після фрезерування, значно знижується об'ємна вага ґрунту і відбувається встановлення сприятливого відношення капілярних пор до некапілярних, що важливо для забезпечення рослин водою. Після фрезерування ґрунт стає більш сприятливим для росту рослин, ніж після культивування чи боронування, твердість зменшується у два рази.

Однак А.М.Архаменко і Г.Під вважають, що глибоке і інтенсивне розпушування ґрунту може привести до його висушування. В дослідях Ю.П.Першина відмічається, що після фрезерного обробітку ґрунту не помічається посилення втрати вологи навіть в період відсутності дощу.

Аналіз багатьох досліджень дозволяє відмітити гарний вплив фрезерування ґрунту на його агрофізичні властивості. Більш того, кришіння і значне збільшення повітрязабезпечення ґрунту сприяє підсиленню як мікробіологічних процесів в ньому, так і мінералізації його органічних запасів.

Вологоповітряний режим ґрунту обумовлює у ньому характер мікробіологічних процесів. Їх активація пов'язана з поліпшенням харчового режиму ґрунту, з забезпеченням його рослинними рештками, антибіотиками, вітамінами, а також з поліпшенням повітряної структури.

Багато дослідників розцінюють ефективність різних способів обробітку ґрунту по підсиленню біологічної активності в ньому, а також по накопиченню продуктів мінералізації органічних речовин та по рівню урожайності оброблюваних культур. Так П.А.Некрасов встановив, що на підзолистих суглинках фрезерування не тільки поліпшує фізичні властивості ґрунту, а й приводить до збільшення врожайності вівса на 14,5% , картоплі на 20% , порівняно з оранкою та культивацією. В.І.Смірнова та Г.А.Дорошенко відмічають інтенсивний розвиток мікрофлори і, як наслідок, значне підвищення урожаю кукурудзи при фрезеруванні, порівняно з оранкою.

Перемішування орного шару і рівномірне розподілення органічних та мінеральних добрив при підготовці поля під картоплю за допомогою фрези, підвищують біологічну активність ґрунту, внаслідок чого урожайність збільшується на 9-21%. В ґрунті, обробленому фрезою, знайдено значно більшу кількість поживного азоту, порівняно з ґрунтом, обробленим робочими органами дискового, боронного або культиваторного типу.

Поліпшення фізико-механічних показників стану ґрунту, підвищення показників його біологічної та біохімічної активності, в кінцевому рахунку, веде до збільшення урожайності різних культур на ґрунтах, оброблених фрезерною машиною. Таким чином, фрезерні машини по агротехнічним показникам, при виконанні деяких операцій, мають ряд явних переваг перед іншими ґрунтообробними машинами.

Тому до фрез постійно виявляють інтерес спеціалісти, зайняті розробкою і впровадженням ґрунтообробної техніки .

## 2.2. Агротехнічні та експлуатаційні вимоги до ґрунтообробних знарядь

Садові фрези повинні задовольняти наступним основним вимогам [22]:

1. обробляти ґрунт в пристовбурних смугах і в рядках між деревами при неперервному прямолінійному русі агрегату;
2. мати можливість регулювати глибину обробітку в межах 6 – 20 см.;
3. повністю знищувати бур'яни, а також подрібнювати та перемішувати з ґрунтом сидеральні культури на зелені добрива;
4. не повинні пошкоджувати кору та гілля плодкових дерев та кущів.

Показники якості технологічного процесу [21]:

1. глибина обробітку ґрунту 10 – 15 см.  $\pm 2$  см;
2. якість кришіння ґрунту по фракціях: кількість комків розмірами менше 10 мм. – 70%; 10 – 20 мм. – 15%; 20 – 50 мм. – 10%; більш ніж 50 мм. – 5%;
3. ступінь знищення бур'янів в зоні робочих органів фрези не менше 90%;
4. площа необробленої зони навколо стовбура дерева не повинна перевищувати 0,4 м<sup>2</sup>;
5. пошкодження наземної частини дерева допускається не більше 3%.

Доцільно відмітити, що фрезерні машини дають найкращі результати при окультурюванні нових земель.

З попередніх розділів видно, що обробіток ґрунту у садах фрезерними машинами не тільки відповідає агротехнічним вимогам, а й безперечно кращий, порівняно з іншими видами обробітку. При кращих показниках якості обробітку, збільшеній урожайності, ротаційні машини суттєво знижують трудомісткість виробництва.

## РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФРЕЗЕРНОГО МУЛЬЧУВАЧА З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

### 3.1. Кінематика фрезерного мультчувача з вертикальною віссю обертання

Переміщуючись у вертикальній площині, кожний ніж фрезерного мультчувача відрізає при цьому скибу ґрунту певного об'єму. Площа перерізу цієї скиби визначається траєкторіями руху двох сусідніх ножів, розміщених по колу. При чому ступінь розпушування ґрунту залежить від кількості ножів і кінематичного режиму їх роботи. При збільшенні кількості ножів і зростанні кутової швидкості їх обертання розпушування ґрунту поліпшується[20].

Робочий орган цього типу забезпечує утворення мультчующого шару на поверхні ґрунту і майже повністю підрізає бур'яни.

Такі фрези застосовують також для глибокого обробітку ґрунту. оранки.

Розмістивши схему фрезерного мультчувача відносно нерухомої декартової системи координат (Рис. 3.1), одержуємо рівняння руху точки  $A$  ножа I:

$$\begin{aligned}x &= r(1 - \cos \omega t), \\y &= v_n t + \sin \omega t;\end{aligned}\tag{3.1}$$

де  $r$  – відстань даного ножа від центра обертання, м;

$v_n$  – швидкість поступального переміщення фрези, м/с;

$\omega$  – кутова швидкість обертання фрези,  $\text{с}^{-1}$ ;

$t$  – час, с.

Виключивши з рівняння (3.1) час  $t$ , знайдемо рівняння траєкторії руху точки  $A$  в декартовій системі координат:

$$y = \frac{v_n}{\omega} \arccos \frac{r-x}{r} + \sqrt{2rx - x^2}.\tag{3.2}$$

В одній площині на фрезі може бути розміщено різне число ножів. Рівняння руху для довільно взятого ножа має вигляд:

$$\begin{aligned}x_i &= r - r \cos \left\{ \left[ 2\pi - \frac{2\pi}{k}(i-1) \right] + \omega t \right\}; \\y_i &= v_n t + \sin \left\{ \left[ 2\pi - \frac{2\pi}{k}(i-1) \right] + \omega t \right\},\end{aligned}\tag{3.3}$$



$$l_i = r - \frac{r}{\lambda}, \quad (3.4)$$

де  $r$  – відстань ножа від центра обертання, м;

$\lambda$  – кінематичний параметр.

При цьому подача на ніж становить

$$s_0 = \frac{2\pi r}{k\lambda}, \quad (3.5)$$

де  $s_0$  – подача на один ніж, м;

$r$  – відстань ножа від центра обертання, м;

$\lambda$  – кінематичний параметр;

Припускаючи, що агрегат працює з поступальною швидкістю  $v_n$ , знайдемо необхідну частоту обертання ротора:

$$\omega = \frac{v_n \lambda}{r}, \quad (3.6)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $\text{с}^{-1}$ ;

$v_n$  – поступальна швидкість фрези, м/с;

$r$  – відстань ножа від центра обертання, м;

$\lambda$  – кінематичний параметр.

Продиференціювавши рівняння (3.1) за часом, одержуємо:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \omega r \sin \omega t, \\ \dot{y} &= v_n + r \omega \cos \omega t; \end{aligned} \quad (3.7)$$

звідки

$$v_{a\bar{o}} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \sqrt{v_n^2 + (\omega r)^2 + 2v_n \omega r \cos \omega t}. \quad (3.8)$$

З рівняння (3.8) видно, що швидкість різання ґрунту ножем фрези не є величиною постійною, а максимальна швидкість ножа дорівнює:

$$v_{a\bar{o}} = v_n + r\omega. \quad (3.9)$$

де  $v_{a\bar{o}}$  – абсолютна швидкість ножа, м/с;

$v_n$  – поступальна швидкість фрези, м/с;

$r$  – відстань ножа від центра обертання ротора, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Коли ніж знаходиться на протилежному боці початкового положення, його швидкість матиме мінімальну величину:

$$v_{a\delta} = v_n - r\omega. \quad (3.10)$$

Оскільки  $r\omega > v_n$ , то  $v_{a\delta}$  має від'ємне значення, тобто направлена в бік, протилежний напрямку поступального переміщення фрези.

Продиференціювавши рівняння (3.7) за часом, одержуємо значення проєкцій прискорень на осі декартової системи координат:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= r\omega^2 \cos\omega t, \\ \ddot{y} &= -r\omega^2 \sin\omega t; \end{aligned} \quad (3.11)$$

звідки

$$\varpi_{a\delta} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2} = r\omega^2. \quad (3.12)$$

де  $\varpi_{a\delta}$  – абсолютне прискорення ножа, м/с<sup>2</sup>;

$r$  – відстань ножа від центра обертання ротора, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання ротора фрези, с<sup>-1</sup>.

Отже, ніж фрези ріже ґрунт з постійним прискоренням на всіх ділянках свого переміщення.

Значення швидкості і прискорення, з яким ніж діє на ґрунт, вказує на те, що процес фрезерування носить більш динамічний характер, порівнюючи з процесом роботи ґрунтообробних робочих органів пасивної дії. Різання ґрунту при цьому здійснюється, звичайно, з постійною швидкістю руху ножа.

Цим можна пояснити те, що фреза більш інтенсивно руйнує структурні утворення ґрунту, порівняно з іншими типами знарядь [14].

### 3.2. Визначення розмірів скиби

Як встановлено вище, кожний ніж фрези переміщується по видовженій трохойді. Якщо в горизонтальній площині фрези з вертикальною віссю обертання встановлено по колу  $k$  ножів, то кут між ними дорівнює:

$$\alpha_0 = \frac{2\pi}{k}. \quad (3.13)$$

де  $\alpha_0$  – кут між ножами, рад.

Величина кута  $\alpha_0$  можна також виразити так:

$$\alpha_0 = \omega t_1. \quad (3.14)$$

де  $t_1$  – час, протягом якого ротор фрези повернеться на кут  $\alpha_0$ , с;

$\omega$  – кутова швидкість обертання ротора фрези,  $\text{с}^{-1}$ .

З рівнянь (3.13) і (3.14) маємо:

$$t_1 = \frac{2\pi}{k\omega}. \quad (3.15)$$

Отже, в той момент, коли ніж (рис. 3.1) за час  $t_1$ , переміститься з точки  $A$  в точку  $A_1$ , наступний за ним ніж II переміститься з точки  $B$  в точку  $B_1$ . Далі ніж II перемішуватиметься по траєкторії  $B_1C_1$ , а ніж I – по траєкторії  $AC$ . Але кожна точка цієї траєкторії зміщується на одну й ту ж величину в напрямку осі  $y$ . Величина цього зміщення дорівнює:

$$s_0 = v_n t = v_n \frac{2\pi}{k\omega} = \text{const}. \quad (3.16)$$

де  $s_0$  – подача на один ніж, м;

$v_n$  – поступальна швидкість фрези, м/с;

$t_1$  – час повороту ротора на кут  $\alpha_0$ , с.

Елементарна площа скиби шириною  $dx$ , що відрізається ножем фрези, дорівнює:

$$dF = v_n \frac{2\pi}{k\omega} dx. \quad (3.17)$$

Але

$$dx = r\omega \sin \omega t \cdot dt, \quad (3.18)$$

тому

$$dF = v_n \frac{2\pi}{k\omega} r\omega \sin \omega t \cdot dt. \quad (3.19)$$

Отже, для будь-якого моменту часу площа перетину горизонтальною площиною скиби ґрунту, що її відрізає ніж, дорівнює:

$$F = -v_n \frac{2\pi}{k\omega} r \cos \omega t + C, \quad (3.20)$$

де  $C$  – довільна стала.

Підставляючи значення початкових величин  $t = 0$ ,  $F = 0$  в рівняння (3.20), одержуємо:

$$C = v_n \frac{2\pi}{k\omega} r,$$

тому

$$F = v_n r \frac{2\pi}{k\omega} (1 - \cos \omega t). \quad (3.21)$$

Для моменту часу  $t = \frac{\pi}{\omega}$  маємо:

$$F_{\text{макс}} = 4v_n r \frac{\pi}{k\omega}. \quad (3.22)$$

де  $F_{\text{макс}}$  – максимальна площа скиби ґрунту, м<sup>2</sup>;

$v_n$  – поступальна швидкість фрези, м/с;

$r$  – відстань ножа до осі обертання ротора, м;

$k$  – кількість ножів, шт;

$\omega$  – кутова швидкість ротора фрези, с<sup>-1</sup>.

Одержане значення площі горизонтального перетину скиби ґрунту, яку відрізає ніж, не є абсолютно точним, тому що в нього входить також незначна площа, яка в дійсності не відрізається ножем і не має практичного значення в розрахунках. Ця площа обмежена траєкторіями  $AC$  і  $BB_1$  які перетинаються із стінкою борозни, тобто лінією  $AB_1$  (рис. 3.1).

Приймаючи до уваги те, що

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.23)$$

де  $n$  – число обертів фрези за хвилину, об/хв;

одержуємо:

$$F = 60 \frac{v_n r}{kn} (1 - \cos \omega t) \quad (3.24)$$

$$F_{\text{макс}} = 120 \frac{v_n r}{kn}, \quad (3.25)$$

де  $F_{\text{макс}}$  – максимальна площа скиби ґрунту, м;

$v_n$  – поступальна швидкість фрези, м/с;

$r$  – відстань ножа до осі обертання ротора, м;

$k$  – кількість ножів, шт;

$n$  – число обертів фрези за хвилину, об/хв.

Виходячи з рівняння (3.23), знаходимо  $n$ :

$$n = \frac{30\omega}{\pi}, \quad (3.26)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість ротора фрези,  $\text{с}^{-1}$ .

### 3.3. Умови руйнування ґрунту

З рівнянь (3.24) і (3.25) виходить, що площа горизонтального перетину скиби ґрунту, яку відрізає ніж, прямопропорційна добутку швидкості поступального руху фрези  $v_n$  на радіус  $r$  і обернено пропорційна кутовій швидкості  $\omega$  ( $n$ ) і числу ножів  $k$ , розміщених в одній горизонтальній площині по колу ротора фрези.

При цьому мають місце два випадки:

1) коли сумарна величина сил дії ножа достатня для подолання сил зчеплення скиби з ґрунтом;

2) коли величина цих сил недостатня для подолання сил зчеплення скиби з ґрунтом.

В першому випадку скиба буде руйнуватись, у другому ніж в ґрунті зробить лише щілину, ширина якої дорівнюватиме проекції поперечного перетину ножа на площину що перпендикулярна до дотичної в точці  $A$  носка ножа на траєкторії його руху (рис. 3.2).

Розглянемо умови руйнування скиби ґрунту, яку обробляє ніж фрези з горизонтальною віссю обертання.

На ніж діють такі сили: рушійна сила  $P$ , сили опору ґрунту  $N$  і  $fN$  (рис. 3.2).

Спроекувавши ці сили на дотичну I - I до траєкторії руху ножа в точці його носка, одержуємо:

$$P \cos i - N \sin(i + \alpha) - fN(i + \alpha) = 0, \quad (3.27)$$

де  $i$  – задній кут;

$\alpha$  – кут загострення ножа;

$f$  – коефіцієнт тертя ґрунту об матеріал ножа.

З рівняння (3.27) випливає:

$$N = P \frac{\cos i}{\sin(i + \alpha) + f \cos(i + \alpha)}. \quad (3.28)$$

Силу  $P$  виражаємо через крутний момент, який діє на фрезу під час її роботи, і маємо:

$$P = \frac{M_{кр}}{rk_1},$$

де  $M_{кр}$  – крутний момент;

$r$  – радіус кола, яке описується ножами фрези;

$k$  - кількість ножів, що одночасно ріжуть ґрунт.

Розглядаючи умови руйнування скиби, припускаємо:

1) ширина брил ґрунту, що відколюються, дорівнює ширині робочої поверхні ножа (рис. 3.2);

2) інтенсивність тиску скиби по всій робочій поверхні ножа – рівномірна.

Тоді рівнодіюча  $N$  тиску ґрунту на робочу поверхню ножа буде прикладена в точці її поздовжньої осі, як це показано на рис. 3.2.

