

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

«ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В САДАХ»

Виконав:

здобувач освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми
«Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

ГОРДІЙЧУК Богдан Ярославович

Керівник:

к.т.н., доцент

ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« _____ » _____ 2025р.

Допускається до захисту:

« _____ » _____ 2025р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ **ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙОЇ РОБОТИ.....	4
АНОТАЦІЯ.....	5
РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕНЬ.....	10
1.1. Способи утримання ґрунту в плодкових насадженнях.....	10
1.2. Аналіз існуючих засобів механізації обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень.....	13
1.2.1. Машини з пасивними робочими органами.....	13
1.2.2. Машини з активними робочими органами.....	20
Висновки до першого розділу.....	37
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ТА ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ.....	38
2.1. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми фрезерної машини.....	38
2.2. Розроблення математичної моделі процесу взаємодії ґрунту з робочими органами фрезерної машини, які обертаються навколо вертикальної осі.....	40
2.2.1. Обґрунтування параметрів напрямної лінії поверхні робочого органу.....	40
2.2.2. Визначення відносної швидкості руху частки ґрунту по поверхні ножа під дією сил.....	42
2.2.3. Обчислення відносних швидкостей часток ґрунту по поверхні ножа і аналіз динамічних характеристик їх руху.....	43
2.2.4. Визначення дальності відкидання частки ґрунту ножем.....	47
2.2.5. Аналіз динамічних характеристик взаємодії ґрунту з поверхнею робочого органу.....	50

Висновки до розділу.....	52
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	54
3.1. Лабораторні дослідження з визначення змін агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень під дією води із систем штучного зрошення.....	54
3.1.1. Методика лабораторного дослідження.....	55
3.1.2. Результати дослідження.....	57
3.2. Лабораторно-польові дослідження розроблених робочих органів у складі експериментального зразка машини МФ-1М.....	58
3.2.1. Програма і методика лабораторно – польових досліджень.....	58
3.2.2. Математичне планування дослідів з визначення оптимальних режимів роботи фрези.....	61
Висновки до розділу.....	75
РОЗДІЛ 4. НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ.....	76
4.1. Науково – виробнича перевірка технології комбінованого способу утримання ґрунту в плодових насадженнях і впровадження фрезерної машини для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах.....	76
4.2. Економічна порівняльна оцінки застосування фрезерної машини.....	81
4.3. Висновки до розділу.....	85
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	86
5.1. Охорона праці під час роботи з машиною.....	86
5.2. Підготовка до роботи розробленої машини і її регулювання.....	87
5.3. Вимоги з охорони праці в аварійних ситуаціях.....	87
Висновки до розділу.....	88
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 208 - «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

доцент _____ Василь ДУГАНЕЦЬ

„04” квітня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачу ГОРДІЙЧУКУ Богдану Ярославовичу

1. Тема роботи: «ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ У САДАХ»

2. Керівник роботи: ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович, доцент

Затверджено наказом Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від «04» квітня 2025 року № 355с.

Термін подання здобувачем закінченої роботи 24 листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Матеріали з технологій догляду за садами.
2. Науково-технічна література.
3. Результати досліджень та випробувань фрези для обробітку ґрунту в садах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Вступ

1. Особливості вирощування плодкових насаджень.
2. Теоретичні дослідження з обґрунтування параметрів робочих органів фрези.
3. Експериментальні дослідження.
4. Науково-виробнича перевірка та економічна ефективність застосування фрези.
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
Загальні висновки по роботі.
Список використаних джерел.
Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Титульний аркуш.
2. Мета і завдання досліджень.
3. Способи утримання ґрунту в плодкових насадженнях.
4. Зони міжряддя плодового саду.
5. Машини з активними робочими органами.
6. Конструктивно-технологічна схема фрези.
5. Конструктивно-технологічна схема ротора.
7. Траєкторія руху робочих органів фрези.
8. Схема перетворення частини траєкторії руху ножа.
9. Розрахункова схема щодо визначення відносної швидкості руху ґрунту.
10. Зміни відносної швидкості руху точки М в залежності від лінійної швидкості ножа.
11. Середня дальність відкидання частки ґрунту ножем фрези.
12. Робочі органи фрези.
13. Загальний вигляд експериментального зразка фрези МФ-1М.
14. Априорна діаграма рангів впливу факторів на параметр оптимізації.
15. Обробіток ґрунту в пристовбурній смузі фрезою МФ-1М.
16. Параметри пристовбурних смуг, що підлягали дослідженню під час обробітку.
17. Порівняльні показники техніко-економічної ефективності фрезерних агрегатів.
18. Загальні висновки по роботі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Консультант з нормоконтролю	ДЕВІН В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 04 квітня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів кваліфікаційної роботи	Термін виконання розділів роботи		Примітка
		планово	фактично	
	Вступ	02.03.2025 р.	02.03.2025 р.	
1.	Особливості вирощування плодкових насаджень.	27.03.2025 р.	27.03.2025 р.	
2.	Теоретичні дослідження з обґрунтування параметрів робочих органів фрези.	03.04.2025 р.	03.04.2025 р.	
3.	Експериментальні дослідження.	20.04.2025 р.	20.04.2025 р.	
4.	Науково-виробнича перевірка та економічна ефективність застосування фрези.	12.07.2025 р.	12.07.2025 р.	
5.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	10.09.2025 р.	10.09.2025 р.	
	Загальні висновки по роботі.	10.10.2025 р.	10.10.2025 р.	
	Список використаних джерел.	10.11.2025 р.	10.11.2025 р.	
	Додатки.	24.11.2025 р.	24.11.2025 р.	

Здобувач

Богдан ГОРДІЙЧУК

Керівник

Василь ДУГАНЕЦЬ

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра представлено підвищення якості обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень шляхом створення оптимального агрегатно-структурного складу ґрунту фрезерною машиною з вертикальною віссю обертання робочих органів за рахунок обґрунтування їх оптимальних геометричних параметрів і режиму роботи машини.

Розраховано, що на ножах фрези виникають рухомі сили, які є більшими за стримуючі сили і відносна швидкість ґрунту по поверхні ножа стає більшою ніж його окружна швидкість, а це, в свою чергу, сприяє підвищенню рихлення ґрунту.

SUMMARY

In the master's thesis the improvement of soil cultivation in the accessory strips of fruit plantations is presented by creating the optimal aggregate-structural composition of the soil by a milling machine with the vertical axis of rotation of the working bodies due to the substantiation of their optimal geometrical parameters and the mode of operation of the machine.

It is calculated that on the cutter blades there are moving forces which are greater than the holding forces and the relative speed of the soil on the surface of the knife becomes greater than its circumferential speed, which in turn contributes to the increase of the soil loosening.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів 13 таблиць, 55 рисунків, 34 найменувань використаних джерел і презентаційного матеріалу на 19 слайдах.

Метою роботи є покращення якості та зниження енергоємності процесу обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень інтенсивного саду шляхом обґрунтування кінематичних та конструктивно-технологічних параметрів фрезерної машини з обертанням робочих органів навколо вертикальної осі.

В процесі виконання роботи використовувались методи математичного моделювання та положення теоретичної механіки, диференційного та інтегрального числення із подальшою розробкою прикладних програм.

В результаті проведених досліджень встановлено, що пристовбурні смуги в плодкових насадженнях інтенсивного типу доцільно утримувати під «чорним паром» за допомогою обробітку ґрунту машинами з активними робочими органами, які обертаються навколо вертикальної осі. Отримано закономірності змін в агрегатно-структурному складі ґрунту під впливом вегетаційних поливів і доведено, що незалежно від початкового значення коефіцієнта структурності ґрунту для збереження його структурно - агрегатного стану необхідно застосовувати механізований обробіток ґрунту після проведення третього або четвертого поливу, а для початкового коефіцієнту 0,6 - після першого поливу. Виробничі випробування експериментального зразка фрези МФ-1М показали можливість за рахунок зменшення прямих експлуатаційних витрат заощадити кошти на кожному гектарі оброблюваної площі.