Якщо сили  $N$  і  $fN$  перенести в точку  $A$  контура поперечного перетину скиби (рис. 3.2) і розкласти їх на складові  $S_1$  і  $S_2$ , що діють в площині сколювання, та складові  $R_1$  і  $R_2$ , які діють в напрямку, перпендикулярному площині сколювання, тоді:

$$\begin{aligned} S_1 &= N \cos \alpha; & R_1 &= N \sin \beta; \\ S_2 &= fN \sin \alpha; & R_2 &= fN \cos \alpha. \end{aligned} \quad (3.29)$$

В площині  $ABCD$  і в площині  $CDEL$  будуть дотичні і нормальні напруження. Причому вважатимемо, що дотичні напруження в обох площинах будуть однакові і рівні:

$$\tau = \frac{S_1 + S_2}{F_{ABCD} + F_{CDEL}}. \quad (3.30)$$

Повне ж нормальне напруження в перетині  $ABCD$  дорівнюватиме:

$$\sigma_1 = \frac{M_{zc(1)}}{W_1} + \frac{R_1 - R_2}{F_{ABCD}}, \quad (3.31)$$

а в перетині  $CDEL$

$$\sigma_2 = \frac{M_{зз(2)}}{W_2}, \quad (3.32)$$

де  $M_{зз(1)}$ ,  $M_{зз(2)}$  – згинаючі моменти відносно ребер  $BD$  та  $LD$ .

З рис. 3.2 витікає, що

$$F_{ABCD} = \overline{AB} \cdot h; \quad F_{CDEL} = \overline{AB} \frac{l}{\cos \alpha};$$

$$W_1 = \frac{h \left( \frac{b}{\sin \varphi} \right)^2}{6}; \quad W_1 = \frac{l \left( \frac{b}{\sin \psi} \right)^2}{6 \cos \alpha},$$

де  $b$  – товщина скиби;

$h$  – глибина розпушування ґрунту;

$l$  – ширина ножа фрези.

Припускаємо, що максимальна товщина скиби дорівнює:

$$b_{\max} = S_0 = v_n \frac{2\pi}{k\omega}, \quad (3.33)$$

де  $v_n$  – поступальна швидкість фрези, м/с;

$k$  – кількість ножів на роторі фрези;

$\omega$  – кутова швидкість ротора фрези,  $c^{-1}$ .

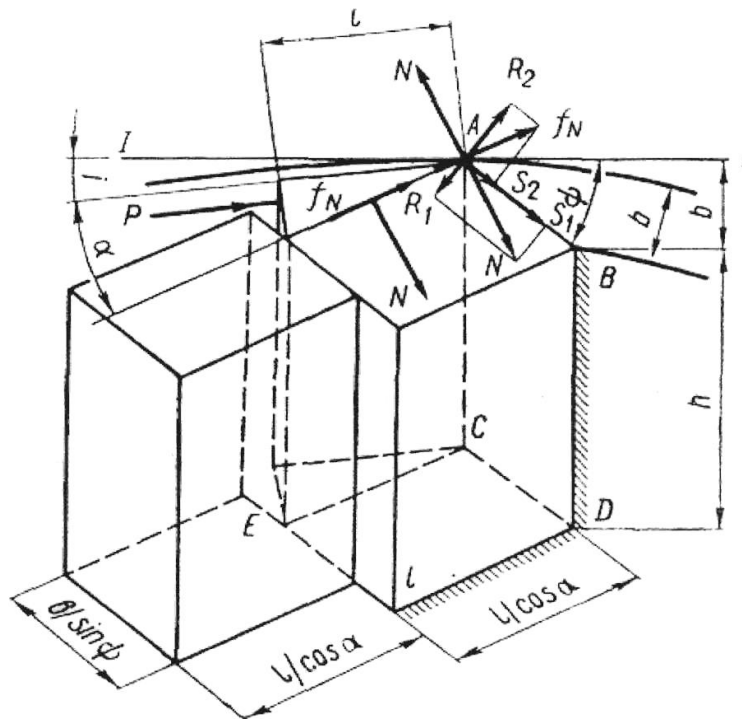


Рис. 3.2. Схема дії на скибу ґрунту ножа фрезерного мультівача

Тоді, приймаючи до уваги, що  $\overline{AB} = \frac{1}{\sin \psi}$ , можна написати:

$$F_{ABCD} = v_n h \frac{2\pi}{k\omega \sin \psi} \quad (3.34)$$

$$F_{CDEL} = v_n \frac{2\pi}{k\omega \sin \psi} \cdot \frac{l}{\cos \alpha}. \quad (3.35)$$

Підставляємо значення  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $F_{ABCD}$  і  $F_{CDEL}$  в рівняння (3.30), одержуємо:

$$\tau = \frac{N \cos \alpha + fN \sin \alpha}{v_n h \frac{2\pi}{k\omega \sin \psi} + v_n \frac{2\pi}{k\omega \sin \psi} \cdot \frac{l}{\cos \alpha}} \quad (3.36)$$

або

$$\tau = \frac{N(\cos \alpha + f \sin \alpha)}{v_n \frac{2\pi}{k\omega \sin \psi} \left( h + \frac{l}{\cos \alpha} \right)}. \quad (3.37)$$

Згинаючі моменти  $M_{3z(1)}$  і  $M_{3z(2)}$  сили  $S_1$ , як це видно з рис. 3.2, дорівнюють:

$$M_{3z(1)} = S_1 \frac{l}{2 \cos \alpha}, \quad (3.38)$$

$$M_{3z(2)} = S_2 \frac{h}{2}.$$

Підставивши значення згинаючих моментів  $M_{3z(1)}$ ,  $M_{3z(2)}$  і моментів опору в рівняння (3.31) і (3.32), одержуємо:

$$\sigma_1 = \frac{\frac{l}{\left( \frac{b}{\sin \psi} \right)^2 h}}{\frac{S_1 \cos \alpha}{6}} + \frac{R_1 - R_2}{v_n \frac{2\pi}{k\omega \sin \psi} h} \quad (3.39)$$

$$\sigma_2 = \frac{S_1 \frac{h}{2}}{\frac{\left( \frac{b}{\sin \psi} \right)^2 \frac{l}{\cos \alpha}}{6}}. \quad (3.40)$$

Після заміни величин  $S_1$ ,  $R_1$  і  $R_2$  через  $N$  та виконання необхідних перетворень рівняння (3.39) і (3.40) набудуть такого вигляду:

$$\sigma_1 = \frac{N}{h} \sin \psi \left[ 3 \frac{l}{b^2} \sin \psi + \frac{k\omega(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{2v_n \pi} \right] \quad (3.41)$$

$$\sigma_2 = 3 \frac{Nh}{b^2 l} \sin^2 \psi \cos^2 \alpha. \quad (3.42)$$

Рівняння (3.41) можна записати й так:

$$\sigma_1 = \frac{N}{h} \sin \psi \left[ 3 \frac{l}{b^2} \sin \psi + \frac{kn}{60v_n} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \right], \quad (3.43)$$

де  $n$  – число обертів фрези за хвилину.

Відповідно до теорії Мора руйнування матеріалу відбувається по двох площинах ковзання, для яких

$$\tau + f_1 \sigma = \rho, \quad (3.44)$$

де  $\tau$  – дотичні напруження;

$\sigma$  – нормальні напруження;

$\rho$  – питомий опір зсуву;

$f_1$  – коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту.

Підставивши значення  $\tau$  і  $\sigma$  в рівняння (3.44), одержуємо:

$$N \sin \psi \left\{ \frac{kn(\cos \alpha + f \sin \alpha)}{60v_n(h \cos \alpha + l)} + f_1 \left[ 3 \frac{l}{b^2 h} \sin \psi + \frac{kn}{60v_n h} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \right] \right\} = \rho. \quad (3.45)$$

Величина кута  $\psi$  для небезпечного перерізу, тобто перерізу, по якому відбувається руйнування матеріалу (по Гологурському), дорівнює:

$$\psi = \frac{\pi - (\alpha + \varphi + \varphi_1)}{2}, \quad (3.46)$$

де  $a$  – кут загострення ножа;

$\varphi$  – кут тертя ґрунту по матеріалу ножа;

$\varphi_1$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Підставивши значення  $\psi$  з (3.46) в рівняння (3.45), одержуємо:

$$N \cos \frac{\alpha + \varphi + \varphi_1}{2} \left\{ \frac{kn(\cos \alpha + f \sin \alpha)}{60v_n(h \cos \alpha + l)} + f_1 \left[ 3 \frac{l}{b^2 h} \cos \frac{\alpha + \varphi + \varphi_1}{2} + \frac{kn}{60v_n h} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \right] \right\} = \rho. \quad (3.47)$$

В рівнянні (3.47) силу  $N$  виражаємо через крутний момент  $M_{кр}$  і одержуємо:

$$\frac{M_{кр}}{rk_1} \cdot \frac{\cos \frac{\alpha + \varphi + \varphi_1}{2} \cos i}{\sin(i + \alpha) + f \cos(i + \alpha)} \times \left\{ \frac{kn(\cos \alpha + f \sin \alpha)}{60v_n(h \cos \alpha + l)} + f_1 \left[ 3 \frac{l}{b^2 h} \cos \frac{\alpha + \varphi + \varphi_1}{2} + \frac{kn}{60v_n h} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \right] \right\} = \rho. \quad (3.48)$$

Рівнянням (3.48) встановлено зв'язок між конструктивними і кінематичними параметрами, енергоємністю фрези і деякими її агротехнічними показниками.

Це рівняння дозволяє визначити максимальне значення товщини скиби  $b$ , при якій вона руйнується, величину крутного моменту, що необхідний для привода фрези, та інші її параметри. Величина  $p$  в рівнянні (3.48) визначається експериментальним шляхом і подається в довідниках [12].

### 3.4. Вибір раціональної геометричної форми ротора

Особливістю робочих органів вертикальної фрези є те, що на рух стружки по поверхні клину, який обертається навколо вертикальної осі, впливає відцентрова сила інерції  $F_{Ц}$ . Ця сила обумовлює значне розкидання ґрунту і зміну його рельєфу.

При дії відцентрової сили можливі три випадки руху стружки: елемент стружки відстає від ножа і сходиться з нього з боку від задньої кромки; обходить ніж і сходиться з нього, з боку ріжучої кромки; нерухомий відносно ножа і обертається разом з ротором.

Аналізуючи валив  $F_{Ц}$  на швидкість і напрямок переміщення частинки ґрунту приймемо, що розміри останньої досить малі, в порівнянні з розмірами робочого органу, тому ними можна знехтувати, тобто частинка ґрунту являє собою матеріальну силу.

На рис. 3.3 показані сили, які діють на частинку, яка знаходиться на ножі вертикально-роторної фрези: сила тяжіння  $mg$ ; відцентрова сила  $F_{Ц} = m\omega^2 R$ ; нормальна реакція  $N$  поверхні ножа і сила тертя  $fN$ .

Умови початку руху елемента стружки в сторону ріжучої кромки визначаються з нерівності:

$$P_v > F_{TR}^{\Gamma}$$

де:  $P_v$  – сила, яка втягує частинку в обертання;

$F_{TR}^{\Gamma}$  – горизонтальна складова сила тертя.

Розглянемо значення  $P_v$  і  $F_{TR}^{\Gamma}$  згідно схеми (рис. 3.3).

Тоді маємо:

$$m\omega^2 R \sin \varepsilon_0 > fm\omega^2 R \cos \varepsilon_0 \quad (3.49)$$

де:  $\varepsilon_0$  – задній кут різання.

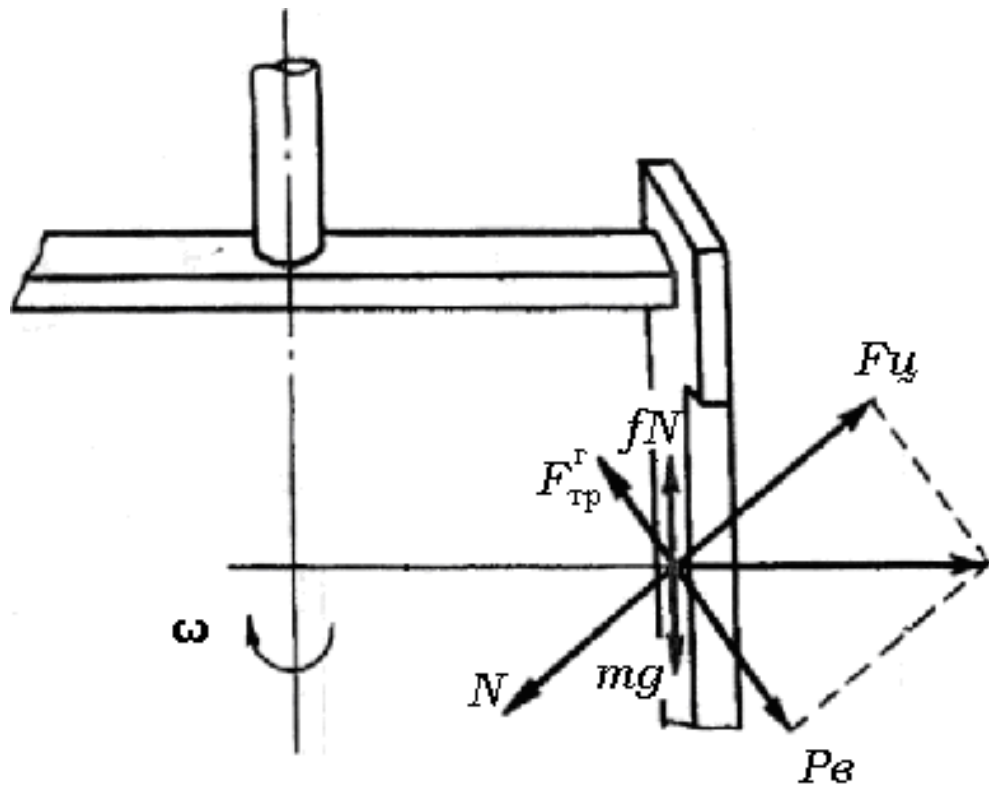


Рис. 3.3. Схема сил, які діють на частинку ґрунту

Для рівноваги елемента ґрунту в вертикальній площині необхідно:

$$fm\omega^2 R \cos \varepsilon_0 \geq mg \quad (3.50)$$

Перетворивши нерівність (3.49) у вигляд

$$\operatorname{tg} \varepsilon_0 > f \quad (3.51)$$

одержимо умову початку руху елемента стружки в сторону ріжучої кромки.

Якщо коефіцієнт тертя ґрунту по сталі в середньому складає  $f=0,5$ , а  $\varepsilon_0=25\dots45^\circ$ , то забезпечується умова нерівності (3.51).

Таким чином, при обробітку пристовбурних смут вертикально-роторийний робочий орган забезпечує відкидання в площині обертання при будь-якому куті повороту ротора  $\varphi$ . Вектор абсолютної швидкості частинки  $V_a$  відхиляється від вектора абсолютної швидкості ножа  $V_a'$  в сторону обертання. При цьому

переміщення частинки буде направлено від осі обертання, що обумовлює розкидання ґрунту вертикальним ротором.

Розглянемо сили, які діють в вертикальній площині на частинку ґрунту, яка лежить на ножі, з врахуванням геометричної форми ротора.

На рис. 3.4 показані три, які найбільш часто зустрічаються, геометричні форми роторів: циліндричні (ножі мають пряну вертикальну стійку) і конічні з верхнім і нижнім розташуванням вершини конуса (стійка ножа нахилена).