Ключові слова: ФРЕЗА, РОТОРИ, НОЖІ , ОБРОБІТОК ГРУНТУ, ПЛОДОВІ НАСАДЖЕННЯ, ПРИСТОВБУРНІ СМУГИ, РОДЮЧІСТЬ ГРУНТУ, СТРУКТУРНОАГРЕГАТНИЙ СКЛАД ГРУНТУ

ВСТУП

Актуальність роботи. Встановлено, що рівень механізації у вітчизняному садівництві залишається вкрай низьким і не перевищує 14%, тоді як забезпеченість садівницьких господарств спеціалізованою технікою становить лише 20–25%. При цьому українська промисловість майже не виготовляє машин для садівництва, що стримує подальший розвиток галузі. Дослідження українських учених показують, що найефективнішим способом утримання ґрунту в інтенсивних садах є комбінований: задерніння у міжряддях та підтримання пристовбурної зони в стані «чорного пару». Також доведено, що найкращої якості обробіток ґрунту в пристовбурних смугах забезпечують фрезерні агрегати з робочими органами вертикального обертання.

Головною проблемою сучасних фрезерних машин такого типу є те, що після їх роботи у ґрунті формується лише близько 51% агрегатів розміром 0,25–10,0 мм, тобто середньої фракції. Згідно з ДСТУ 4362 це відповідає «незадовільному» структурно-агрегатному стану ґрунту. Під час вегетаційних поливів цей стан погіршується ще більше, що негативно позначається на фізіологічному розвитку плодкових дерев, призводить до зниження врожайності, неефективного використання поливної води та створює умови для активного розмноження гризунів.

Отже, для галузі садівництва підтримання «доброго» або «відмінного» структурно-агрегатного стану ґрунту є важливою народногосподарською задачею, яку можна вирішити лише завдяки своєчасному та якісному його обробітку. Для цього виробники плодової продукції повинні бути забезпечені ефективними ґрунтообробними машинами, переважно фрезерними агрегатами з вертикальною віссю обертання робочих органів. Тому розроблення таких машин із науково обґрунтованими кінематичними та конструктивно-технологічними параметрами, здатних формувати «добру» або «відмінну» структуру ґрунту за мінімальних енерговитрат, є актуальною та важливою науковою проблемою.

Робота виконувалась у Державному підприємстві дослідному господарстві «Проскурівка» Хмельницького району Хмельницької області.

Мета і завдання досліджень. Підвищення якості та зменшення енергоємності процесу обробітку ґрунту в пристовбурних смугах інтенсивних плодкових насаджень можливе за рахунок наукового обґрунтування кінематичних і конструктивно-технологічних параметрів фрезерної машини, у якій робочі органи здійснюють обертання навколо вертикальної осі. Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- провести аналіз наявних конструкцій ґрунтообробних машин, призначених для догляду за пристовбурними смугами в інтенсивних садах, та вибрати раціональну конструктивно-технологічну схему машини, здатної забезпечити виконання заданих вимог;
- визначити оптимальні кінематичні та конструктивно-технологічні параметри робочих органів фрезерної машини на основі розроблення й дослідження математичної моделі процесу їх взаємодії з ґрунтовим середовищем;
- встановити характер змін структурно-агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах під впливом вегетаційних поливів і визначити періоди, у які механізований обробіток є найбільш ефективним;
- здійснити експериментальну перевірку основних положень математичної моделі та оцінити, як конструктивно-технологічні параметри фрезерної машини впливають на якість обробітку та енергоємність процесу;
- виконати техніко-економічне обґрунтування використання фрезерної машини з вертикальною віссю обертання робочих органів для підтримання пристовбурних смуг у стані «чорного пару».

Об'єкт дослідження - процес механізованого обробітку ґрунту в інтенсивних плодкових насадженнях за умов зрошення.

Предмет дослідження - закономірності впливу кінематичних і конструктивно-технологічних параметрів робочих органів фрезерної машини на показники якості та енергетичні характеристики обробітку ґрунту в пристовбурних смугах інтенсивного саду.

Методи досліджень. В процесі виконання КР використовувались методи математичного моделювання та положень теоретичної механіки диференційного та інтегрального числення із подальшою розробкою прикладних програм.

Практичне значення одержаних результатів. У ході виконання кваліфікаційної роботи сформовано методичні підходи до проєктування геометричних параметрів робочих органів із врахуванням технологічних режимів функціонування фрезерної машини. Запропоновані напрацювання можуть бути використані під час створення конструкторської документації для машин цього типу. Крім того, було модернізовано фрезерні ротори експериментального зразка фрезерної машини МФ-1, яку впроваджено у виробничий процес догляду за ґрунтом у пристовбурних смугах плодкових насаджень на базі державного підприємства — дослідного господарства «Проскурівка» Хмельницького району Хмельницької області.

Апробація результатів роботи. Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи обговорювались і схвалювались на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2025», а також розглянуті на засіданні кафедри під час попереднього розгляду кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕНЬ

1.1. Способи утримання ґрунту в плодових насадженнях

Існує три методи утримання ґрунту в плодових насадженнях [6]. Найбільш розповсюдженим способом утримання ґрунту в таких насадженнях традиційно був «чорний пар», за якого поверхня ґрунту обробляється ґрунтообробною технікою – культиваторами або дисковими боронами. За цього способу зберігається зрошувальна вода, однак збільшується витрата пального (кількість обробітків може сягати семи). Загальний вигляд подібного насадження подано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд інтенсивного плодового саду, де ґрунт утримується в стані «чорного пару».

Іншим варіантом догляду за ґрунтом у плодових насадженнях є його повне задерніння (рис. 1.2). За такого підходу можна висівати сидеральні культури або трави з подальшим скошуванням їх косаркою. Метод вважається екологічно безпечним, однак потребує підвищених витрат поливної води.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд плодового саду, у якому ґрунт утримується за технологією суцільного задерніння.

Крім того, застосовують комбінований спосіб догляду за ґрунтом у плодкових насадженнях: у цьому випадку міжряддя залишають під задернінням, тоді як пристовбурна та міжстовбурна смуги підтримуються у стані «чорного пару» (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд плодового саду, де ґрунт утримується комбінованим способом.

Такий метод є найбільш ефективним за умови вирощування інтенсивних садів виключно при використанні зрошення, коли річне забезпечення вологою не

перевищує 400 мм. Це пояснюється тим, що технологія суцільного задерніння потребує додаткових обсягів поливної води, тоді як утримання ґрунту під «чорним паром» вимагає регулярних поливів. З огляду на дані підрозділу 1.2, для застосування будь-якого способу догляду за ґрунтом, міжряддя плодового саду умовно поділяють на три функціональні зони: вільну частину міжряддя, пристовбурну смугу та міжстовбурну пасму (рис. 1.4).