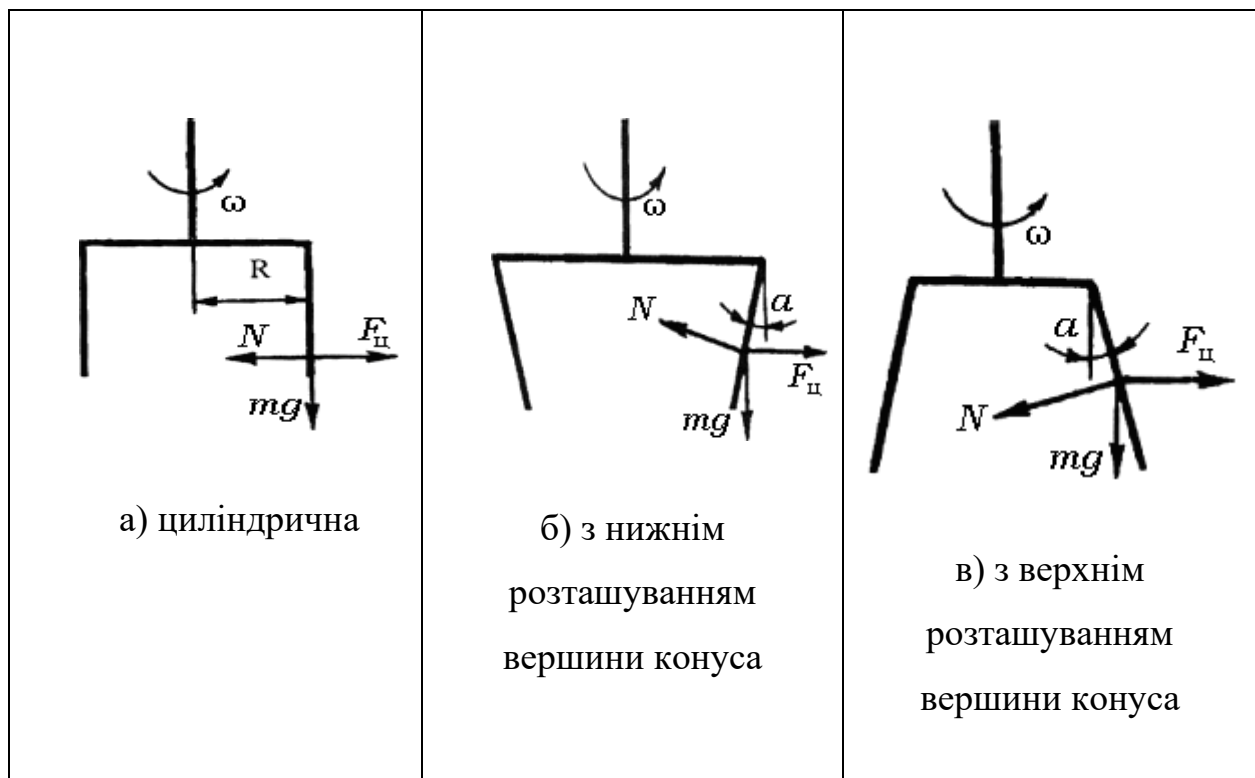


Рис. 3.4. Схема до обґрунтування геометричної форми ротора

Розглянемо умову, коли сили, які діють на частинку ґрунту, зумовлюють рівновагу або початок руху частинки вниз по стійці.

На основі силового аналізу запишемо:

а) циліндричний ротор

$$mg \geq F_{\text{ц}} f$$

б) конічний ротор з нижнім розташуванням вершини конуса

$$mg \cos \alpha \geq F_{\text{ц}} \sin \alpha + (F_{\text{ц}} \sin \alpha + mg \sin \alpha) f$$

в) конічний ротор з верхнім розташуванням вершини конуса

$$mg \cos \alpha + F_{ц} \sin \alpha \geq (F_{ц} \sin \alpha - mg \sin \alpha) f$$

Після перетворення маємо:

$$a) g \geq f \omega^2 R$$

$$б) g \geq \left( \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} \right) \omega^2 R$$

$$в) g \geq \left( \frac{f \cos \alpha - \sin \alpha}{\cos \alpha + f \sin \alpha} \right) \omega^2 R$$

Позначимо вираз, що стоїть в дужках через  $f_{ум}$  – умовний коефіцієнт тертя, розрахуємо його чисельне значення при різних кутах  $\alpha$  з врахуванням прийнятого значення коефіцієнта тертя  $f = 0,5$ .

Як видно із таблиці 3.1 із збільшенням конусності ротора з нижнім розміщенням вершини конуса, умовний коефіцієнт тертя  $f_{ум}$  зростає і завжди більший  $f = 0,5$ , тому можливо деяке переміщення частинок ґрунту вверх по стійці ножа, а отже залипання. Для ротора з верхнім розміщенням вершини конуса  $f_{ум}$  стає від'ємним при куті  $\alpha$ , який перевищує кут тертя  $\varphi_{ТР}$  (при  $f = 0,5$ ;  $\varphi_{ТР} = 26^\circ$ ). При таких умовах дія відцентрової сили зумовлюватиме значне розкидання ґрунту.

Таблиця 3.1. Розрахункові значення  $f_{ум}$  в залежності від величини кута  $\alpha$  нахилу конуса

Ротор	Величина кута $\alpha$ , град			
	10	20	30	40
Конічний з нижнім розташуванням вершини конуса	0,62	1,06	1,51	2,31
Конічний з верхнім розташуванням вершини конуса	0,3	0,12	-0,06	-0,24

Доцільною формою вертикальної фрези для обробітку міжстовбурних смуг являється циліндричний ротор.

Найбільш якісне підрізання бур'янів забезпечує L-подібний ніж фрези. Такий ніж встановлюють на ротор фрези відігнутою частиною до середини осі обертання, або назовні. Очевидно, що при заданій ширині захвату радіус ротора буде більший на її довжину в порівнянні з L-подібним ножем вигнутим назовні.

Враховуючи, що відцентрова сила зростає із збільшенням радіуса L-подібні ножі слід встановлювати відігнутою частиною назовні [13].

### 3.5. Синтез механізму висувної секції

Обробіток пристовбурних смуг у садах виконують ґрунтообробними агрегатами, обладнаними спеціальними пристроями, що дають можливість під час руху агрегату періодично наближати розпушувальні органи до осі ряду дерев та виводити їх звідти. Такі пристрої називають висувними секціями. Висувна секція являє собою шарнірно зв'язаний з рамою агрегату механізм із закріпленими на ньому лапчастими дисковими або фрезерними робочими органами. Секція висувається за допомогою гідро циліндра[17].

Основним етапом синтезу є створення кінематичної схеми. Створення кінематичної схеми механізму передбачає визначення структури механізму (кількості ланок, числа і класів кінематичних пар) та його параметрів, тобто розмірів ланок механізму й величин, які характеризують взаємне положення їх.

За структурною класифікацією такі механізми належать до механізмів другого класу другого порядку. Конструктивно ці механізми виконують як чотириланкові кулісно-коромислові механізми з хитним повзуном (рис. 3.5) або з хитною кулісою (рис. 3.6).

Механізм висувної секції складається із стояка  $AD$ , початкової ланки  $AB$  та двоповідкової групи  $BCD$ . Початкова ланка  $AB$  являє собою хитний повзун (рис. 3.5) або хитну кулісу (рис. 3.6). Двоповідкова група являє собою шарнірно з'єднані кулісу  $BC$  та коромисло  $DE$  (рис. 3.5) або ж повзун  $BC$  та коромисло  $CD$  (рис. 3.6). За схемою рисунка 3.5 виконують механізми висувних секцій, обладнаних робочим органами у вигляді фрези з вертикальною віссю обертання. На рисунку 3.5 показана також ланка  $EM$ , що являє собою радіус фрези, а точка  $M$  є крайня права точка робочих органів.

Часто висувні секції виконують так, що шарнір  $C$  не лежить на прямій  $DE$ . В цьому разі коромисло являє собою трикутник  $CDE$ , сторони якого  $CD$  і  $DE$  утворюють деякий кут  $\alpha_0$  (рис. 3.6). За схемою рисунка 3.6 виконані механізми

висувних секцій культиватора КСГ-5 і плуга розпушувача ПРВН-2,5 та механізм універсальної секції ПМП-0,6.

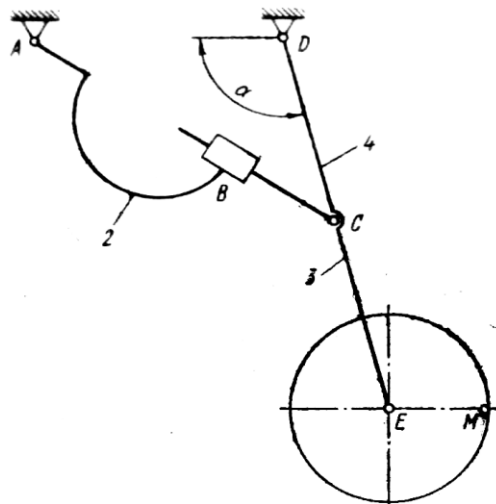


Рис. 3.5. Чотириланковий кулісно-коромисловий механізм з хитним циліндром

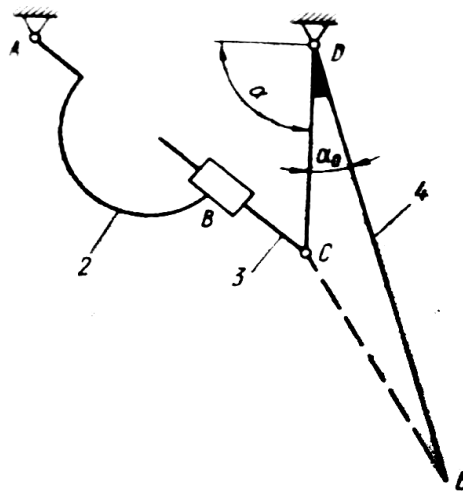


Рис. 3.6. Чотириланковий кулісно-коромисловий механізм з хитною кулісою

Якщо робочими органами є лапи, диски або фреза з горизонтальною віссю обертання, механізм ускладнюють, додаючи до чотириланковика  $ABCDE$  ще одну двоповідкову групу  $EFG$  (рис. 3.7), щоб мати можливість приєднувати робочі органи до ланки  $EM$ .

Оскільки висувна секція кріпиться до рами агрегату, яка разом з трактором виконує поступальний рух вздовж рядків дерев, для розв'язання задачі про відтворення заданої траєкторії руху слід розглядати механізм, зображений на рисунку 3.8. Ланка  $I$  зображує раму агрегата, що разом з трактором може

рухатись вздовж напрямної  $xx$ . Ступінь рухомості механізму визначається за загальною формулою:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (3.52)$$

де  $n$  – кількість рухомих ланок;

$p_5$  – кількість кінематичних пар п'ятого класу;

$p_4$  – кількість кінематичних пар четвертого класу.

Оскільки  $n = 6$ ,  $p_5 = 8$ ,  $p_4 = 0$ , то  $W = 2$ . Це означає що механізм повинен мати дві ведучі ланки. Однією ведучою ланкою є рама агрегату, тобто ланка 1. Приймаючи припущення що агрегат рухається по міжряддю з постійною швидкістю  $v$ , маємо закон руху ланки 1 у вигляді:

$$s = vt, \quad (3.53)$$

де  $s$  – шлях агрегату;

$t$  – час руху.

Другою ведучою ланкою є поршень гідроциліндра, тобто ланка 3. Веденою ланкою є ланка 5, точка  $M$  якої повинна відтворювати задану траєкторію руху.

Для розв'язання задачі синтезу механізму розглянемо рисунок 3.9, де зображена схема руху агрегату з правобічною висувною секцією в міжрядді саду. Агрегат з висувною секцією в довільний момент часу зображено шестиланковиком  $NABCDEFGM$ . Шестиланковик, позначений тими ж буквами, але з індексами „1”, зображає агрегат перед початком обходу дерева, тобто коли висувна секція знаходиться в крайньому правому положенні, з індексами „2” – якщо ця ж сама секція перебуває в крайньому лівому положенні. Крива  $M_1M_2MM_3$  являє собою траєкторію руху крайньої правої точки робочих органів. Рівняння цієї траєкторії  $y=y(x)$  у системі координат  $xM_1y$  – задане. Щоб полегшити розв'язання задачі, зроблено припущення про те, що в момент, коли секція перебуває в крайньому лівому положенні, крайній правий робочий орган рухається по тій самій лінії, що й вісь шарніра висувної секції, тобто що  $yM_2 = yG_1 = yG = yG_2$ .

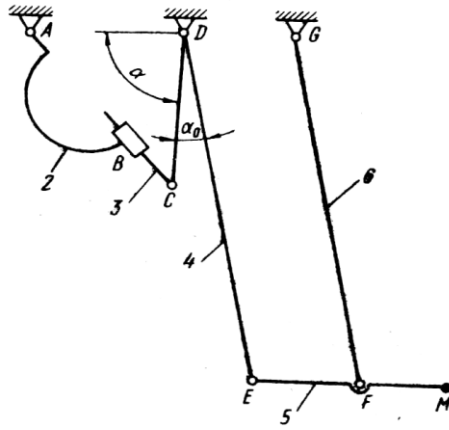


Рис. 3.7. Шестиланковий механізм висувної секції

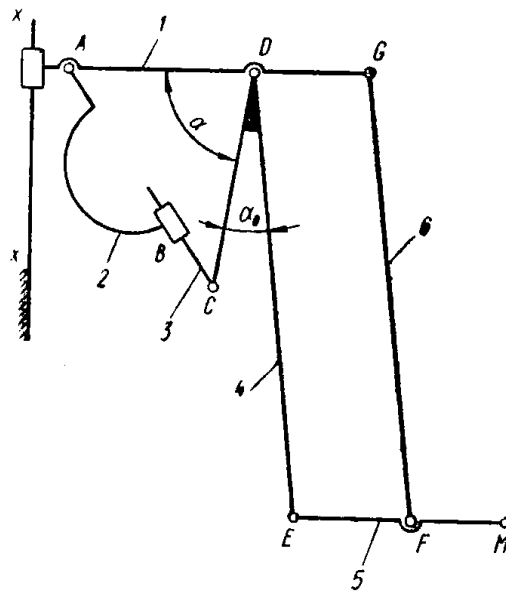


Рис. 3.8. Схема механізму висувної секції на рухомій рамі

будемо синтезувати механізм висувної секції у два етапи: спочатку чотириланковик  $GDEFM$ , а потім  $ABCD$ . На першому етапі слід визначити параметри  $e, l, r, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ , на другому –  $d, f, H_1$  і  $H_2$  (рис. 3.9). Оскільки немає потреби в абсолютно точному відтворенні заданої траєкторії, досить розглянути два положення механізму, в яких координати точки мають значення:  $x_{M1}=0$ ,  $y_{M1}=0$ , та  $x_{M2}=c_3$ ,  $y_{M2}=c$ , де  $c=c_1+c_2$ .

Тоді можна скласти два рівняння для визначення двох параметрів механізму, наприклад  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ . Решта ж параметрів визначаються довільно, з деяких інших міркувань. Так, довжина  $r$  вильоту робочих органів у випадку, коли висувна секція обладнана фрезою з вертикальною віссю обертання, визначається із співвідношення:

$$r = \frac{a}{2}, \quad (3.54)$$

де  $r$  – довжина вильоту робочих органів, м;  
 $a$  – ширина захвата висувної секції, м.

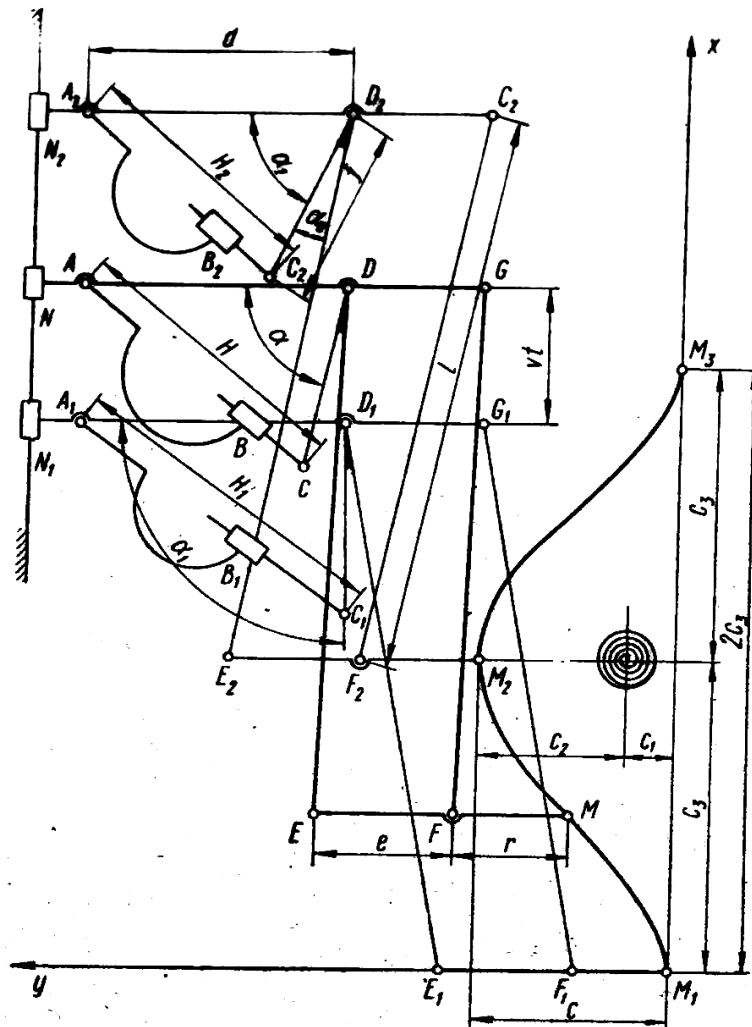


Рис. 3.9. Схема обходу дерева механізмом висувної секції

Підставивши у рівняння (3.54) відповідні значення, одержуємо:

$$r = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ м.}$$

Довжину  $l$  коромисла  $DE$  можна вибрати з конструктивних міркувань за умовою:

$$l \gg c. \quad (3.55)$$

У механізмів висувних секцій типу КСГ-5 та ПРВН-2,5 коромисло являє собою різальну кромку ножа, а тому можна визначити довжину  $l$  за формулою:

$$l = \frac{a}{\sin \gamma}, \quad (3.56)$$

де  $\gamma$  – кут розхилу ножа.