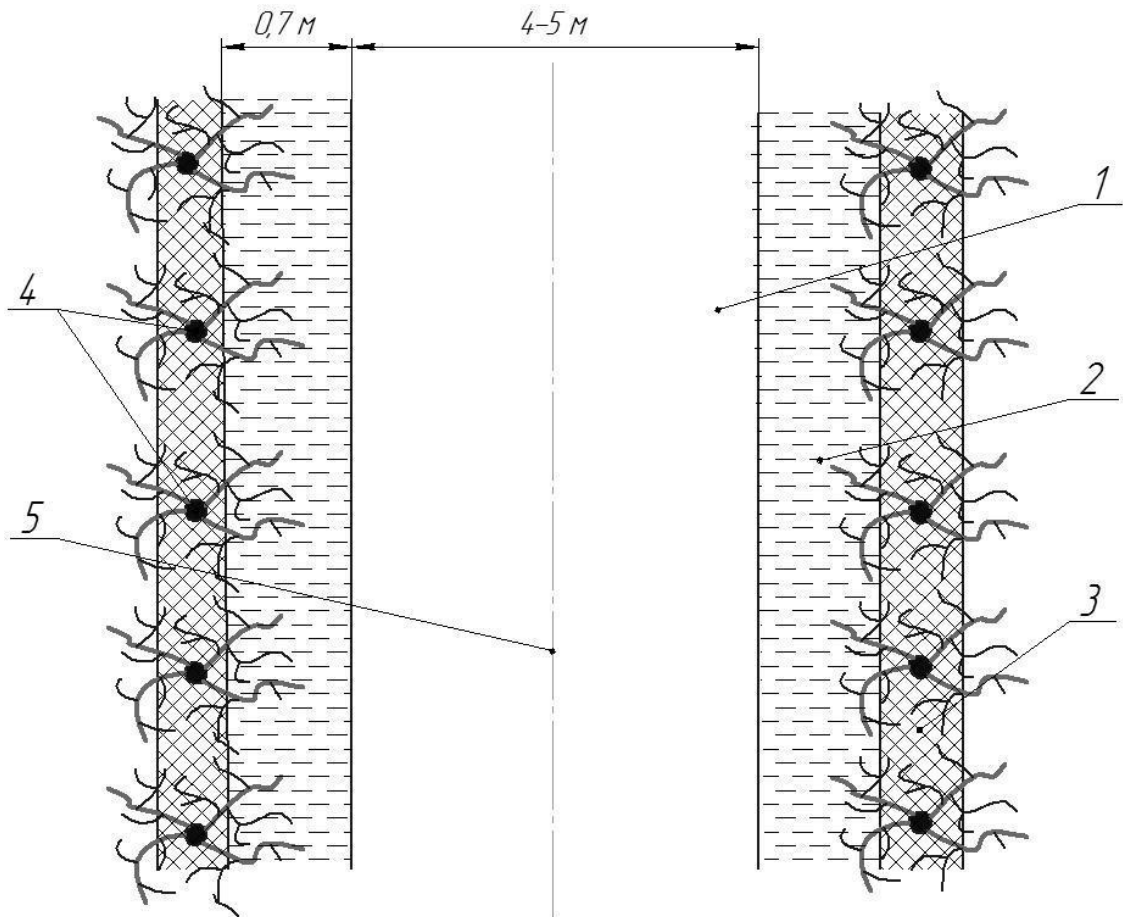


Рисунок 1.4 – Схема зонування міжряддя плодового саду:

1 - вільна частина міжряддя; 2 - пристовбурна смуга; 3 – міжстовбурна пасма; 4 – дерева; 5 – центральна вісь міжряддя саду.

Вільну частину міжряддя можна обробляти ґрунтообробною технікою без додаткових пристосувань (культиваторами, дисковими боронами, косарками). Для обробітки пристовбурних смуг знаряддя потрібно заводити під крону дерев, що забезпечується зміщенням агрегату відносно трактора або використанням широкозахватних симетричних машин.

Обробіток міжстовбурних пасмуг потребує складніших механізованих засобів, оскільки його слід виконувати, щоб уникнути заростання бур'янами. Найпростішим способом механізації цього процесу є перехресний обробіток ґрунту в садах, проте він є малоефективним та непридатним для садів із зайнятими міжряддями, загущеною схемою посадки чи тих, що розташовані на схилах.

Для механізованого обробітку ґрунту в пристовбурних смугах та міжстовбурних пасмугах застосовують висувні секції. Вимоги до таких секцій залежать від породи та віку дерев, умов вирощування і прийнятої агротехніки. Основні положення такі: секція повинна висуватись убік ряду від поздовжньої осі трактора; у молодих садах величина такого зміщення може досягати 2,5 м, а в плодоносних насадженнях - до 4 м. Її висота не повинна перевищувати 50 см. Глибина обробітку ґрунту, залежно від типу робочих органів, має становити 5–12 см. Робочі елементи зобов'язані працювати без пошкодження дерев, а сила, яка діє на елементи, що можуть контактувати зі стовбуром, не повинна перевищувати 30 Н.

У джерелі зазначено, що найбільші витрати пального й трудових ресурсів пов'язані з роботою машинного комплексу, створеного у 1970-х роках для утримання ґрунту під чорним паром у садах екстенсивного типу. До його складу входили фреза ФА-0,76, дискові борони БДС-3,5 і БДСТ-2,5, а також культиватор КСГ-5 шириною захвату 3, 4 або 5 м, який провадив обробіток вільної частини міжряддя, пристовбурної та міжстовбурної зон. Такий комплекс уже не відповідає сучасним вимогам ощадливого використання ресурсів, особливо для інтенсивних садів. Оскільки комбінований спосіб утримання ґрунту визнається найбільш ефективним [7], удосконалення машин для обробітку пристовбурних і міжстовбурних смуг є першочерговим завданням.

За типом приводу робочих органів обладнання для догляду за пристовбурними зонами поділяється на пасивне (різальні лапи, дискові органи) і активне - фрези.

1.2. Огляд наявних технічних засобів для механізованого обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень

1.2.1. Агрегати з пасивними робочими органами

Культиватор КСГ-5 садовий, обладнаний гідросистемою (рис. 1.5), призначений для виконання обробітку ґрунту в молодих і плодоносних садах, де ширина міжрядь становить від 4 до 10 м. Конструкція культиватора передбачає наявність стрілочастих полільних лап із захватом 270 мм і 330 мм (поз. 10 та 11), розпушувальних лап із захватом 55 мм, малих і великих зубів борони (поз. 12), борознорізів, а також поворотної односторонньої лапи, призначеної для роботи у пристовбурних зонах (поз. 10). Культиватор має навісну конструкцію та регулюється за шириною захвату, яку можна встановлювати на 3,3; 4,3 або 5,3 м. Залежно від типу ґрунтів, робочої ширини та виду операції агрегат може працювати з тракторами класів 3, 2 та 1,4.

Для підрізання бур'янової рослинності та розпушування ґрунту у пристовбурних смугах і міжстовбурних просторах використовується поворотна одностороння ножова лапа (поз. 10). Ніж цієї лапи монтується під кутом 60° до напрямку руху агрегату. Конструкція стійки дозволяє регулювати її висоту, завдяки чому можна зменшувати глибину обробітку безпосередньо біля стовбура дерева порівняно з глибиною роботи стрілочастих лап. На важких і ущільнених ґрунтах глибину ходу поворотної лапи рекомендовано зменшувати приблизно на 4 см щодо стрілочастих лап. Для покращення розпушування на ножовій лапі встановлюють п'ять зубів. Кріплення поворотної лапи до стійки здійснюється за допомогою фланця, привареного до її основи.

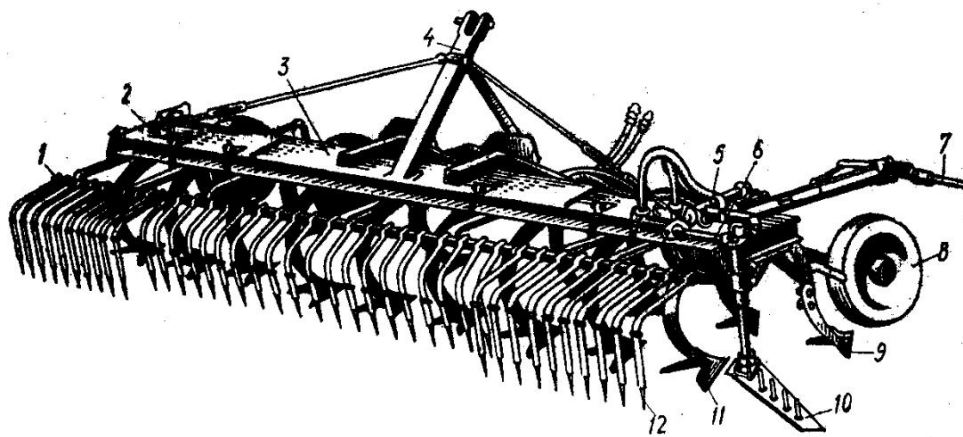


Рисунок 1.5 - Культиватор КСГ-5:

Автоматичне керування роботою культиватора здійснюється за допомогою гідроприводу, який встановлюють на правій приставній рамі агрегату при ширині захвату 5,3 м або на правій частині основної рами для захвату 3,3 та 4,3 м.