Кут  $\alpha_0$  між сторонами коромисла вибирають з конструктивних міркувань, так щоб виконувались нерівності:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{2} < \alpha_1 + \alpha_0 < \pi, \\ 0 < \alpha_2 + \alpha_0 < \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (3.57)$$

З рисунка 3.7 маємо такі співвідношення:

$$\begin{aligned} \frac{c-r}{l} &= \sin\left(\alpha_1 + \alpha_0 - \frac{\pi}{2}\right) = -\cos(\alpha_1 + \alpha_0), \\ \frac{r}{l} &= \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_2 - \alpha_0\right) = \cos(\alpha_2 + \alpha_0). \end{aligned} \quad (3.58)$$

Відношення

$$\frac{c}{l} = \nu \quad (3.59)$$

будемо називати коефіцієнтом відведення секції, а відношення

$$\frac{r}{l} = \lambda \quad (3.60)$$

– коефіцієнтом вильоту робочих органів. Тоді кути між рамою секції та коромислом у крайніх положеннях визначаються так:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \arccos(\lambda - \nu) - \alpha_0, \\ \alpha_2 &= \arccos \lambda - \alpha_0, \end{aligned} \quad (3.61)$$

а кут повороту коромисла –

$$\alpha_m = \alpha_1 - \alpha_2 = \arccos(\lambda - \nu) - \arccos \lambda. \quad (3.62)$$

При синтезі чотириланковика  $ABCD$  частину параметрів треба визначати, також користуючись додатковими міркуваннями. Так, найбільшу  $H_1$  та найменшу  $H_2$  відстані між осями шарнірів гідроциліндра в момент, коли висувна секція знаходиться відповідно в правому крайньому та лівому крайньому положеннях, вибирають залежно від типу гідроциліндра, що буде застосований для висувної секції.

Відомо, що гідроциліндри характеризуються найбільшою  $H_{1max}$  та найменшою  $H_{2min}$  відстанями між осями шарнірів. При проектуванні висувної секції слід забезпечити такі значення параметрів:

$$H_1 \leq H_{1max}, \quad (3.63)$$

$$H_2 \geq H_{2min}.$$

Відстані  $d$  і  $f$  точок кріплення гідроциліндра визначають шляхом розв'язування системи рівнянь:

$$d^2 + f^2 - 2df \cos \alpha_1 - H_1^2 = 0; \quad (3.64)$$

$$d^2 + f^2 - 2df \cos \alpha_2 - H_2^2 = 0.$$

Розв'язуючи перше рівняння з системи рівнянь (3.64), знайдемо, що

$$d = f \cos \alpha_1 \pm \sqrt{f^2 \cos^2 \alpha_1 + H_1^2 - f^2}. \quad (3.65)$$

У конкретних механізмах з метою зменшення зусиль, що виникають у шарнірі  $C$ , вибирають

$$\alpha_1 > \frac{\pi}{2},$$

$$\alpha_2 < \frac{\pi}{2}, \quad (3.66)$$

$$H_1 > f.$$

А тому

$$H_1^2 - f^2 > 0. \quad (3.67)$$

Отже,

$$\left( \sqrt{f^2 \cos^2 \alpha_1 + H_1^2 - f^2} \right) > (f \cos \alpha_1). \quad (3.68)$$

Приймаючи до уваги, що величина  $d$  має бути додатною, можемо записати:

$$d = f \cos \alpha_1 + \sqrt{f^2 \cos^2 \alpha_1 + H_1^2 - f^2}. \quad (3.69)$$

Після підстановки рівняння (3.69) у друге рівняння системи (3.64) одержимо:

$$f^4 - \frac{H_1^2 \cos \alpha_2 - H_2^2 \cos \alpha_1}{\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1} f^2 + \left[ \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)} \right]^2 = 0. \quad (3.70)$$

Розв'язуючи рівняння (3.70), одержуємо:

де

$$f = \sqrt{\frac{A_1 \pm \sqrt{A_1^2 - A_2^2}}{2A_3}},$$

$$A_1 = H_1^2 \cos\alpha_2 - H_2^2 \cos\alpha_1,$$

$$A_2 = H_1^2 - H_2^2,$$

$$A_3 = \cos\alpha_2 - \cos\alpha_1.$$
(3.71)

Після деяких перетворювань формулу (3.71) можна записати у такому вигляді:

$$f = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{A_1 + A_2}{A_3}} \pm \sqrt{\frac{A_1 - A_2}{A_3}} \right).$$
(3.72)

Проаналізуємо розв'язок (3.72). Оскільки

$$0 < \alpha_1 < \pi,$$

$$0 < \alpha_2 < \pi,$$

і завжди

$$\alpha_2 < \alpha_1,$$

то

$$\cos\alpha_2 > \cos\alpha_1.$$
(3.73)

Отже, завжди  $A_3 > 0$ . Крім того, завжди має місце очевидна нерівність:

$$H_1 > H_2,$$
(3.74)

Таким чином, завжди

$$A_2 > 0.$$
(3.75)

У результаті справедливості нерівностей (3.73) і (3.74) випливає справедливість такої нерівності:

$$H_1^2 \cos\alpha_2 > H_2^2 \cos\alpha_1, \text{ та } A_1 > 0.$$
(3.76)

Отже, рівняння (3.71) має дійсний розв'язок тоді і лише тоді, коли

$$A_1^2 - A_2^2 \geq 0,$$
(3.77)

оскільки в цьому випадку завжди здійснюється нерівність

$$A_1 \pm \sqrt{A_1^2 - A_2^2} > 0.$$
(3.78)

Для виконання умови (3.77) необхідно, щоб здійснювалась умова:

$$A_1 > A_2.$$
(3.79)

Таким чином, повинно бути:

тобто

$$\begin{aligned} H_1^2 \cos \alpha_2 - H_2^2 \cos \alpha_1 &\geq H_1^2 - H_2^2, \\ H_2^2 (1 - \cos \alpha_1) &\geq H_1^2 (1 - \cos \alpha_2). \end{aligned} \quad (3.80)$$

Внаслідок справедливості нерівностей (3.74) та (3.80) впливає справедливість такої нерівності:

$$mH_1 \leq H_2 < H_1, \quad (3.81)$$

де

$$m = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha_2}{1 - \cos \alpha_1}}. \quad (3.82)$$

Розв'язуючи рівняння (3.61) відносно  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$ , одержимо:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 &= (\lambda - \nu) \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0 \sqrt{1 - (\lambda - \nu)^2}, \\ \cos \alpha_2 &= \lambda \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0 \sqrt{1 - \lambda^2}. \end{aligned} \quad (3.83)$$

Отже, коефіцієнт  $m$  можна визначити так:

$$m = \sqrt{\frac{1 - \lambda \cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \sqrt{1 - \lambda^2}}{1 - (\lambda - \nu) \cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \sqrt{1 - (\lambda - \nu)^2}}} \quad (3.84)$$

або після нескладних перетворень:

$$m = \frac{(1 + \cos \alpha_0) A_{12} A_{22} - (1 - \cos \alpha_0) A_{11} A_{21} + \sin \alpha_0 (A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21})}{2(\cos \alpha_0 - \lambda + \nu)}, \quad (3.85)$$

де

$$\begin{aligned} A_{11} &= \sqrt{1 + \lambda}, \\ A_{12} &= \sqrt{1 - \lambda}, \\ A_{21} &= \sqrt{1 + \lambda - \nu}, \\ A_{22} &= \sqrt{1 - \lambda + \nu}. \end{aligned}$$

Маючи значення всіх параметрів механізму, можна перейти до визначення закону руху ведучої ланки 3. З рисунку 3.9 маємо таку залежність:

$$h = H_1 - H = H_1 - \sqrt{d^2 + f^2 - 2df \cos \alpha}. \quad (3.86)$$

Щоб визначити закон руху ведучої ланки, треба в рівняння (3.86) підставити рівняння  $\alpha = \alpha(t)$ , що визначає залежність кута  $\alpha$  від часу.

Рівняння, що зв'язує координати точки  $M$  з кутом  $\alpha$ , записується так:

$$\begin{aligned} x_m &= l \sin(\alpha_1 + \alpha_0) + vt - l \sin(\alpha + \alpha_0), \\ y_m &= c - r + l \cos(\alpha + \alpha_0). \end{aligned} \quad (3.87)$$

Рівняння траєкторії руху точки  $M$  у загальному вигляді можна записати так:

$$c - r + l \cos(\alpha + \alpha_0) = y \{ l \sin(\alpha + \alpha_0) + vt - l \sin(\alpha + \alpha_0) \}. \quad (3.88)$$

Тут  $y$  означає символ функції.

Найпростіший вигляд рівняння (3.88) матиме у випадку, коли траєкторія точки  $M$  є кусково-лінійною функцією. Тоді рівняння траєкторії точки  $M$  на ділянці  $M_1M_2$  запишеться так:

$$y = kx, \quad (3.89)$$

а на ділянці  $M_2M_3$  –

$$y = -kx + 2c, \quad (3.90)$$

де

$$k = \frac{c}{c_3}.$$

Підставивши у рівняння (3.89) рівняння (3.87), одержимо після незначних перетворень:

$$\cos(\alpha + \alpha_0) + k \sin(\alpha + \alpha_0) = k \sin(\alpha + \alpha_0) + \lambda - v + \frac{kv}{l}t, \quad (3.91)$$

$$(0 \leq t \leq T_1);$$

$$\cos(\alpha + \alpha_0) - k \sin(\alpha + \alpha_0) = -k \sin(\alpha_1 + \alpha_0) + \lambda - v - \frac{kv}{l}t, \quad (3.92)$$

$$(T_1 \leq t \leq T),$$

де  $T_1$  – час, необхідний на виведення секції, тобто час руху коромисла з правого крайнього в ліве крайнє положення;

$T$  – час, необхідний для обходу дерева.

Розв'язуючи рівняння (3.91) відносно  $t$ , знаходимо залежність часу руху коромисла секції від кута повороту  $\alpha$ :

$$t = \frac{c_3 - l \sin(\alpha_1 + \alpha_0) - \frac{r}{k} + l \sin(\alpha + \alpha_0) + \frac{l}{k} \cos(\alpha + \alpha_0)}{v}. \quad (3.93)$$

Підставивши в формулу (3.93) значення  $\alpha = \alpha_2$ , знайдемо час  $T_1$ :

$$T_1 = \frac{c_3 + l [\sin(\alpha_2 + \alpha_0) - \sin(\alpha_1 + \alpha_0)]}{v}. \quad (3.94)$$

Оскільки час  $T_0$ , необхідний для обходу дерева, визначається рівнянням:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{2c_3}{v}, \quad (3.95)$$

то час  $T_2$ , необхідний на введення секції, можна визначити так:

$$T_2 = \frac{c_3 - l[\sin(\alpha_2 + \alpha_0) - \sin(\alpha_1 + \alpha_0)]}{v}. \quad (3.96)$$

Отже,

$$T_1 > T_2, \quad \text{якщо} \quad \sin(\alpha_2 + \alpha_0) > \sin(\alpha_1 + \alpha_0);$$

$$T_1 = T_2, \quad \text{якщо} \quad \sin(\alpha_2 + \alpha_0) = \sin(\alpha_1 + \alpha_0);$$

$$T_1 < T_2, \quad \text{якщо} \quad \sin(\alpha_2 + \alpha_0) < \sin(\alpha_1 + \alpha_0).$$

Оскільки

$$\alpha_1 > \frac{\pi}{2},$$

$$\alpha_2 < \frac{\pi}{2},$$

то

$$T_1 > T_2, \quad \text{якщо} \quad \cos(\alpha_2 + \alpha_0) < -\cos(\alpha_1 + \alpha_0), \quad \text{тобто} \quad \lambda < -(\lambda - v);$$

$$T_1 = T_2, \quad \text{якщо} \quad \cos(\alpha_2 + \alpha_0) = -\cos(\alpha_1 + \alpha_0), \quad \text{тобто} \quad \lambda = -(\lambda - v);$$

$$T_1 < T_2, \quad \text{якщо} \quad \cos(\alpha_2 + \alpha_0) > -\cos(\alpha_1 + \alpha_0), \quad \text{тобто} \quad \lambda > -(\lambda - v).$$

Отже,

$$T_1 > T_2, \quad \text{якщо} \quad r < \frac{c}{2};$$

$$T_1 = T_2, \quad \text{якщо} \quad r = \frac{c}{2}; \quad (3.97)$$

$$T_1 < T_2, \quad \text{якщо} \quad r > \frac{c}{2}.$$

Позначивши в рівняннях (3.91) і (3.92)

$$P_1 = k \sin(\alpha_1 + \alpha_0) + \lambda - v;$$

$$P_2 = -k \sin(\alpha_1 + \alpha_0) + \lambda + v,$$

запишемо їх у такому вигляді:

$$\cos(\alpha + \alpha_0) + k \sin(\alpha + \alpha_0) = P_1 + \frac{kv}{l}t, \quad (3.98)$$

$$(0 \leq t \leq T_1);$$

$$\cos(\alpha + \alpha_0) - k \sin(\alpha + \alpha_0) = P_2 - \frac{kv}{l}t, \quad (3.99)$$

$$(T_1 \leq t \leq T).$$

Розв'язуючи ці рівняння, одержимо такі значення кута від часу:

$$\alpha = C + \arccos(D_1 + Et), \quad (3.100)$$

$$(0 \leq t \leq T_1);$$

$$\alpha = C + \arccos(D_2 + Et), \quad (3.101)$$

$$(T_1 \leq t \leq T),$$

де позначено:

$$C = \arctan k - \alpha_0;$$

$$D_1 = \frac{\sqrt{1+k^2}}{1+k^2} P_1;$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{1+k^2}}{1+k^2} P_2;$$

$$E = \frac{\sqrt{1+k^2}}{1+k^2} \cdot \frac{k\nu}{l}.$$

Підставивши значення кута  $\alpha$  з рівнянь (3.100) і (3.101) у рівняння (3.86), знайдемо закон руху поршня гідроциліндра:

$$h = H_1 - \sqrt{A - B \cos[C + \arccos(D_1 + Et)]}, \quad (3.102)$$

$$(0 \leq t \leq T_1);$$

$$h = H_1 - \sqrt{A - B \cos[C + \arccos(D_2 + Et)]}, \quad (3.103)$$

$$(T_1 \leq t \leq T);$$

де позначено

$$A = d^2 + f^2,$$

$$B = 2df.$$

### 3.6. Вибір та аналіз системи гідрослідкувального пристрою

Відомо, що для керування висувними секціями сільськогосподарських машин широко використовуються гідромеханічні пристрої з механічними щупами – копірами. До основних недоліків застосування гідромеханічних пристроїв слід віднести:

- зусилля дії щупів на штамби рослин перевищують допустимі по агровимогам значення;

- гідромеханічні пристрої структурно громіздкі, конструктивно складні, володіють низькою експлуатаційною надійністю.

Встановлено, що процес взаємодії щупа зі штаблом дерева характеризується сумою статичних та динамічних сил, які обумовлюють можливість пошкодження штаблів дерев. Основною умовою зменшення статичної складової є зменшення зусиль перемикання золотника гідророзподільника і жорсткість пружини повернення щупа, а динамічної складової – зменшення кінетичної енергії щупа.

Мірою кінетичної енергії можна прийняти ударний імпульс ( $E_{y\partial}$ ):

$$E_{y\partial} = \frac{mMu(L^2 - 3Ll_1 + 3l_1^2)}{m(L^2 - 3Ll_1 + 3l_1^2) + 3Ml^2}, \quad (3.104)$$

де  $m$  – маса щупа, кг;

$M$  – маса штамба, кг;

$u$  – швидкість руху агрегату, м/с;

$L$  – довжина щупа, м;

$l$  – відстань від осі повороту щупа до точки зустрічі зі штаблом, м;

$l_1$  – відстань від осі повороту щупа до точки кріплення пружини.