Гідропривід (рис. 1.6) включає механізм увімкнення, золотник 9, гідроциліндр 1 та редукційний клапан 4. Механізм увімкнення складається з вмикача 4 із дерев'яним щупом 5, зворотної пружини 3 та тяги 6. Усі елементи закріплені на трубі 7, приєднаній до рами культиватора. Золотник встановлюється на задній частині труби та через важіль з'єднується з тягою механізму увімкнення і клапанами високого тиску, а через редукційний клапан — із порожнинами гідроциліндра та гідросистемою трактора.

Гідроциліндр кріпиться до рами культиватора за допомогою вушок стакана, а його шток через вилку з'єднаний із важелем поворотної лапи. Під час роботи гідросистеми поворотний ніж перебуває у висунутому положенні в бік ряду, забезпечуючи обробіток ґрунту в міжстовбурній зоні. Коли культиватор наближається до дерева, щуп механізму увімкнення торкається штамба, відхиляється назад і через тягу повертає важіль золотника, забезпечуючи відведення лапи.

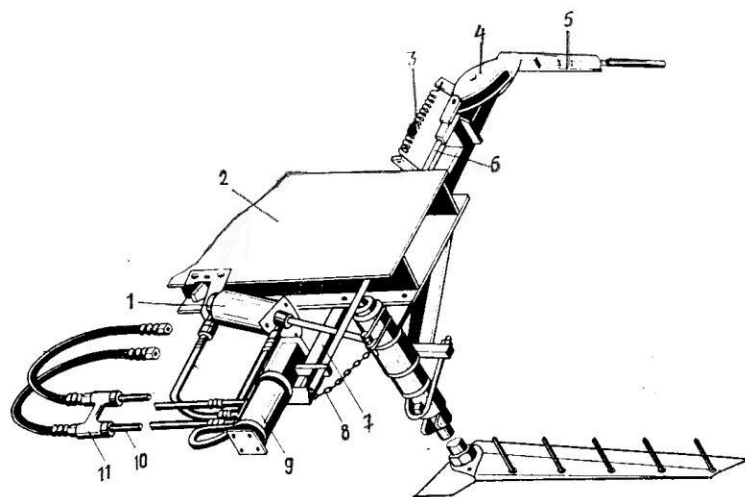


Рисунок 1.6 – Гідропривід поворотної лапи:

1 – гідроциліндр; 2 – рама культиватора; 3 – пружина; 4 – вмикач; 5 – щуп; 6 – тяга; 7 – труба; 8 – ланцюг; 9 – золотник; 10 – шланг; 11 – редукційно-запобіжний клапан.

У цей момент важіль своїм іншим кінцем пересуває стакан золотника, відкриваючи подачу мастила з гідросистеми трактора до штокової порожнини гідроциліндра. Під дією тиску мастила шток втягується всередину циліндра, і поворотна лапа відводиться від дерева. Після проходу агрегату повз штабб щуп зісковзує з поверхні дерева й під дією пружини повертається у початкове положення. Завдяки роботі тяг важіль знову переміщує стакан золотника, відкриваючи рух мастила зі штокової порожнини на злив з гідросистеми трактора в підштокову порожнину. У результаті поршень знову пересувається, шток висувається, повертаючи лапу в міжряддя та натягуючи ланцюг, який переводить золотник у нейтральний стан. Мастило, рухаючись між гідросистемою та гідроприводом, проходить крізь редуційно-запобіжний клапан, що стабілізує тиск у шлангах. Робоча швидкість культиватора з висувною секцією становить до 5 км/год. Щоб забезпечити повний, без огрехів, обробіток міжстовбурних смуг, кінець леза ножа повинен заходити на рядку на 5–10 см. Для цього агрегат спрямовують за слідовказувачем таким чином, щоб кінець гумового шланга злегка торкався штаббів дерев.

Культиватор садовий КСМ-5, оснащений правою та лівою висувними секціями (рис. 1.3), призначений для поверхневої обробки ґрунту та знищення бур'янів у міжряддях і міжстовбурних смугах саду. Крім того, він може виконувати глибоке розпушування ґрунту й нарізання поливних вологоутримувальних борозен у середній частині міжряддя завширшки 3,5–5 м. Агрегат придатний також для роботи в садах із міжряддями до 8 м та для обробки ґрунтів у польових умовах.

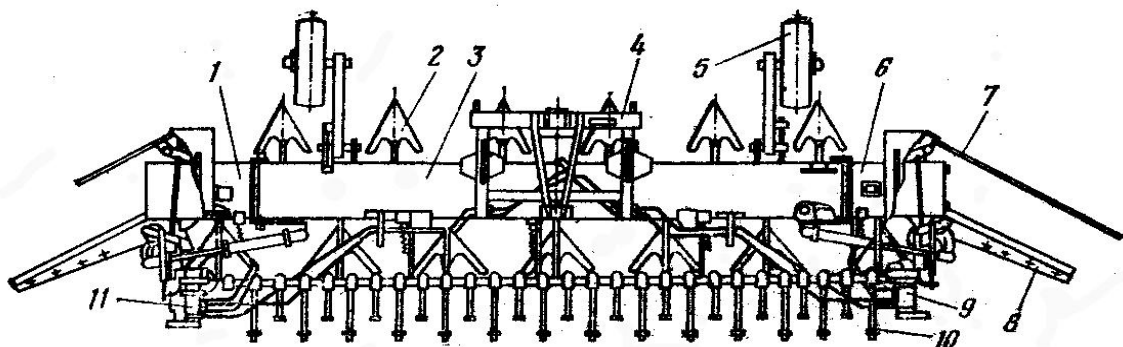


Рисунок 1.7 - Культиватор КСМ-5:

Культиватор КСМ-5 оснащений аналогічним набором робочих органів, що й культиватор КСГ-5, однак його конструктивною перевагою є наявність поворотних ножових лап з обох боків, що дає змогу одночасно виконувати обробіток міжстовбурних смуг ліворуч і праворуч.

КСМ-5 являє собою широкозахватний шарнірно-секційний навісний агрегат із жорстким кріпленням робочих органів. Робочі секції розташовані на рамі у два ряди. Опора культиватора здійснюється на два пневматичні колеса, обладнані гвинтовим механізмом, що забезпечує регулювання глибини ходу робочих органів. Для агрегування з трактором культиватор оснащують автоматичним зчіпним замком. Із тракторами класу 3 він працює через автозчіпку СА-2, а з тракторами класів 1,4–2 – через автозчіпку СА-1.

Після встановлення культиватора на потрібну ширину захвату на рамі монтують необхідні робочі органи: полільні лапи 2, розпушувальні лапи або борознорізи. Для садів із міжряддями 4 м використовують основну раму 3, на якій закріплюють поворотні ножі 8. Якщо міжряддя становить 5 м, обробіток здійснюється з використанням приставних рам, де також монтуються поворотні ножі.

Заїхавши у міжряддя, тракторист опускає культиватор у робоче положення за допомогою гідросистеми, вмикає відповідну передачу та рухається точно по центру міжряддя. Щоб уникнути пошкодження дерев, оператор контролює слідовказувач із гумовою трубкою, який повинен лише злегка торкатися штампів. Коли щуп вмикача торкається стовбура, він переміщує стакани золотників, спрямовуючи мастило в потрібні порожнини гідроциліндрів. У цей момент поворотні ножі відводяться від дерева. Після обходу штамба ножі автоматично повертаються у робоче положення.

Під час руху агрегату в міжряддях перекриття між проходами в міжстовбурних зонах становить близько 15 см. Оскільки відстань між деревами може відчутно змінюватися, тракторист повинен періодично контролювати роботу лівого поворотного ножа. Якщо перекриття надмірне й виникає ризик пошкодження штампів, ніж вимикають, а надто вузькі смуги залишають

необробленими або проходять іншим культиватором із меншою шириною захвату.

Пристрій ПМЛ-0,6 (рис. 1.8) використовується для розпушування ґрунту та знищення бур'янів безпосередньо у рядах між деревами, забезпечуючи якісне оброблення міжстовбурних смуг.