При умові, що  $M \gg m$  формула приймає вид:

$$E_{y\partial} = \frac{mu(L^2 - 3Ll_1 + 3l_1^2)}{3l^2}, \quad (3.105)$$

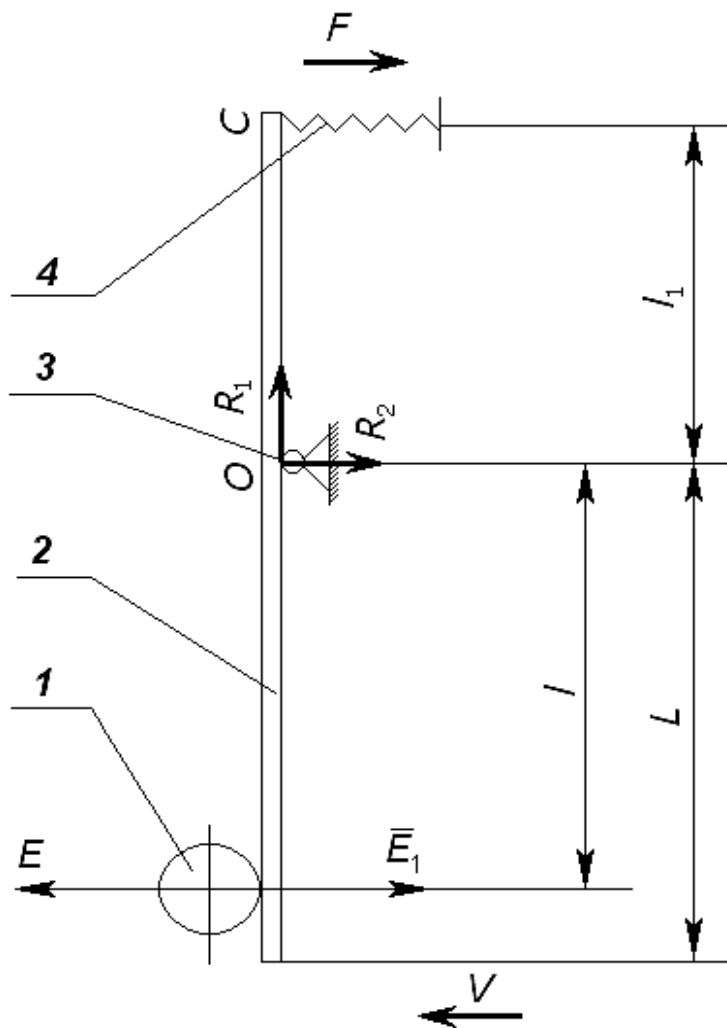


Рис. 3.10. Схема сил, які виникають в момент удару щупа об штамп  
деревя

1-штамп дерева; 2-щуп; 3-опора; 4-зворотна пружина.

Приведені вище вирази дозволяють аналітично оцінювати вплив динамічних та кінематичних характеристик сигнального пристрою на величину ударного імпульсу. Виходячи із суті процесу удару, реакції опор і силу (попереднього навантаження щупа пружиною) можна не враховувати.

Гідрослідкувальний пристрій є дуже важливою системою фрези, яка призначена для своєчасного виведення робочого органа з ряду дерев, при зустрічі щупа із штампом дерева. Від роботи системи залежить якість обробітку ґрунту (площа необробленої ділянки біля стовбура дерева) та ступінь пошкодження надземної частини стовбура дерева.

Основним прототипом при розробці системи є система гідрослідкувального пристрою фрези ФА-0,76. Ця система складається з гідравлічного насосу, який підключений до ВВП трактора за допомогою конічного редуктора, дроселюючого гідророзподільника плунжерного типу, з'єднаного зі щупом системою тяг, гідроциліндра керування, оливного бака та системи оливоприводу. Гідронасос, приєднаний до ВВП трактора, створює постійний тиск в гідравлічній системі у межах 6,3 МПа. При контакті щупа з штаблом дерева зусилля із щупа через систему тяг передається на плунжер гідророзподільника, який спрямовує потік оливи в одну з двох порожнин гідроциліндра. Гідроциліндр виводить висувну секцію з ряду. Після того, як дія штабла на щуп припиняється, гідророзподільник перемикає потік оливи з одної робочої порожнини циліндра в іншу і висувна секція фрези повертається в ряд.

Основним недоліком цієї системи є надмірні зусилля, які виникають в момент контакту щупа із штаблом дерева (понад 20 Н), перевищуючи агротехнічні вимоги.

Оскільки фреза, що розробляється, має агрегуватися з тракторами, що мають власні гідросистеми, то гідрослідкувальний пристрій можна істотно спростити і вдосконалити. Схема гідрослідкувального пристрою фрези, що розробляється, показана на рисунку 3.11. Він складається з дроселюючого гідророзподільника роторного типу, безпосередньо з'єднаного із щупом гідроциліндра керування висувною секцією та системи оливопроводів.

Порядок роботи гідрослідкувального пристрою аналогічний прототипу. Крім того запропонована схема не має власного гідронасосу та оливного баку, а приєднана до гідросистеми трактора через розривні муфти. На фрезі встановлений гідророзподільник роторного типу РР-1, який дозволяє за рахунок установки щупа безпосередньо на валу гідророзподільника зменшити зусилля, яке виникає при контакті щупа із штаблом дерева.

Гідроциліндр вибираємо за типом, ходом поршня та робочим зусиллям. Потрібен гідроциліндр двосторонньої дії з ходом поршня 450 – 500 мм та робочим зусиллям 123 Н. Цим вимогам відповідає гідроциліндр Ц-110.

Розроблена схема має істотні переваги над гідрослідкувальним пристроєм прототипу. Оскільки нами застосований роторний гідророзподільник, на валу якого закріплений щуп, то за рахунок відсутності системи тяг, та зменшення жорсткості пружини вдалося зменшити зусилля, що виникають при контакті щупа зі штамбом дерева, з 20 Н до 12 Н.

Остання цифра задовольняє агротехнічні вимоги. Крім цього гідрослідкувальний пристрій, що розробляється, не має власного гідронасоса, оливного бака та системи тяг. Це підвищує надійність роботи системи, а також суттєво знижує вартість фрези та затрати оливи і пального при її експлуатації.

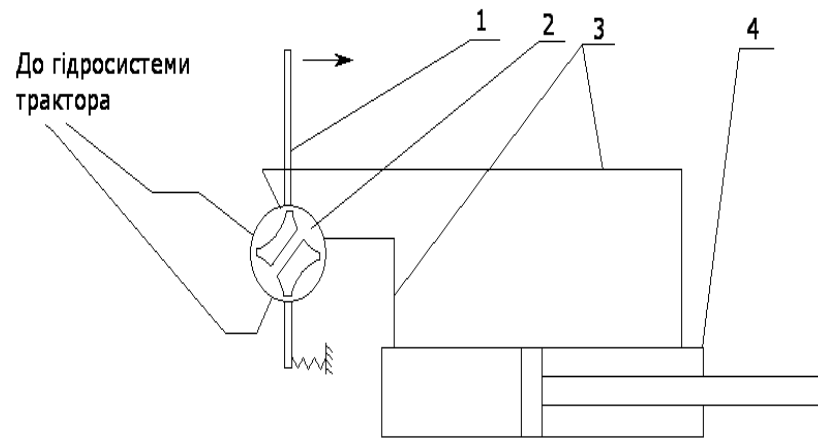


Рис. 3.11. Принципова схема гідрослідкувального пристрою  
1-щуп; 2-гідророзподільник кранового типу; 3-оливопроводи; 4 -  
гідроциліндр для керування висувною секцією.

## **РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ**

### **4.1. Вибір та обґрунтування схеми фрезерного мульчувача**

Розроблювана фреза складається з рами, пристрою для автоматичного слідування введення і виведення робочого органу із ряду дерев, редуктора, вертикальних фрезерних роторів і гідророзподільника.

Конічний редуктор передає крутний момент від ВВП трактора через карданну передачу на ротор, тобто на робочий орган.

Для регулювання глибини обробітку, фреза обладнана опорним башмаком і вертикальним ножем для забезпечення стійкості роботи фрези в горизонтальній площині.

Висувна секція складається із щупа, гідророзподільника, на який передає зусилля щуп, гідроциліндра і шлангів, які сполучають гідросистему фрези з гідросистемою трактора.

Фреза, що розробляється, значно відрізняється від своїх аналогів.

Полеві фрези значно масивніші, що не дає можливості обробляти ґрунт в садах, тим більше в пристовбурних смугах. Масивність призводить до поганої маневреності, а звідси до пошкодження дерев. Розроблювана фреза набагато менша та має висувний пристрій, що дозволяє оператору спрямовувати агрегат перпендикулярно лінії руху. Фреза автоматично відводиться при наближенні до стовбура дерева, а при проходженні його знову повертається в ряд. При русі агрегату вздовж ряду фреза перекриває смугу обробітку відносно осі стовбурів на 15 – 20 см. Це дає гарантію, що пристовбурна смуга буде оброблена значно краще, ніж при використанні інших агрегатів.

Також не менш важливим фактором є те, що цією фрезою ми можемо обробляти дерева саду з великими кронами до 3,5 м. та відстанню від поверхні ґрунту до нижньої гілки дерева не менше 0,5 м. Ці показники значно кращі від показників інших роторних фрез.

У світі мало застосовується сільськогосподарських машин з роторними робочими органами, які мають вертикальну вісь обертання, не кажучи вже про

садові фрези з вертикальною віссю обертання. Існують комбіновані машини, які мають секції роторних робочих органів як з горизонтальною, так і з вертикальною віссю обертання. До машин такого типу відноситься фреза ФСП-1,2. Ця машина, у порівнянні з розроблюваною, складніша за будовою.

Науково-дослідний інститут садівництва ім. І.В.Мічуріна і ДСКБ по садовим і виноградним машинам розробили фрезу з горизонтальною віссю обертання ФА-0,76.

Найбільш близька до розроблюваної фрези фреза ФА-0,76. Вона досить проста за будовою і обслуговуванням, має один конічний редуктор, висувний пристрій, два карданні вали і горизонтальний ротор, але гідросистеми фрез мають суттєві відмінності. На фрезі ФА-0,76 є власна гідросистема з гідронасосом, підключеним до конічного редуктора, та власним оливним баком. Гідросистема розроблюваної фрези гідравлічними шлангами з'єднана з гідросистемою трактора.

При запуску фрези, тобто при підключенні ВВП трактора, крутний момент передається через редуктор на фрезерний редуктор і оливний насос. При наближенні до стовбура щуп передає зусилля через систему тяг до гідророзподільника, а він підвищує тиск оливи в гідроциліндрі і фреза автоматично обходить стовбур дерева.

В фрезі, що розробляється, не передбачений оливний насос і оливний бак, а також система тяг від щупа до гідророзподільника. Це спрощує конструкцію, полегшує експлуатацію, обслуговування, регулювання та ремонт. Щуп безпосередньо закріплений до гідророзподільника, що підключений до гідросистеми трактора. При контакті щупа з стовбуром дерева, гідророзподільник спрямовує оливу в гідроциліндр, який відводить роторний барабан від стовбура дерева. Ця система набагато простіша, легше діагностується, менш металоємка і має меншу вагу.

Також не менше значення має і навантаження на вал відбору потужності трактора. Фреза може агрегатуватися з тракторами класу 1,4 (які обладнані гідросистемою та противагою).

Так при переїзді з одного міжряддя в інше, оператору досить з кабіни трактора відключити потік оливи до фрези, не вимикаючи ВВП, і фреза залишиться в транспортному положенні.

#### **4.2. Вихідні дані до розробки фрези**

Фреза призначена для обробітку ґрунту у пристовбурних смугах інтенсивного саду з шириною міжрядь від 4 до 6 м. та діаметром крони, перпендикулярно осі ряду, не більше 3,5 м.

Агрегатується з тракторами класу 0,6; 0,9; 1,4.

Входить до системи машин для комплексної механізації садівництва.

Фреза застосовується в зонах Лісостепу і Полісся України, а також у садах з залуженими міжряддями в усіх зонах України.

Фреза призначена для використання в промислових садах молодих і плодоносних насаджень, розташованих на рівнинах і схилах до 5%, з шириною крони не більше 3,5 м., відстань між деревами в ряду не менше 2 метрів. Коридор між кронами сусідніх рядів дерев повинен бути не меншим 2 метрів. Відстань від нижньої гілки до поверхні ґрунту повинна бути не менше 0,5 метра. Висота рослинного покриву не повинна перевищувати 0,25 метра, вологість верхнього шару ґрунту на глибину 0-15 см не повинна бути вищою 25%. В зоні роботи фрези не повинно бути сторонніх предметів (каміння, металевих та дерев'яних предметів). Відхилення дерев у рядку від осі ряду не повинно перевищувати  $\pm 10$  см.

Відповідно до технологічного процесу, після застосування фрези інша технологічна операція не передбачається.

За способом приводу робочих органів, фреза відноситься до тієї групи машин, у яких привод здійснюється від валу відбору потужності трактора (ВВП). Фреза з вертикальною віссю обертання роторів.

Ширина пристовбурної смуги, яку потрібно обробити розроблюваною фрезою, становить не більше 1,5м. За один прохід фреза повинна обробити половину ширини пристовбурної смуги. Тому, враховуючи перекриття

суміжних проходів, приймаємо робочу ширину захвату  $B = 0,8$  м, а ширина захвату одного ротора  $\epsilon = 0,4$  м.

Виходячи з агротехнічнодопустимого діапазону швидкостей для фрезерування ґрунту, приймаємо робочу швидкість руху агрегату  $V_a = 3..5$  км/год.

Глибина обробітку ґрунту  $h = 5..10$  см.

Питомий опір ґрунту  $p = 50..100$  кН/м<sup>2</sup>.

Транспортна швидкість  $V_m = 10..12$  км/год.

### 4.3. Діаметр ротора

В процесі досліджень встановлено, що затрати енергії пропорційні шляху різання глибині обробітку ґрунту і визначають діаметр ротора  $D$ .

Діаметр ротора  $D$  вибирається з умови обробітку ґрунту у пристовбурній смузі за два проходи. Тобто фреза для обробітку ґрунту у пристовбурній смузі має обійти ряд дерев з обох сторін. Отже:

$$B = \frac{A}{2} + e; \quad (4.1)$$

де  $B$  – ширина захвату фрези, м;

$A$  – ширина пристовбурної смуги, м;

$e$  – величина перекриття при суміжному проходженні, м.

Рекомендована величина перекриття до 0,05 м. Підставивши у формулу (4.1) відповідні значення, одержуємо:

$$B = \frac{1,5}{2} + 0,05 = 0,8 \text{ м.}$$

Діаметр ротора визначається з простої залежності:

$$D = \epsilon = \frac{B}{2}, \quad (4.2)$$

де  $D$  – діаметр ротора, мм;

$\epsilon$  – ширина захвату ротора, мм;

$B$  – ширина захвату фрези, мм.

Підставивши у формулу (4.2) відповідні значення, одержуємо:

$$D = \epsilon = \frac{800}{2} = 400 \text{ мм.}$$

#### 4.4. Кількість ножів на одному диску

В існуючих конструкціях ротаційних ґрунтообробних машин з приводом від ВВП трактора на одному роторі (диску, для робочих органів з горизонтальною віссю обертання) встановлюють від двох до восьми ножів.

Один робочий орган ніколи не ставлять через те, що в такому випадку для отримання стружки необхідного розміру потрібно забезпечити дуже велику частоту обертання при незбалансованому роторі або дуже малу поступальну швидкість.

Майже не зустрічаються ротаційні машини з числом робочих органів в одній площині більше восьми. Це пов'язано із значною металоємністю та конструктивною складністю.

Основним критерієм при виборі числа робочих органів в одній площині є повний обробіток площі носками Г-подібних ножів у середині петлі (рис. 3.1). З таких міркувань вибирають кількість ножів тоді, коли відомі поступальна швидкість фрези, частота обертання ротора, відстань ножів від центру обертання. У такому випадку знаходять ту кількість ножів, яка б забезпечила таку подачу на ніж при якій площа у середині петлі повністю оброблялася б носком ножа. Тобто подача на ніж має бути меншою або рівною довжині носка. Якщо ґрунт не дуже ущільнений, допускається варіант, при якому величина подачі на ніж більша за довжину носка. Це пояснюється тим, що ґрунт буде руйнуватися хвилиною деформації, яка поширюється в зоні руху ножа.