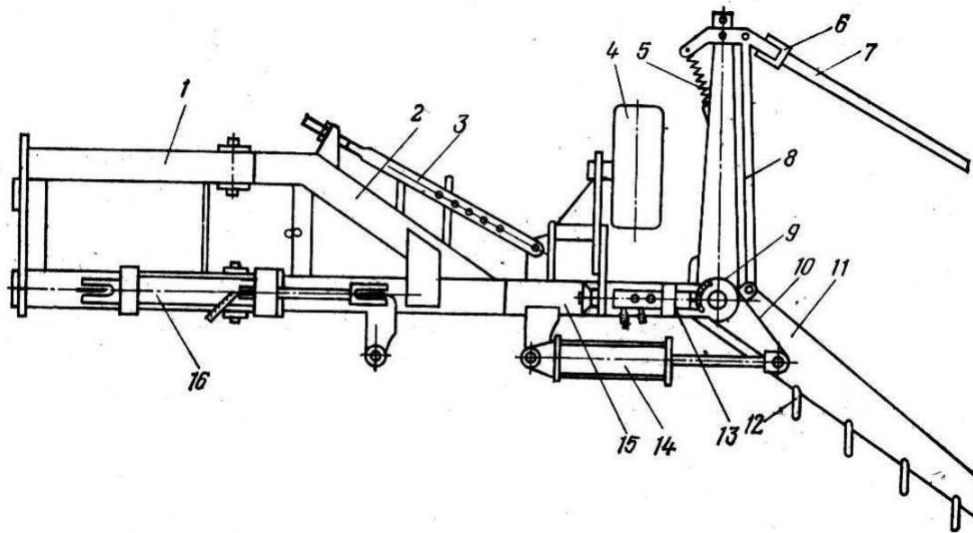


Рисунок 1.8 - Пристрій ПМП-0,6:

Його агрегатують із боковою навіскою, що встановлюється на трактори ДТ-75 та МТЗ-80, завдяки чому задня навіска трактора залишається вільною для приєднання інших робочих знарядь.

Пристрій ПМП-0,6 складений з навіски 1 для трактора, внутрішньої рами 2, рами 15 з гвинтом 3, колеса 4, ножа 11, механізму керування ножом та гідроциліндра 16, який забезпечує підйом секції у транспортне положення. Для роботи з МТЗ-80 застосовується одна навіска, для роботи з ДТ-75 – інша.

Механізм відведення ножа має золотник керування 13, розміщений на кулаку ножа 11, гідроциліндр 14, копір 9 із пазом, щуп 7 із коромислом 6, тягу 8, що з'єднує щуп з копіром, та пружину 5, яка повертає щуп у початкове положення. Золотник під'єднаний до гідроциліндра 14 відводу ножа, а також — через шланг високого тиску до розподільника гідросистеми трактора, у який вмонтовано кульковий запобіжний клапан. Робочим органом агрегату є односторонній поворотний ніж 11, оснащений розпушувачами 12. Ніж кріпиться болтами до маточини поворотної осі, яка через важіль 10 з'єднана з гідроциліндром, що забезпечує його відведення.

Робота пристрою ПМП-0,6 відбувається таким чином. Тракторист заїжджає у міжряддя з правого боку так, щоб у процесі руху щуп торкався штамба дерева на відстані щонайменше 20 см від осі повороту лапи. Оптимальна точка дотику позначена фарбою на щупі. Після цього тракторист опускає пристрій у робоче положення, а рукоятку розподільника переводить у режим «плаваюче». Увімкнувши напірну гідромагістраль, що під'єднана до механізму відводу лапи, тракторист забезпечує подачу мастила. У цей момент золотник перебуває у «нейтральному» стані, і мастило відводиться на злив, утримуючи поворотну лапу у робочому положенні за рахунок тиску в гідроциліндрі.

Під час руху агрегату вздовж ряду щуп, торкаючись штамба дерева, відхиляється назад і повертає копір, що натискає на ролик штовхача та зміщує стакан золотника у робочу позицію. Коли стакан зміщується приблизно на 3 мм, відкривається канал подачі мастила у гідроциліндр. Під тиском мастила шток заходить усередину циліндра й через важіль відводить поворотну лапу від дерев, повторюючи траєкторію руху щупа.

Після проходження штамба щуп під дією пружини повертається у вихідне положення, а стакан золотника переміщується в «нейтральне» положення. Потік мастила змінює напрямок, шток висувається з гідроциліндра, і лапа знову входить у ряд дерев. Таким чином, процес відведення робочого органа повторюється при кожному наближенні до чергового дерева.

Після завершення руху механізатор виключає керування поворотною лапою, піднімає пристрій у транспортне положення та виконує розворот із заходом у слідуєме міжряддя.

1.2.2. Машини з активними робочими органами

Фрези належать до машин із активними робочими елементами, оскільки їхні робочі органи обертаються за допомогою приводу. Класифікація цих агрегатів базується на орієнтації валу, навколо осі якого здійснюється обертання, відносно рівня ґрунтової поверхні.

За цією ознакою фрези поділяються на:

1. моделі з горизонтальною віссю обертання;
2. моделі з вертикальною віссю обертання;
3. моделі, де вал приводу розташований під кутом.

Фрези Горизонтально-Осьового Типу: Садовий Культиватор ФА-0,76

Садова фреза ФА-0,76 (рис. 1.9) розроблена для механічної культивації ґрунту та контролю бур'янів безпосередньо у смугах під плодовими деревами. Цей агрегат може ефективно працювати у садах із різною висотою штаблів, за умови, що простір між рядами достатній для маневрування трактора. Під час обробки секція фрези рухається вздовж ряду дерев. Захист стовбурів від пошкодження забезпечує спеціальний відхиляючий механізм: коли чутливий щуп торкається стовбура, фреза миттєво зміщується до центру міжряддя, а після обходу перешкоди повертається назад, залишаючи невелику необроблену ділянку лише біля основи штамба.

Машина агрегатується з тракторами «Беларусь» усіх модифікацій або Т-75. Конструкція ФА-0,76 включає основну раму, пристрій для відхилення, редуктор (поз. 7), гідравлічний насос (поз. 6), роторний барабан (поз. 2), гідророзподільник (поз. 4) та бак для гідравлічної оливи. Рама являє собою рухливий шарнірний чотириланковий механізм, на якому змонтовані всі вузли. Редуктор, що передає крутний момент на ротор, закріплений на несучому брусі (поз. 9). Фрезерний барабан - це труба, обладнана дванадцятьма дисками, до яких болтами прикріплені Г-подібні ножі, що виконують функцію робочих органів. Задана глибина обробітку (до 120 мм) встановлюється за допомогою опорних полозків (поз. 16). Відхиляючий механізм складається зі щупа, системи важелів та гідророзподільника, який активує зміщення фрези при контакті. Цей агрегат підходить для роботи у садах із шириною міжрядь не менше 5 метрів та мінімальною висотою гілок 40 см над землею. Під час руху, для коректної обробки пристовбурної зони, маркер (поз. 12) має бути розташований на відстані 50 – 100 мм від стовбура дерева. Секція фрези, що висувається, може забезпечувати поперечне зміщення на 400 – 450 мм. Обслуговування машини здійснює один тракторист.



Рисунок 1.9 - Загальний вигляд і схема фрези садової ФА-0,76:

Фреза садова навісна ФСН-0,9Г (рис. 1.10) використовується для розпушування ґрунту та знищення бур'янів у пристовбурних смугах садів і міжряддях ягідників. Додатковою функцією є можливість одночасного внесення мінеральних добрив.

Ця фреза агрегатується з тракторами Т-25А та самохідним шасі Т-16М.

Окрім цих базових вузлів, фреза також комплектується додатковими деталями, що забезпечують її можливість навішення на різні моделі тракторів.