За звичай кількістю ножів задаються. Тому приймаємо кількість ножів  $k$  [19]:

$$k = 4.$$

Після цього задаються орієнтовним значенням кінематичного параметра  $\lambda$  і знаходять довжину носка ножа  $l_n$ . Далі знаходять подачу на ніж  $s_0$  і порівнюють її з довжиною носка. При необхідності збільшують значення кінематичного параметра.

Знаючи кінематичний параметр  $\lambda$ , поступальну швидкість руху  $v_n$  та відстань ножів до осі обертання, знаходять необхідну частоту обертання ротора.

#### 4.5. Кінематичний режим роботи фрези

Щоб знайти умову, яка відповідає роботі ротора без пропусків, визначають кінематичний параметр  $\lambda$ , при якому траєкторії сусідніх ножів торкаються. Приймаємо кінематичний параметр  $\lambda = 2,0$ .

Довжина носка ножа  $l_n$  повинна бути такою, щоб обробляти простір усередині петлі. Підставивши у формулу (4.3) відповідні значення, одержуємо:

$$l_i = r - \frac{r}{\lambda}, \quad (4.3)$$

де  $r$  – відстань ножа від центра обертання, м;

$\lambda$  – кінематичний параметр;

$$l_n = 0,2 - \frac{0,2}{2,0} = 0,1 \text{ м}.$$

При цьому подача на ніж становить

$$s_0 = \frac{2\pi r}{k\lambda} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2}{4 \cdot 2,0} = 0,157 \text{ м},$$

де  $s_0$  – подача на один ніж, м;

$r$  – відстань ножа від центра обертання, м;

$\lambda$  – кінематичний параметр;

$k$  – число ножів на робочому органі.

Порівнявши  $s_0$  з  $l_n$ , знайдемо, що ширина необробленої ділянки становить 0,0057 м. В дійсності ця смужка ґрунту буде руйнуватися хвилиною деформації, але поступальна швидкість не є постійною величиною і може настати такий момент, коли швидкість збільшиться, а кінематичний параметр зменшиться. Це, а також інші фактори, можуть призвести до того, що ґрунт у необробленій ділянці не буде руйнуватись. Тому доцільніше прийняти більше значення кінематичного параметра  $\lambda$ . Приймаємо:

$$\lambda = 2,1.$$

Знаходимо потрібну довжину носка:

$$l_n = 0,2 - \frac{0,2}{2,1} = 0,105 \text{ м}.$$

При цьому подача на ніж становить

$$s_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2}{4 \cdot 2,1} = 0,150i \text{ .}$$

Порівнявши  $s_0$  з  $l_n$ , знайдемо, що необроблених ділянок немає.

Таким чином, для виключення пропусків ротор з  $r = 0,2\text{м}$  і  $k = 4$  повинен працювати при  $\lambda \geq 2,1$ . Довжину  $l_n$  носка ножа в цьому випадку можна не збільшувати, оскільки при виникненні необробленої ділянки ґрунту у середині петлі, ґрунт буде руйнуватися хвилею деформації, яка поширюється в зоні руху ножа. Отже, остаточно приймаємо:

$$\lambda = 2,1;$$

$$l_n = 0,100\text{м}.$$

#### 4.6. Швидкість різання та частота обертання фрезерного барабана

Припускаючи, що агрегат працює з поступальною швидкістю  $v_n = 1 \text{ м/с}$ , знайдемо необхідну частоту обертання ротора.

Підставивши у формулу (4.4) відповідні значення, одержуємо:

$$\omega = \frac{Vn \cdot \lambda}{r} \quad (4.4)$$

$$\omega = \frac{1 \cdot 2,1}{0,2} = 10,5\text{с}^{-1}$$

або, знаходимо частоту обертання фрезерного барабана  $n$ :

$$n = \frac{30 \cdot 10,5}{3,14} = 1010\text{об/хв}$$

Колову швидкість ножів ротора можна знайти за формулою:

$$v_k = r\omega, \quad (4.5)$$

де  $v_k$  – колову швидкість ножів ротора, м/с;

$r$  – відстань ножа від центра обертання, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Підставивши у формулу (4.5) відповідні значення, одержимо:

$$v_k = 0,2 \cdot 10,5 = 2,1\text{м/с}.$$

Максимальна швидкість різання відповідає максимальній швидкості ножа, яка буде у точці  $A$ , у якій збігаються напрямки векторів колової та поступальної швидкостей.

Отже, максимальна швидкість різання, відповідно до формули (4.6), становить:

$$V_{aa} = V_n - r \cdot \omega \quad (4.6)$$

$$v_{a\bar{a}} = 1 + 0,2 \cdot 10,5 = 3,1 \text{ м/с}.$$

Мінімальна швидкість різання відповідає мінімальній швидкості ножа, яка буде у точці протилежній точці  $A$  (рис. 3.1), у якій напрямки векторів колової та поступальної швидкостей протилежно напрямлені.

Отже, мінімальна швидкість різання, відповідно до формули (4.6), становить:

$$v_{a\bar{a}} = 1 - 0,2 \cdot 10,5 = -1,9 \text{ м/с}.$$

Причому, тому що  $r\omega > v_n$ , то швидкість  $v_{a\bar{a}}$  в цьому випадку має від'ємне значення, тобто направлена в бік, протилежний напрямку поступального переміщення фрези.

#### 4.7. Визначення параметрів ножів ротора

На якість обробітку ґрунту фрезою з вертикальною віссю обертання, крім зазначених вище параметрів, дуже впливає кут встановлення ножів та вибір початкового кута різання ґрунту.

Кут різання ґрунту ножами фрези не є величиною сталою, а змінюється протягом оберту, і величина, на яку він змінюється, залежить від конструктивних та кінематичних параметрів фрези.

Знайдемо цю залежність. На рисунку 4.1 схематично показані кут різання та затилковий кут у рухомій і нерухомій системах координат.

Затилковий кут значно впливає на якість виконання технологічного процесу та його енергоємність.

Цей кут протягом усієї траєкторії має бути більший нуля і ні в якому разі не повинен біти від'ємним.

У рухомій системі координат  $хоу$  затилковий кут має постійне значення протягом усієї траєкторії його руху і дорівнює  $\varepsilon$ .

Рівняння руху будь-якої точки закріплення ножа в рухомій системі координат можна записати у такому вигляді:

$$\begin{aligned}x &= r \cos(\omega t + \gamma_i); \\y &= r \sin(\omega t + \gamma_i),\end{aligned}\tag{4.7}$$

де  $r$  – відстань даного ножа від центра обертання;

$\omega$  – кутова швидкість обертання фрези;

$\gamma_i$  – кут між віссю абсциси і напрямком на точку закріплення ножа.

Кутовий коефіцієнт дотичної до будь-якої точки траєкторії ножа в нерухомій системі координат знаходимо шляхом диференціювання рівняння (4.7):

$$K_1 = -\frac{\cos(\omega t + \gamma_i)}{\sin(\omega t + \gamma_i)},\tag{4.8}$$

Рівняння руху робочих органів фрези  $\phi$  нерухомій системі координат можна записати у такому вигляді:

$$\begin{aligned}x &= r \cos(\omega t + \gamma_i); \\y &= v_n t + r \sin(\omega t + \gamma_i),\end{aligned}\tag{4.9}$$

де  $r$  – відстань даного ножа від центра обертання;

$\omega$  – кутова швидкість обертання фрези;

$v_n$  – швидкість поступального переміщення фрези;

$\gamma_i$  – кут між віссю абсциси і напрямком на точку закріплення ножа.

Візьмемо похідну функції (4.9), заданої параметричними рівняннями, і відшукаємо кутовий коефіцієнт дотичної до траєкторії руху ножа в нерухомій системі координат:

$$K_2 = -\frac{v_n + r\omega \cos(\omega t + \gamma_i)}{r\omega \sin(\omega t + \gamma_i)}.\tag{4.10}$$

Якщо прийняти, що  $\frac{\omega r}{v_n} = \lambda$ , то рівняння (4.10) можна записати у такому вигляді:

$$K_2 = -\frac{1 + \lambda \cos(\omega t + \gamma_i)}{\lambda \sin(\omega t + \gamma_i)},\tag{4.11}$$

де  $\lambda$  – відношення колової швидкості диска фрези до поступальної швидкості руху агрегату.

Знайдемо тангенс кута, який лежить між двома дотичними, проведеними до однієї й тієї ж точки ножа в рухомій і нерухомій системах координат:

$$\tan \Theta = \frac{\sin(\omega t + \gamma_i)}{\cos(\omega t + \gamma_i) + \lambda}. \quad (4.12)$$

Це рівняння встановлює закономірність зміни затилкового кута ножа протягом одного оберту ротора фрези.

Знаходимо кут повороту диска фрези, при якому кут між дотичними  $\Theta$  буде максимальним. Для цього беремо похідну функції (4.12) за кутом повороту диска фрези:

$$\dot{\Theta} = \frac{\lambda \cos(\omega t + \gamma_i) + 1}{\lambda^2 + 2\lambda \cos(\omega t + \gamma_i) + 1}. \quad (4.13)$$

Прирівнюємо чисельник рівняння (4.13) до нуля і знаходимо  $\varphi$ , за якого  $\Theta$  досягає максимального значення:

$$\omega t + \gamma_i = \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) + 2k\pi, \quad (4.14)$$

де  $k = 0; 1; 2; 3 \dots$

Якщо прийняти, що початкове положення ножа збігається з віссю  $x$  і при цьому  $\gamma = 0$ , то:

$$\omega t = \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) + 2k\pi. \quad (4.15)$$

З рівняння (4.14) виходить, що кут повороту диска фрези, за якого кут  $\Theta$  буде максимальним, залежить від співвідношення між коловою і поступальними швидкостями.

Кут  $\Theta$  зростає до максимального значення при повороті ротора фрези на кут  $\omega t = \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right)$ , а потім зменшується до мінімуму, переходячи через нуль, і знову зростає.

Значення кута повороту диска фрези, при якому кут  $\Theta$  досягає максимуму, з рівняння (4.14) підставимо у рівняння (4.12). Тоді одержимо:

$$\Theta_{\max} = \arctan \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 - 1}}. \quad (4.16)$$

Виразимо у рівнянні (4.16) коефіцієнт  $\lambda$  через поступальний рух агрегату й оберти диска фрези:

$$\Theta_{\max} = \arctan \frac{30v_n}{\sqrt{\pi r n^2 - (30 - v_n)^2}}, \quad (4.17)$$

де  $\Theta_{\max}$  – максимальна величина кута, на яку змінюється затилковий кут, рад;

$r$  – відстань даного ножа від центра обертання, м;

$n$  – частота обертання ротора фрези, об/хв;

$v_n$  – швидкість поступального переміщення фрези, м/с.

Підставивши у формулу (4.17) відповідні значення, одержуємо:

$$\Theta_{\max} = \arctan \frac{30 \cdot 1}{\sqrt{3,14 \cdot 0,2 \cdot 101^2 - (30 - 1)^2}} = 0,38 \text{ рад або } 22 \text{ градуси.}$$

При збільшенні швидкості обертання ротора фрези величина, на яку збільшується затилковий кут, зменшується, і навпаки.

Для того щоб при роботі фрези затилковий кут був більший нуля і ніж тильним боком не торкався стінки борозни, значення його повинно відповідати таким вимогам:

$$\varepsilon = \Theta_{\max} + \Delta\varepsilon, \quad (4.18)$$

де  $\varepsilon$  – затилковий кут, рад;

$\Theta_{\max}$  – максимальна величина кута, на яку змінюється затилковий кут, рад;

$\Delta\varepsilon$  – поправочний кут, який залежить від ширини леза ножа та його конфігурації, рад.

Приймаємо значення  $\Delta\varepsilon = 0,12$  рад або 7 градусів. Підставивши у формулу (4.18) відповідні значення, одержуємо:

$$\varepsilon = 0,38 + 0,12 = 0,5 \text{ рад або } 29 \text{ градусів.}$$

Величина затилкового кута протягом повного оберту диска фрези буде змінюватись, і його значення в будь-якій точці траєкторії ножа можна обчислити, користуючись таким виразом:

$$\varepsilon_i = \Theta_{\max} + \Delta\varepsilon - \Theta_i. \quad (4.19)$$

Після підстановки значень  $\Theta_{\max}$  і  $\Theta_i$  з виразів (4.12) та (4.16) при  $\gamma_i = 0$  одержимо:

$$\varepsilon_i = \arctan \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} - \arctan \frac{\sin \omega t}{\cos \omega t + \lambda} + \Delta\varepsilon. \quad (4.20)$$

Мінімальне значення затилкового кута дорівнює  $\Delta\varepsilon$  при повороті точки закріплення ножа на кут  $\omega t = \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right)$ , а максимальне – при зворотному ході ножа дорівнює  $2\arctan\frac{1}{\lambda^2-1} + \Delta\varepsilon$ . При збільшенні  $\lambda$  різниця між  $\varepsilon_{max}$  і  $\varepsilon_{min}$  зменшується і при достатньо великих  $\lambda$  стає майже непомітною. Отже, умови різання ґрунту при збільшеній кількості обертів ротора фрези поліпшуються, але із збільшенням кількості обертів зростають відцентрові сили, які розпилюють та розкидають ґрунт по боках. Розкидання ґрунту по боках може відбуватися і від того, що на ділянках траєкторії з дуже малою кривизною ніж, залежно від його ширини, може тильним боком тертися об стінку борозни.

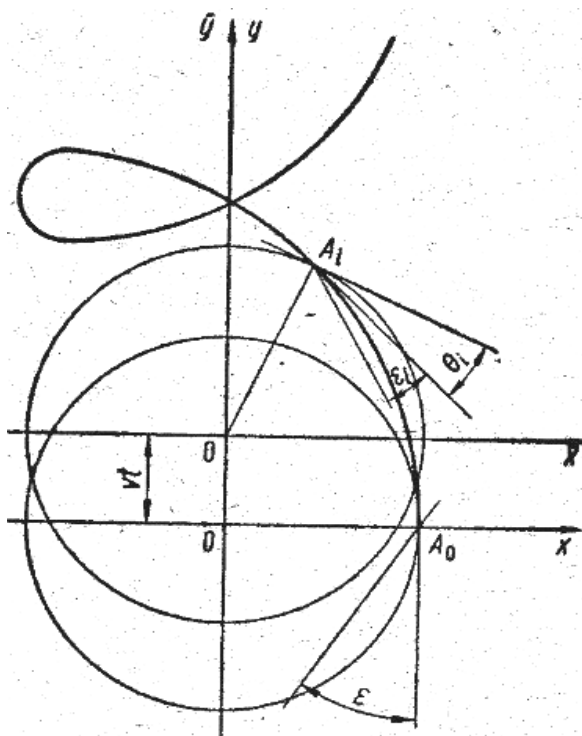


Рис. 4.1. Схема до визначення кута встановлення ножів і затилкового кута під час руху

Оптимальну ширину ножа фрези з вертикальною віссю обертання визначають, виходячи з того, що на траєкторії його руху на ділянках з дуже малою кривизною ніж не торкався стінок борозни.

Ширину ножа визначають за формулою:

$$b = 2r \sin \varepsilon . \quad (4.21)$$

Якщо у вираз (4.21) замість  $\varepsilon$  підставити його значення з формули (4.18) та значення  $\Theta_{max}$  з формули (4.16), то одержимо [14]:

$$b = 2r \sin \left( \arctan \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} + \Delta\varepsilon \right), \quad (4.22)$$

де  $b$  – ширина ножа, мм;

$r$  – відстань ножа від центра обертання, мм;

$\lambda$  – кінематичний параметр;

$\Delta\varepsilon$  – поправочний кут, який залежить від ширини леза ножа та його конфігурації, рад.

Підставивши у формулу (4.22) відповідні значення, одержуємо:

$$b = 2 \cdot 200 \cdot \sin \left( \arctan \frac{1}{\sqrt{2,1^2 - 1}} + 0,12 \right) = 192 \text{ мм}.$$

Отже, щоб ніж не торкався стінок борозни під час руху фрези, його ширина має бути не більшою 192 мм. Виходячи з цього приймаємо  $b = 40$  мм.

## **РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФРЕЗЕРНОГО МУЛЬЧУВАЧА З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ**

### **5.1. Технічні характеристики лабораторно-польового зразка фрезерного мультчувача та методика проведення досліджень**

Лабораторно-польовий зразок фрезерного мультчувача складається з рами, пристрою для автоматичного введення і виведення вертикально-фрезерного робочого органу із ряду, двох редукторів, вертикального ротора із змінними ножами, гідророзподільника і оливного баку.

Конічний редуктор з гідравлічним насосом і розподільником (запозичені від фрези ФА-0.76), передають крутний момент від ВВП трактора через карданну передачу на проміжний конічний редуктор, останній через ланцюгову передачу передає крутний момент безпосередньо на робочий орган.

Для регулювання глибини обробітку фрезерний мультчувач обладнаний опорним башмаком(Рис.5.1)



Рис.5.1.Фрезерний мультчувач з вертикальною віссю обертання

## Технічна характеристика

Конструктивна ширина захвату, м .....	0.75
Привод.....	ВВП трактора
Робоча швидкість, км/год.....	3-5
Основні габаритні розміри, мм	
довжина .....	3800
ширина .....	1700
висота по робочому органу .....	450
бокове зміщення .....	3000

### Основні параметри вертикального фрезерного робочого органу

Діаметр ротора по кінцях ножів, м .....	0,8
Ножі – змінні, L – подібні, кількість .....	4шт.
Довжина відігнутої частини ножа, мм.....	85
Частота обертання ротора, $\text{хв}^{-1}$ .....	80, 120, 160, 200

Дослідження процесу обробітку пристовбурно-міжстовбурних смуг проводились в яблуневому саду під час літнього і осіннього обробітку ґрунту.

Схема посадки саду 6x4 і 7x5 м. Сад повновіковий, крона дерев в більшості випадків зімкнена в ряду. Світловий коридор в міжряддях – 2 м. Сортовий склад насаджень слідуєчий: Кальвіль сніговий, Джонатан, Мекінтош. Внаслідок різноманітності сортового складу, розмірні характеристики дерев різняться між собою.

Для більш повного уявлення про розмірні характеристики дерев були проведені заміри слідуєчих величин: діаметр крони  $D_k$ , висота дерева  $H$ , діаметр штамба дерева  $d$ , висота штамба  $h_1'$ , мінімальна віддаль між гілками і поверхнею ґрунту  $h_2'$ .

Для вимірювання було вибрано 100 дерев. Результати отримані при обробці даних замірів вищезгаданих величин приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Характеристика основних розмірів плодкових дерев

Назва розмірів	Значення розмірів		
	мінімальні	середні	максимальні
Діаметр крони дерева $D_k$ , м	2,70	4,25	5,31
Висота дерева $H$ , м	3,1	3,58	4,26
Діаметр штамба $d$ , см	10,14	15,72	21,3
Висота штамба дерева $h_1'$ , см	38	41	76
Мінімальна віддаль між гілками і поверхнею ґрунту $h_2'$ , см	250	375	680

Як видно з таблиці 5.1, розміри дерев коливаються, але в більшості випадків вони забезпечують безперешкодний рух агрегату для обробітку міжстовбурних смуг без пошкодження гілок.

Проведені заміри ширини необроблених міжстовбурних смуг, середнє значення якої на досліджуваних ділянках – 126,5 см.

Забур'яненість ділянок на дослідних ділянках оцінювали кількістю бур'янів на 1 м<sup>2</sup>. Середнє її значення – 245 шт/м<sup>2</sup>. Вологість ґрунту в горизонтах 0 – 5; 5 – 10; 10 – 15 см відповідно складала – 8,14; 8,65 і 7,47%. Щільність ґрунту в горизонтах – 0,25; 0,82; 1,59 МПа.

Обробіток ґрунту проводили на глибину 8 – 10 см, розрахункова ширина захвату фрези – 0,8 м.

Під час проведення досліджень проводили заміри ряду величин, необхідних для оцінки агротехнічних показників. Заміри проводились в п'ятикратній повторності, а потім оброблялись статистично.

Експериментальні дослідження ми провели за наступною програмою:

1. Зробили оцінку з точки зору агротехніки та енергетики двох способів обробітку пристовбурних смуг вертикальною фрезою:

- а) коли ножі фрези виглибленні в задній половині кола, описуваного ними у відносному русі;
- б) коли вони залишаються у ґрунті весь час.

2. Визначили оптимальні (з точки зору якості виконання технологічного процесу, енергетичних затрат і зменшення розкидання ґрунту) форму ножа і кут його встановлення.

3. Визначили допустимі значення швидкості руху агрегату, величину подачі на ніж, при умові дотримання агротехнічних вимог (розкидання ґрунту, повнота зрізування бур'янів).

4. Порівняли експериментальний зразок фрези з вертикальною віссю обертання і фрези ФА-0,76 по розпилу ґрунту, якості знищення бур'янів, енергоємності і продуктивності праці.

В першій серії дослідів ставилося за мету вибрати найбільш раціональний варіант заглиблення ножів. Критерієм оцінки були енергетичні затрати і якість виконання технологічного процесу. Геометричні параметри були постійними і близькими до середніх, які були визначені під час пошукових дослідів (глибина обробітку  $h = 8$  см, діаметр ротора експериментального зразка фрези  $D = 400$  мм, кут встановлення ножів  $\gamma = 30^\circ$ , кут різання  $\alpha = 35^\circ$ , кут нахилу вертикальної осі обертання  $\beta = 12^\circ$ , ножі L-подібні вигнуті назовні).

## **5.2. Результати експериментальних досліджень**

В процесі дослідів були проведені заміри швидкості руху агрегату, частоти обертання ВВП, а також висота нагортання бугорків, повнота знищення бур'янів.

У всіх дослідах робили оцінку ступеня рихлення ґрунту, знімали профілі поверхні зрихленої смуги, визначали вологість і щільність ґрунту. Крутний момент, потужність, яка витрачається, і тягове зусилля, через те що їх вимірювання мало на меті тільки порівняти способи встановлення вертикального валу обертання з точки зору енергоємності процесу, визначалися тільки при одному режимі ( $n = 1.9 \text{ c}^{-1}$  і  $V = 0.54 \text{ м/с}$ ).

Дані дослідів дозволили оцінити, що раціональним способом установки вала обертання фрези являється спосіб, коли вісь обертання перпендикулярна поверхні обробітку. При такому способі установки крутний момент та загальні витрати потужності на 10...15 % більші проти способу коли  $\beta=12^\circ$ , але при

виборі способу установки вертикального валу фрези, слід віддавати перевагу тому, при якому менше змінюється профіль обробленої смуги ґрунту.

Крутний момент на валу фрези зростає, досить інтенсивно, із збільшенням швидкості різання, та дещо зменшується, при збільшенні кута встановлення.

Аналогічно змінюються затрати потужності.

Вирівняність мікрорельєфу впоперек обробленої смуги ґрунту покращується при збільшенні кута установки ножа, погіршується при збільшенні швидкості різання.

Дослідження показали, що оптимальний кут встановлення ножа  $\gamma=20^\circ$ .

Найбільш якісне підрізання бур'янів забезпечує L-подібний ніж фрези. Такий ніж встановлюють на ротор фрези відігнутою частиною до середини осі обертання, або назовні. Очевидно, що при заданій ширині захвату у першому випадку радіус ротора буде більший на довжину відігнутої частини ножа, в порівнянні з L-подібним ножем вигнутим назовні. Експерименти показали, що при встановленні ножів відігнутою частиною всередину, збільшується розкидання ґрунту. Отже оптимальний спосіб встановлення – відігнутою частиною назовні.

Глибину обробітку визначали профілюванням поверхні пристовбурних смуг до обробітку дна борозни і після проходу фрези за допомогою рейки профілометра.

Результати досліджень рівномірності глибини ходу ножів фрези наведені в таблиці 5.2. Спостерігається варіювання глибини обробітку ґрунту в залежності від швидкості агрегату. Так, при  $V=1\text{ м/с}$  коефіцієнт варіації – 26,4%.

Таблиця 5.2. Рівномірність глибини обробітку міжстовбурних смуг вертикальним фрезерним мульчувачем

Швидкість агрегату, $V$ , м/с	Показники обробітку ґрунту				
	$h_{сер}$ , см	$\pm\sigma$	$\pm m$	$V\%$	$P\%$
0,5	9,24	1,92	0,37	21,2	2,95
0,75	9,36	2,02	0,41	24,8	3,07
1,00	8,75	2,15	0,38	26,4	3,22
1,25	9,48	2,34	0,44	25,6	3,31
1,5	9,82	2,27	0,46	23,8	2,28

Під час досліджень визначали профіль поверхні ґрунту до проходження агрегату і після обробітку ґрунту за допомогою координатної рейки. Заміри ординат проводили через кожні 5см і заносили в таблицю. По результатах замірів побудовані профілі поверхні ґрунту після проходу лабораторно-польового зразка фрези.

Як видно із рис. 5.2, профіль обробленої поверхні ґрунту змінюється. Спостерігається нагортання з лівого боку смуги в напрямку руху агрегату і впадина з правого боку, тобто по осі ряду. При збільшенні швидкості руху і числа обертів фрези збільшується і розгортання ґрунту.

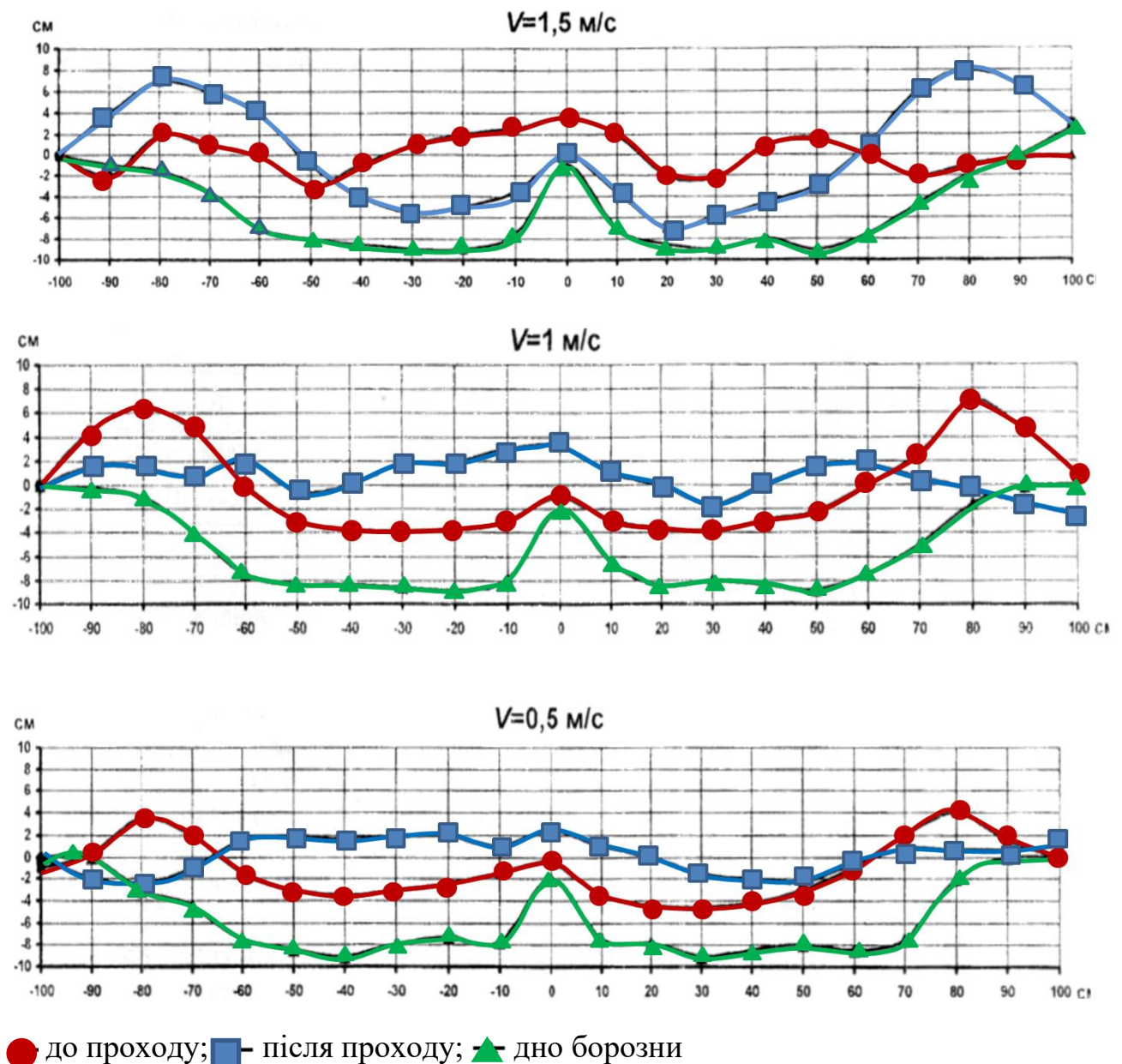


Рис. 5.2. Профіль поверхні міжстовбурної смуги після двох проходів фрезерного мульчувача

В період лабораторно-польових досліджень проведені порівняльні випробування розробленого фрезерного мульчувача з вертикальною віссю обертання і фрези ФА-0,76. В результаті визначені слідуочі техніко-економічні і агротехнічні показники (табл. 5.3).

Таблиця 5.3. Техніко-економічні і агротехнічні показники при обробітку між стовбурних смуг в саду

Показники	ФА – 0,76	Лабораторно – польовий зразок фрезерного мульчувача
Швидкість руху, км/год	4	5
Частота обертання ротора, об/хв.	300	80...200
Продуктивність, га/год	0,18	0,22
Площа захисної зони, м <sup>2</sup>	0,4	0,36
Перепад при зміні профілю, см	0...6	5...15

Досліди показали, що більшість показників технологічного процесу близькі для обох фрез. Однак поступальна швидкість в лабораторно-польового зразка фрезерного мульчувача, дещо вища. Основним недоліком вертикальної фрези є те, що вона розгортає ґрунт і робить заглиблення вздовж ряду дерев.

Результати досліджень показали, що підвищення поступальної швидкості агрегату до 5 км/год і більше стримує значна зміна рельєфу.

## РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРЕЗЕРНОГО МУЛЬЧУВАЧА

Розрахунок експлуатаційних витрат проводять за формулою:

$$U = Z + A + P_{кр} + P_{пр} + \Gamma + I, \quad (6.1)$$

де  $A$  – затрати на реновацію, грн/га;

$Z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн/га;

$P_{кр}$  – затрати на капітальний ремонт, грн/га;

$P_{пр}$  – затрати на поточний ремонт, грн/га;

$\Gamma$  – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га;

$I$  – інші витрати, грн/га.

Заробітна плата визначається за формулою:

$$Z = \frac{L \cdot Z_2}{W_2}, \quad (6.2)$$

де  $L$  – кількість обслуговуючого персоналу;

$Z_2$  – годинна ставка обслуговуючого персоналу, грн/год;

$W_2$  – годинна продуктивність машини, га/год.

Годинну продуктивність знаходимо за формулою:

$$W_{21} = 0,1V_p B_p \tau \psi, \quad (6.3)$$

де  $W_{21}$  – годинна продуктивність розроблюваної фрези, га/год;

$V_p$  – робоча швидкість руху, км/год;

$B_p$  – робоча ширина захвату, м;

$\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни;

$\psi$  – коефіцієнт, який дорівнює відношенню ширини міжрядь саду до ширини оброблюваної пристовбурної смуги.

Робоча швидкість руху знаходять за формулою:

$$V_p = V_m \eta_\delta, \quad (6.4)$$

де  $V_m$  – теоретична швидкість руху, км/год;

$\eta_\delta$  – коефіцієнт, який враховує втрати на буксування.

Теоретична швидкість руху на другій передачі, відповідно до технічної характеристики трактора Т-25, становить 4,39 км/год.

Коефіцієнт  $\eta_\delta$  визначається за формулою:

$$\eta_\delta = 1 - \delta, \quad (6.5)$$

де  $\delta$  – допустимі втрати на буксування.

Для тракторів з колісною формулою 4к2  $\delta = 0,18$ .

Підставивши у формулу (6.5) відповідні значення, одержимо:

$$\eta_\delta = 1 - 0,18 = 0,82.$$

За формулою (6.4) знаходимо робочу швидкість руху агрегату:

$$V_p = 4,39 \cdot 0,82 = 3,6 \text{ км/год}.$$

Робоча ширина захвату фрези становить 0,75 м.

Коефіцієнт використання часу зміни  $\tau$  приймаємо 0,85.

Для ширини міжрядь 6 м  $\psi = 4$ .

Підставивши у формулу (6.3) відповідні значення, одержимо:

продуктивність існуючої фрези

$$W_{\epsilon 1} = 0,1 \cdot 3,6 \cdot 0,75 \cdot 0,85 \cdot 4 = 0,92 \text{ га/год}$$

продуктивність нової фрези

$$W_{\epsilon 2} = 0,1 \cdot 4,2 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 4 = 1,14 \text{ га/год}$$

Підставляємо у формулу (6.2) відповідні значення і одержуємо заробітну плату для розроблюваної фрези:

$$z_1 = \frac{1 \cdot 18,5}{0,92} = 20,1 \text{ грн/га}.$$

З технічної характеристики фрези ФА-0,76 знаходимо  $W_{\epsilon 2} = 0,60$  га/год.