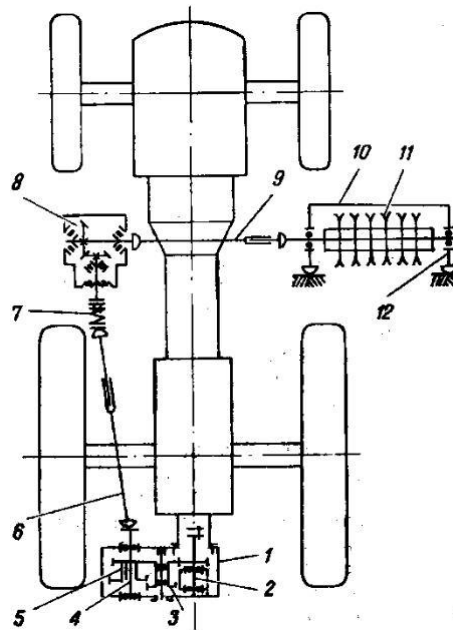


Рисунок 1.10 - Фреза садова ФСН-0,9Г:

Робочим органом цієї машини є фрезерний барабан (ротор), який має ширину захвату 0,9 м, діаметр 370 мм і здатний обертатися з частотою до 403 об/хв. До валу барабана приварено шість дисків; п'ять із них утримують по шість ножів, а крайній внутрішній диск — три ножі, що складає загальну кількість у 33 Г-подібні ножі, вигнуті в правий і лівий боки. Вісь барабана обертається у двох

підшипниках, змонтованих на кожусі (10), який функціонує як рама барабана. Кожух, являючи собою зварений із кутиків каркас, закритий сталевим листом зверху та обладнаний опорними полозками, що запобігають надмірному заглибленню в ґрунт. Глибина обробки ґрунту фрезою, яка зазвичай становить 5-11 см, регулюється зміною висоти розташування полозків (12) відносно осі вала за допомогою ряду наявних у стійках отворів.

Механізм бічного виносу барабана включає каретку, траверсу та гідроциліндр, причому повний винос фрезерного барабана вправо здійснюється за три цикли: гідроциліндр штовхає каретку з рамою підйому та барабаном на довжину ходу штока, після чого підтягує траверсу, яку потім закріплюють у новій позиції, і цикл повторюється. Для відводу вліво гідроциліндром також підтягують барабан на довжину ходу штока, переміщують траверсу на нову позицію і знову підтягують барабан. Фрезерний барабан приводиться в дію під час роботи від ВВП (валу відбору потужності) трактора, а його передавальний механізм, при навішуванні на трактор Т-25А, охоплює циліндричний і конічний редуктори, а також поздовжній і поперечний карданні вали. Тракторист, заїжджаючи в міжряддя, налаштовує необхідний косий винос барабана фрези, враховуючи діаметр крон дерев та ширину міжрядь, після чого вмикає ВВП трактора, опускає барабан і розпочинає обробку пристовбурних смуг, де обертові ножі вриваються в ґрунт, відрізаючи стружку, розпушуючи його та знищуючи бур'яни.

Механізм автоматичного об'їзду штабів, призначений для обробітку міжстовбурних смуг, включає контактний механізм, механізм розвантаження гідросистеми, шланги високого тиску та гідроарматуру. Контактний механізм, змонтований на кожусі барабана, містить щуп із системою важелів та гідрозолотник. Перемикач механізму розвантаження гідросистеми розташований на каретці бічного виносу. Під час контакту щупа зі штаблом дерева він відхиляється разом із важелями чотирьохланника, впливаючи на валик приводу золотника. Валик переміщується, направляючи мастило у штокову порожнину гідроциліндра, що викликає відведення барабана від штамба. Після проходження штамба поворотні пружини повертають золотник у початкове

положення; цей механізм розрахований для ефективної роботи з трактором Т-25А на зниженій передачі. Фреза FS з горизонтальною віссю обертання робочих органів від італійської фірми «RINIERI S.R.L» (рис. 1.11, 1.12) призначена для обробітку пристовбурних смуг у садах завширшки 55, 70 або 80 см, а її моделі мають гідравлічне регулювання кута нахилу ротора та пружинний амортизатор для запобігання ударам, а також спеціальне з'єднання ротора для захисту трансмісії.

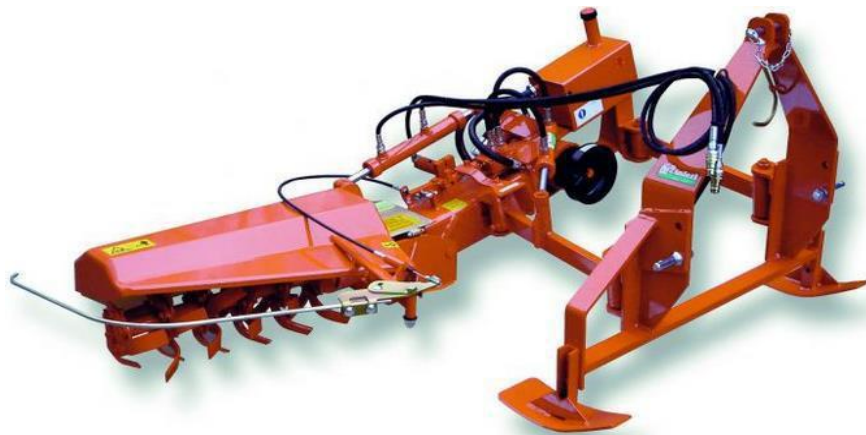


Рисунок 1.11 - Загальний вигляд фрези FS італійської фірми «RINIERI S.R.L».



Рисунок 1.12 – Фреза FS італійської компанії «RINIERI S.R.L.» під час обробітку пристовбурної смуги яблуневого саду.

Активний обробіток ґрунту на достатню глибину поблизу дерев, за оцінкою виробників, є єдиним ефективним способом суттєвого зниження чисельності гризунів.

Фрези з горизонтальною віссю обертання

Один із типів фрез приводиться в дію від валу відбору потужності (ВВП) трактора і не потребує використання гідравлічної системи для обертання

робочого органу. Під час роботи трактор рухається по міжряддю так, щоб повздожня вісь ряду дерев проходила посеред щупа. Щуп слугує для своєчасного задіювання гідравлічної системи агрегату, що змінює рух робочого органу для обходу штаблів.

Проте машини з горизонтальною віссю обертання мають певні недоліки: вони зрізають лише верхню частину бур'янів, залишаючи коріння неушкодженим, що призводить до швидкого повторного росту. Як і ножові лапи, вони залишають ущільнений шар ґрунту після проходу. Крім того, при високому травостої (15–20 см і більше) робочі органи забиваються рослинними рештками, що знижує продуктивність та якість обробітку.

Фрези з вертикальною віссю обертання

Дослідження показують, що більш якісний обробіток пристовбурних смуг досягається за рахунок використання фрез із вертикальною віссю обертання робочих органів.

Опис фрезерної машини МПП-1,2

МПП-1,2 обладнана вертикально-роторними робочими органами з Г-подібними ножами і призначена для обробітку садів. Особливістю машини є відсутність гідроприводу: обхід штаблів дерев здійснюється завдяки реакції робочих органів із ґрунтом.

Конструкція машини включає:

- раму (1) з паралелограмним механізмом (2) та начіпним пристроєм;
- корпус (3), закріплений на кінці рами, здатний обертатися навколо центральної осі;
- вертикальні ротори (4) з зовнішньо загнутими Г-подібними ножами, змонтовані на вихідних валах корпусу;
- привід роторів через ВВП трактора за допомогою карданних передач (5 і 6), конічних редукторів (7 і 8), пасової (9) та зубчастої передачі (10);
- упори (11), що взаємодіють із фіксатором (12), керованим щупом (14); опорне колесо (13) для регулювання глибини обробітку.

Принцип роботи МПП-1,2

Агрегат рухається по середині міжряддя, причому права половина корпусу (3) розташовується в лінії ряду дерев із невеликим перекриттям. Коли щуп (14) контактує зі штамбом, фіксатор (12) звільняє упор лівої половини корпусу. Під дією реактивного моменту від фрез, спрямованого протилежно обертанню роторів (за годинниковою стрілкою згори), корпус повертається, обходячи дерево. Після того, як щуп знімається зі штамба, упор правої половини утримує корпус від подальшого обертання. Цикл повторюється біля наступного дерева.

Повна обробка міжстовбурної смуги (з урахуванням захисної зони близько 0,5 м) досягається за два суміжні проходи агрегату.

Технологічні параметри фрези наведено в таблиці 1.3.

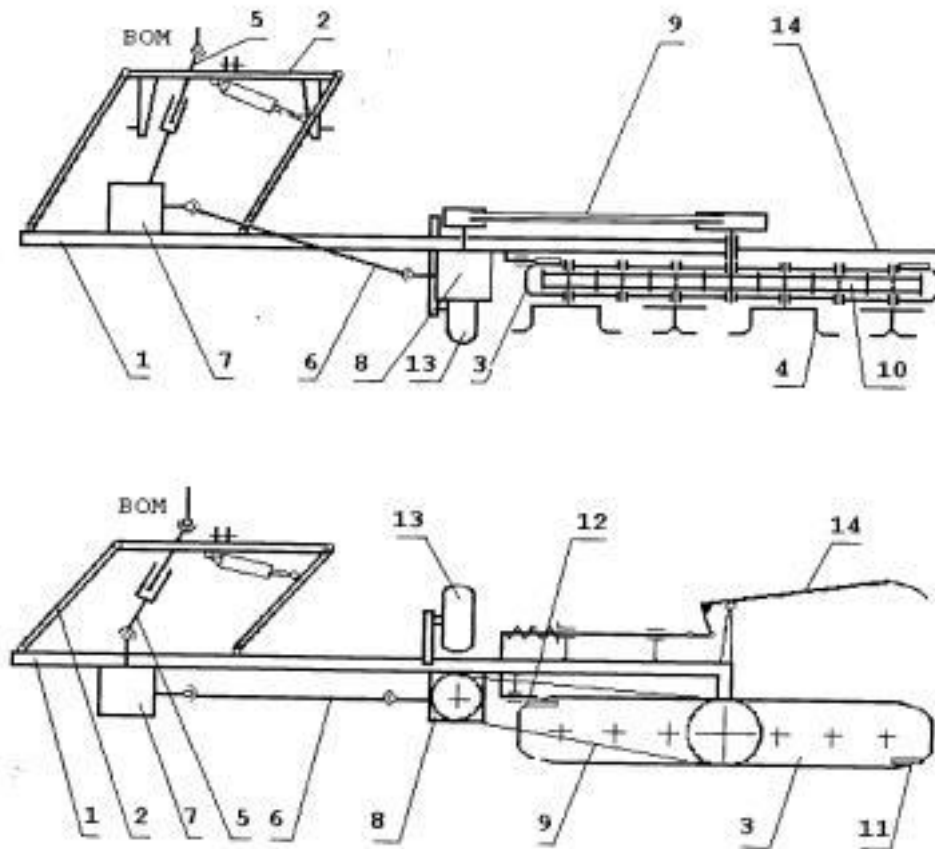


Рисунок 1.13 - Схема машини МПП-1,2:

Таблиця 1.3 - Технічна характеристика фрези МПП-1,2

	Робоча	Ширина	Боковий	Глибина	Потужність	Продуктив-
Модель	швидкість,	захвату,	зсув,	обробітку,	трактора, кВт	ність,
	км/год	м	м	см		га/год
МПП-1,2	4,3	1,2	1,8	12	14,7	0,7

Незважаючи на переваги, які надає ця машина, вона має основні недоліки, пов'язані з недостатньою якістю обробітку ґрунту, що оцінюється за його структурно-агрегатним складом. Згідно з цим показником, середня фракція ґрунту становить лише 44%, що за шкалою ДСТУ 4362 [28] перебуває на межі незадовільного стану. Крім того, встановлені L-подібні ножі мають тенденцію подрібнювати бур'яни, що фактично сприяє їхньому розмноженню, а також утворюють небажаний ущільнений шар ґрунту (плужну підшву). Для вирішення цих проблем був розроблений та представлений експериментальний зразок фрезерної машини МФ-1 з вертикальною віссю обертання робочих органів (рис. 1.14).

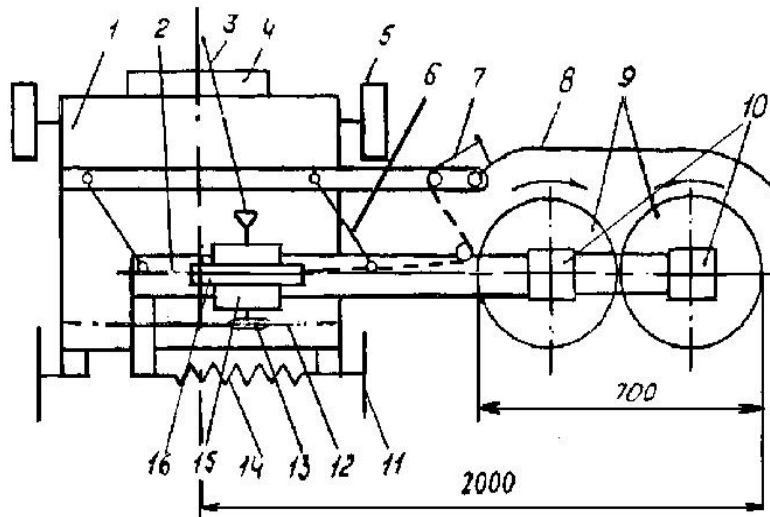


Рисунок 1.14 - Конструктивна схема фрези:

1 - рама; 2 - висувна секція; 3 - карданна передача; 4 - автозчеплення; 5 - опорно-регулюючі колеса; 6 - паралелограмний механізм; 7 - трос; 8 - щуп; 9 - фрезерні ротори; 10 - конічні редуктори; 11 - дисковий ніж; 12 - ланцюг; 13 - зірочка; 14 - зворотна пружина; 15 - редуктор; 16 - фрикційна муфта.

Фрезерні барабани (9) впливають на ґрунт робочими органами, які мають циліндричну форму: це стрижні діаметром 20 мм і довжиною 200 мм, нахилені від вертикалі на 30° у напрямку обертання, що забезпечує їхнє самоочищення від рослинних залишків. Кожний ротор фрези має по три робочих органи, розташованих у шаховому порядку. Для запобігання аварійних поломок при зіткненні з перешкодами (камінням, дротом) між робочими органами фрези та редуктором (10) встановлені фрикційні муфти. Фрезерні барабани обертаються з частотою 3,5, але у різних напрямках, і розташовані на відстані 2000 мм від осі машинно-тракторного агрегату (МТА), що дозволяє використовувати фрезу в молодих та низькорослих насадженнях. Фреза агрегується з тракторами тягових класів 9, 14 і 30 кН, а її робоча швидкість становить від 0,41 до 1 м/с. Конструкція також передбачає можливість регулювання глибини обробки ґрунту.

Попередні випробування цієї фрези, проведені в Інституті зрошувального садівництва на яблуні (схема садіння 2,5 м) та персику (схема садіння 4 м, мали на меті визначити якість обробітку ґрунту в пристовбурних смугах. За результатами випробувань на чорноземі з вологістю 15% до 20% було встановлено такий агрегатний склад ґрунту: менше 0,25 мм – 23,3%; від 0,25 до 1 мм – 16%; від 1 до 3 мм – 13,7%; від 3 до 7 мм – 15,4%; від 7 до 10 мм – 7,9%; більше 10 мм – 23,7%.

Недоліком даної машини є також недостатня якість обробітку ґрунту, що підтверджується показником структурно-агрегатного складу: середня фракція ґрунту (від 0,25 мм до 10 мм) складає 53%, що, згідно зі шкалою ДСТУ 4362, не відповідає стану «добрий». На основі цих даних було визначено коефіцієнт збереження структури ґрунту як відношення кількості агрегатів розміром від 0,25 мм до 7 мм (45,1%) до суми агрегатів менше 0,25 мм і більше 7 мм (54,9%). Враховуючи наведене, значення коефіцієнту збереження структури ґрунту становить 0,82.

На світовому ринку найбільш популярними є фрези для обробітку пристовбурних смуг, вироблені італійською компанією «RINIERI S.R.L.». Зокрема, серія EL представлена гідравлічним висувним вертикально-фрезерним культиватором (рисунок 1.15). Цей агрегат, обладнаний робочими органами з

вертикальною віссю обертання, призначений для догляду за садами з відстанню між рослинами не менше 40 см, а також показує високу ефективність на схилах і кам'янистих ґрунтах із розміром каменів до 12 см. Технічна характеристика моделей фрези наведена в таблиці 1.3. Всі моделі серії EL забезпечують оптимальне розпушування ґрунту без утворення канав під час бокового зміщення робочих органів. Ця фреза обладнана функцією регулювання нахилу роторного агрегату і має чотири вертикально розташованих ножі (які є зубовими робочими органами).