Значення заробітної плати для фрези ФА-0,76 знаходимо за формулою (6.2):

$$z_2 = \frac{1 \cdot 18,5}{0,60} = 30,8 \text{ грн/га}.$$

Відрахування на реновацію підраховуються за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{T \cdot W_\epsilon}, \quad (6.6)$$

де  $B$  – балансова вартість машини, грн;

$a$  – коефіцієнт відрахувань на реновацію;

$T$  – річне завантаження машини, год.

Підставивши відповідні значення з таблиці у формулу (6.6), одержимо:

для розроблюваної фрези:

$$A_1 = \frac{22000 \cdot 0,142}{400 \cdot 1,14} = 6,85 \text{ грн/га};$$

для фрези ФА-0,76:

$$A_2 = \frac{25000 \cdot 0,142}{400 \cdot 0,92} = 9,6 \text{ грн/га}.$$

Відрахування на поточний та капітальний ремонт знаходять за формулою:

$$P = \frac{B \cdot (p_{np} + p_{кр})}{T \cdot W_z}, \quad (6.7)$$

де  $p_{np}$  і  $p_{кр}$  – коефіцієнт відрахувань, відповідно, на поточний та капітальний ремонт.

Підставивши відповідні значення з таблиці у формулу (6.7), одержимо:

для розроблюваної фрези:

$$P_1 = \frac{2200 \cdot 0,12}{400 \cdot 1,14} = 5,7 \text{ грн/га};$$

для трактора Т-25, який працює з розроблюваною фрезою:

$$P_{1T-25} = \frac{55000 \cdot 0,22}{400 \cdot 1,14} = 26,5 \text{ грн/га};$$

Сумарні відрахування на поточний та капітальний агрегату Т-25+ розроблювана фреза:

$$P_{\Sigma 1} = 5,7 + 26,5 = 32,2 \text{ грн/га};$$

для фрези ФА-0,76:

$$P_2 = \frac{25000 \cdot 0,12}{400 \cdot 0,92} = 8,10 \text{ грн/га};$$

для трактора Т-25, який працює з фрезою ФА-0,76:

$$P_{2T-25} = \frac{55000 \cdot 0,22}{400 \cdot 0,92} = 32,8 \text{ грн/га};$$

Сумарні відрахування на поточний та капітальний агрегату Т-25+ +фреза ФА-0,76:

$$P_{\Sigma 2} = 8,10 + 32,8 = 40,9 \text{ грн/га}.$$

Витрати на паливно-мастильні матеріали підраховуються за формулою:

$$Г = g \cdot Ц, \quad (6.8)$$

де  $g$  – витрати ПММ на 1 га, кг/га;

$C$  – ціна 1 кг ПММ, грн/кг.

Середня ціна за 1 кг ПММ становить 6 грн/кг. Підставивши відповідні значення у формулу (6.8), одержимо:

для розроблюваної фрези:

$$G = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ грн/га};$$

для фрези ФА-0,76:

$$G = 1,10 \cdot 6 = 6,60 \text{ грн/га}.$$

Приймаємо, що інші витрати  $I$  дорівнюють нулю.

Знаходимо експлуатаційні витрати за формулою (6.2):

для розроблюваної фрези:

$$U_1 = 20,1 + 6,85 + 32,2 + 6,3 = 64,45 \text{ грн/га};$$

для фрези ФА-0,76:

$$U_2 = 30,8 + 9,6 + 40,9 + 6,6 = 87,9 \text{ грн/га}.$$

Приведені витрати розраховуються за формулою:

$$P = U + K_{нк} \cdot E_n, \quad (6.9)$$

де  $U$  – питомі витрати, грн/га;

$K_{нк}$  – питомі капіталовкладення, грн/га;

$E_n$  – коефіцієнт ефективності.

Питомі капіталовкладення розраховуються за формулою:

$$K_{нк} = \frac{B}{T \cdot W_2}, \quad (6.10)$$

Підставивши відповідні значення з таблиці 3 у формулу (6.10), одержимо:

для розроблюваної фрези:

$$K_{нк1} = \frac{22000}{400 \cdot 1,14} = 48,2 \text{ грн/га};$$

для фрези ФА-0,76:

$$K_{нк2} = \frac{25000}{400 \cdot 0,92} = 67,90 \text{ грн/га}.$$

Коефіцієнт ефективності дорівнює 0,15.

Підставивши у формулу (6.9) відповідні значення, одержимо:

для розроблюваного фрезерного мульчувача:

$$П_1 = 65,45 + 48,2 \cdot 0,15 = 72,68 \text{ грн/га};$$

для фрези ФА-0,76:

$$П_2 = 87,9 + 67,9 \cdot 0,15 = 98,1 \text{ грн/га}.$$

Річний економічний ефект розраховується за формулою:

$$E_p = (П_2 - П_1)S, \quad (6.11)$$

де  $S$  – річне завантаження, га.

Підставивши у формулу (6.11) відповідні значення, одержимо:

$$E_p = (98,1 - 72,68) \cdot 100 = 2542 \text{ грн}.$$

Результати підрахунків були занесені в таблицю 6.1.

Таблиці 6.1. Показники економічної ефективності

Назва показників	Одиниці виміру	ФА – 0,76	Розроблений фрезерний мульчувач
Склад агрегату		Т-25+ФА – 0,76	Т-25+мульчувач
Кількість обслуговуючого персоналу	Чол.	1	1
Продуктивність	Га/год	0,92	1,14
Балансова вартість Фрези Трактора	Грн.	95000 230000	80000 230000
Нормативне річне навантаження	Год	400	400
Річний об'єм роботи	Га	60	60
Витрата ПММ	Кг/га	1,1	1,05
Годинна ставка тракториста	Грн./год	18,5	18,5
Норма відрахувань на реновацію фрези	%	14,2	14,2
Нормативний коефіцієнт ефективності		0,15	0,15

## ВИСНОВКИ

1. Садові фрези призначені для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах інтенсивного саду з шириною міжрядь від 4 до 6 м. 3. Найбільш поширена в наших садівничих господарствах фреза садова ФА-0.76.

4.. Оптимальні параметри вертикальної фрези:

- діаметр одного ротора 400мм;
- частота обертання роторів 200 об/хв;
- кількість ножів 4 шт;
- швидкість різання 3...5м/с;
- ширина ножа фрези 85 мм.

8. На якість обробітку ґрунту фрезою з вертикальною віссю обертання, крім зазначених вище параметрів, дуже впливає кут встановлення ножів та вибір початкового кута різання ґрунту.

9. Доцільною формою вертикальної фрези для обробітку між стовбурних смуг являється циліндричний ротор.

10. Найбільш якісне підрізання бур'янів забезпечує L-подібний ніж фрези.

11. Вирівняність мікрорельєфу впоперек обробленої смуги ґрунту покращується при збільшенні кута установки ножа, погіршується при збільшенні швидкості різання.

12. Підвищення поступальної швидкості агрегату до 5 км/год і більше стримує значна зміна рельєфу. Уникнути цього недоліка можна, розробивши вертикальну фрезу з двома або трьома роторами.

13. Встановлено, взаємодію щупа зі штамбом дерева. Основною умовою зменшення статичної складової є зменшення зусиль перемикання золотника гідро розподільника і жорсткість пружини повернення щупа, а динамічної складової- зменшення кінетичної енергії щупа.

14. Економічний розрахунок доводить, що нова фреза має значні переваги над фрезою ФА-0.76. Збільшується річний об'єм робіт, затрати праці зменшуються майже на 15%. В цілому сумарний економічний в рік досягає майже 2542 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ветошкін А.Г. Нормативне і технічне забезпечення безпеки життєдіяльності. Навчально-практичний посібник: В 2-х ч. Ч.2. Інженернотехнічне забезпечення безпеки життєдіяльності/ А.Г. Ветошкін. - М.: Інфраінженерія, 2017. - 652 с.
2. . 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.
3. 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.
4. Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г. Машина для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / за ред. Сало В.М. –Х.: Мачулін, 2016. –244 с
5. Застосування способів основного обробітку ґрунту в сівозмінах/ В.М.Кабанець, М.Г.Собко, О.В.Радченко/під ред. М.Г. Собка. Сад, 2015. 16 с.
6. Надикто В. Оранка: міфи та реалії // Агробізнес сьогодні. 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http:// agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html](http://agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html)
7. . Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посібник / М. С. Чернілевський, Ю. А. Білявський, Р. Б. Кропивницький, Л. І. Ворона. – вид. 2-ге, допов. – Житомир: Вид-во ЖНАЕУ, 2012. – 84 с.
8. Дьянго Хегглі, Моріс Клерк, Хансуелі Дірауер Мінімальний обробіток ґрунту (Reduzierte Bodenbearbeitung): Підручник.- FiBL Ukraine, 2016. - 316с
9. 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.

10. 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.
11. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін., за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
12. Економіка сільського господарства : навч. посіб. / [Збарський В.К. Бабієнко М.Ф., Кулаєць М.М., Синявська І.М., Хоменко М.П.] ; за ред. проф В. К. Збарського. К.: Агроосвіта, 2013. 352с.
13. Сільськогосподарські машини: підручник / [Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Іщенко та ін.]; за ред. Д. Г. Войтюка. — Київ : Агроосвіта, 2015. — 679 с.
14. Агробізнес України – 2014 [Електронний ресурс] // Інфографічний довідник : [сайт]. – Режим доступу: <http://agrex.gov.ua/wp-content/uploads/Infografika-silskogo-gospodarstva-Ukrayini-vid-BakerTilly-ta-Latifundist.pdf>.
15. Екологічні проблеми землеробства : Підручник . [В.П.Гудзь., І.П. Рихлівський, М.Ф.Рибак та ін.] – Житомир : Полісся України , 2010 – 740с.
16. Сучасні системи землеробства України. Навчальний посібник. Вінниця : ФОП Данилюк В.Г., 2009.- 256с.
17. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / [Рудь А. В., Бендера І. М., Войтюк Д. Г. та ін.] ; за ред. А. В. Рудя. – Київ : Агроосвіта, 2012. – 584 с.
18. Квашук О. В. Сучасні інтенсивні технології вирощування с.-г. культур / О. В. Квашук. – Кам'янець-Подільський : Абетка, 2008.
19. Халанський В. М. Сільськогосподарські машини / В. М. Халанський, І. В. Горбачов. - М. : Колос, 2006.
20. Деталі машин. Проектування елементів механічних приводів : навч. посіб. / В. О. Малащенко, В. В. Янків. Львів : Новий Світ-2000, 2013. 264с.

21. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2 / О.І. Сідашенко, та інші/ За ред. О.І.Сідашенко, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 491с
22. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, П.Г. Лузан, Ю.В. Мачок, Д.В. Богатирьов – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.
23. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві [Текст] / В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК – Дослідницьке: УКРНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
24. Сало В.М. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, В.А. Пашинський, Р.В. Ярових // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2015. – Вип. 45, Ч.1 – С. 126-132
25. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.
26. Лещенко С.М. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 156 – С. 25–34.
27. Лещенко С.М. Вплив конструктивних параметрів чизельної лапи глибокорозпушувача на деформацію ґрунту [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко, І.О. Лісовий // Вісник Українського відділення

Міжнародної академії аграрної освіти – Вип. 4. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – С. 115-124.

28. Сало В. Технічне забезпечення процесів глибокого розпушування ґрунту [Текст] / В. Сало, С. Лещенко // Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. Інформаційний щомісячник. – 2015. – № 10. – С.122-124.

29. Vasytkovska K.V. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting [Text]/ Vasytkovska K.V.; Leshchenko S.M.; Vasytkovskyi O.M.; Petrenko D.I. // INMATEH-Agricultural Engineering. – Vol.50 No.3, 2016 – P.13-20 ref.18.

30. Лещенко С. М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Вип. №4 (103) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 31-37.

31. Сало В.М. Нова конструкція чизельного глибокорозпушувача-удобрювача [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.І. Шевченко // Сільськогосподарські машини: Зб. наук .ст. – Вип. 36. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2017. – С. 150-157.

32. Головач І. В. Теорія безпосереднього вилучення коренеплоду з ґрунту при вібраційному викопуванні / І. В. Головач // Механізація с.-г. виробництва: Вісник Харківського нац. техн. ун-ту с.-г. ім. П. Василенка : зб. наук. пр. – 2006. – Вип. 44. – Т. 2. – С. 77–100.

33. Гуменюк Ю.О. Визначення амплітуди коливань вібраційного ґрунтообробного робочого органу / Юрій Олегович Гуменюк, Володимир Петрович Ковбаса, Ігор Миколайович Сівак // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – Т. 34. – С. 132–137.

34. Гуменюк Ю.О. Алгоритм вибору раціональних параметрів підвіски вібраційної розпушувальної лапи культиватора / Юрій Олегович Гуменюк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і

природокористування України. Серія : «Техніка та енергетика АПК». – К.: НУБіП України, 2010. – Вип. 144, – ч. 2. – С. 333–337.

35. Гуменюк Ю.О. До питання визначення фізико-механічних властивостей ґрунту / Юрій Олегович Гуменюк, Володимир Петрович Ковбаса // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : «Техніка та енергетика АПК». – К.: НУБіП України, 2010. – Вип. 144, ч. 5. – С. 56–61.

36. Ковбаса В.П. Механіко-технологічне обґрунтування оптимізації взаємодії робочих органів з ґрунтом : дис. ... докт. техн. н. техн. наук: 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / Володимир Петрович Ковбаса.– К., 2006. – 299 с.

37. Ковбаса В.П. Переміщення та деформації середовища перед робочим органом у просторі / Володимир Петрович Ковбаса // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ, 2003. – Вип. 60. – С. 198–203.

38. Ковбаса В.П., Чаусов М.Г., Швайко В.М. Метод визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості об'ємних деформацій ґрунту // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 80, ч. 1. – С. 267–271.

39. Ковбаса В.П. Розподіл тиску по поверхні робочого органу / Володимир Петрович Ковбаса, Дмитро Григорович Войтюк, Юрій Олегович Гуменюк // Аграрна освіта і наука. – 2004. – №1-2. – Т. 5. – С. 92–99.

40. Ковбаса В.П. Залежності реологічних властивостей ґрунту від параметрів його стану / Володимир Петрович Ковбаса, Дмитро Григорович Войтюк, Юрій Олегович Гуменюк // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – № 8.

41. Сучасні системи землеробства України. Навчальний посібник. Вінниця : ФОП Данилюк В.Г., 2009.- 256с.

42. Гудзь В.П., Примак І.Д., Будьонний Ю.В., Танчик С.П. Землеробство: Підручник. 2-е вид. перероб. та доп. За ред. В.П.Гудзя. - К.: Центр учбової літератури. 2010. 446с.
43. Екологічні проблеми землеробства : Підручник . [В.П.Гудзь., І.П. Рихлівський, М.Ф.Рибак та ін.] – Житомир : Полісся України , 2010 – 740с.
44. Солоха М. Спектральний аналіз урожайності / М. Солоха // FARMER. - 2011. - № 12 (Грудень). - С. 86-87.
45. Дем'яненко С. І. Інноваційне зростання – основа стабільності агропромислового комплексу / С. І. Дем'яненко // Наука та інновації. Сільськогосподарські і аграрні технології. – 2005. – Т. 1. – Вип. 1. – С. 87–98. (DOI: 10.15407).
46. Інноваційні трансформації аграрного сектора економіки : [монографія] / [О. В. Шубравська, Л. В. Молдован, Б. Й. Пасхавер та ін.] ; за ред. д-ра екон. наук О. В. Шубравської ; НАН України, Ін-т екон. та прогнозув. – К., 2012. – 496 с.
47. Крачок Л. І. Новітні технології в сільському господарстві: проблеми і перспективи впровадження [Електронний ресурс] / Л. І. Крачок // Сталий розвиток економіки. Міжнародний науково-виробничий журнал. – 2013. – № 3.
48. Стрип-тілл": шляхом проб і помилок [Електронний ресурс] // Український журнал з питань агробізнесу "Пропозиція". – 2015. – № 2.
49. Циганенко М., Макаренко М. Система точного землеробства економить ваші гроші. Пропозиція. 2017. № 2. С. 56–60.
50. Петренко І. Точне землеробство – мода чи культ?. Агробізнес сьогодні». 28.07.2017. URL: <http://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2556-tochne-zemlerobstvo-moda-chy-kult.html>