Ці конструктивні особливості вказують на те, що машина переважно призначена для ефективного обробітку важких, кам'янистих ґрунтів.



Рисунок 1.15 - Загальний вигляд фрези EL італійської фірми «RINIERI».

Таблиця 1.4 - Технічна характеристика фрези EL

<i>Модель</i>	<i>Ширина міжряддя, м</i>		<i>Ширина захвату, м</i>	<i>Боковий зсув, м</i>	<i>Потужність трактора, кВт</i>	<i>Маса, кг</i>
<i>EL90</i>	<i>0,12</i>	<i>0,20</i>	<i>0,65</i>	<i>0,4</i>	<i>22,0</i>	<i>260</i>
<i>EL 115</i>	<i>0,15</i>	<i>0,25</i>	<i>0,65</i>	<i>0,4</i>	<i>22,0</i>	<i>300</i>
<i>EL 140</i>	<i>0,20</i>	<i>0,30</i>	<i>0,65</i>	<i>0,5</i>	<i>22,0</i>	<i>320</i>
<i>EL170</i>	<i>0,25</i>	<i>0,38</i>	<i>0,65</i>	<i>0,5</i>	<i>22,0</i>	<i>340</i>
<i>EL 200</i>	<i>0,30</i>	<i>0,45</i>	<i>0,65</i>	<i>0,5</i>	<i>29,4</i>	<i>410</i>
<i>EL 225</i>	<i>0,35</i>	<i>0,60</i>	<i>0,65</i>	<i>0,5</i>	<i>29,4</i>	<i>430</i>
<i>EL 260</i>	<i>0,45</i>	<i>0,60</i>	<i>1,0</i>	<i>0,5</i>	<i>44,1</i>	<i>500</i>



Рисунок 1.16 – Фреза серії EL італійської компанії «RINIERI» під час обробітку пристовбурних смуг у плодovих насадженнях.

Серія EL – А є новою лінійкою вертикальних фрез, яка оснащена функцією бокового зміщення і спеціально призначена для агрегування з тракторами, що мають передній начіп (див. рис. 1.17). Ця серія включає шість різних моделей, які пропонують діапазон бокового зміщення від 120 см до 600 см.



Рисунок 1.17 – Загальний вигляд моделі фрези EL-A.

Серія фрез ELX відрізняється невеликими габаритними розмірами та підвищеною міцністю, завдяки чому вона оптимально підходить для експлуатації на кам'янистих ґрунтах. Ця машина оснащена приводом бокового зміщення і має спеціальний карданний вал із захисною муфтою для надійної та безпечної роботи.



Рисунок 1.18 – Загальний вигляд фрези ELX виробництва «RINIERI»



Рисунок 1.19 – Використання фрези ELX компанії «RINIERI» для обробітку пристовбурних смуг.

Серія E-DUE являє собою двосторонню вертикальну фрезу і спеціально розроблена для обробки пристовбурних смуг у багаторічних насадженнях на великих площах. Ця машина оснащена чотирма електрогідравлічними сенсорами з незалежною гідравлічною системою розподілу. Завдяки цій системі сенсорів фреза може автоматично підтримувати центральне положення в міжрядді насаджень (що ілюструється на рис. 1.12), забезпечуючи рівномірний та ефективний обробіток по обидва боки.



Рисунок 1.20 – Загальний вигляд фрези E-DUE виробництва «RINIERI».



Рисунок 1.21 – Обробіток пристовбурних смуг у виноградниках фрезою E-DUE італійської фірми «RINIERI».

Серія EP включає фрези, які оснащені чотирма роторами з функцією бокового зміщення та гідравлічним приводом. Ці машини спеціально розроблені для ефективного видалення бур'янів при роботі на мінімальній глибині. При цьому вони якісно розпушують ґрунт, не допускаючи утворення канав навіть під час активного бічного зміщення робочих органів.



Рисунок 1.22 – Фреза серії EP італійської компанії «RINIERI», загальний вигляд.



Рисунок 1.23 – Використання фрези EP від «RINIERI» для догляду за ґрунтом у пристовбурних смугах саду.

Серія **VELOX** ½ забезпечує ефективне й акуратне рихлення ґрунту в пристовбурних смугах садів та виноградників (рис. 1.24).



Рисунок 1.24 – Фреза серії VELOX, загальний вигляд.



Рисунок 1.25 – Використання фрези VELOX від «RINIERI» для обробітку ґрунту біля стовбурів дерев у саду.

Серія фрез **VELOX 8** характеризується двостороннім розташуванням фрезерних роторів із вертикально орієнтованими ножами. Важливою

особливістю цієї серії є її універсальність, оскільки вона надає можливість переднього або заднього навішування на трактор.



Рисунок 1.26 – Загальний вигляд моделі фрези VELOX 8.



Рисунок 1.27 – Використання фрези VELOX 8 для догляду за ґрунтом у пристовбурних зонах виноградників.

Більшість зазначених вище машин для обробки ґрунту в пристовбурних смугах із вертикальним розташуванням валу робочих органів оснащені ножами, у яких робочі поверхні виконані у вигляді площин. Хоча ножі з такими плоскими поверхнями створюють сколюючий ефект і є більш придатними для обробки

кам'янистих ґрунтів, враховуючи дані підрозділу 1.1 щодо типів ґрунтів, можна дійти висновку, що такі робочі органи не сприяють формуванню оптимального структурно-агрегатного складу ґрунтів. Сучасне вдосконалення машин для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень здійснюється за двома основними напрямками: по-перше, удосконалення конструкції керуючого механізму з метою підвищення його чутливості та зменшення зусиль спрацьовування; по-друге, оптимізація робочих органів, що спрямована на підвищення якості технологічного процесу, зниження його енергоємності та зменшення екологічного навантаження на ґрунт [13]. Наразі робочі органи з вертикальною віссю обертання знаходять широке застосування при підготовці ґрунту під сівбу, оскільки вони забезпечують якісне розпушування, не утворюють ґрунтової підшви та сприяють формуванню рівної поверхні поля і дрібнокомкуватої структури ґрунту [19].

Висновки до розділу

Для досягнення максимальної ефективності у вирощуванні плодкових насаджень інтенсивного типу необхідне поєднання систем зрошення та комбінованого способу утримання ґрунту. У таких насадженнях пристовбурні смуги найбільш доцільно утримувати під чорним паром, використовуючи механізований обробіток ґрунту за допомогою активних робочих органів з вертикальною віссю обертання.

На основі аналізу технічних джерел, експериментальний зразок фрезерної машини МФ-1 з вертикальною віссю обертання та робочими органами у вигляді стрижнів визначено як найбільш наближене технічне рішення. Проте, встановлено, що фреза МФ-1 обробляє ґрунт із коефіцієнтом структурно-агрегатного стану 0,53. Це значення, відповідно до ДСТУ 4362, класифікується на межі незадовільного стану ґрунту, що перешкоджає створенню оптимальних умов для біологічних процесів і, як наслідок, погіршує ріст і розвиток плодкових дерев.

У зв'язку з цим, для підвищення коефіцієнта збереження структурно-агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах садів необхідно визначити граничні значення фракційного складу ґрунту та його оптимальні пропорції для різних типів ґрунтів із обов'язковим урахуванням зрошувальних заходів.

Досягнення оптимальної структури ґрунту в пристовбурних смугах можливе шляхом застосування обґрунтованих робочих органів фрези, параметри форми та положення яких повинні сприяти збільшенню кількості ґрунтових агрегатів розміром від 0,25 мм до 7 (10) мм в обробленому шарі.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ

2.1. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми фрезерної машини

Дослідження показують, що найбільші витрати пального та технічних ресурсів виникають при застосуванні комплексу машин, створеного ще у 1970-х роках для підтримання чорного пару в садах екстенсивного типу. До цього комплексу входили фреза ФА-0,76, дискові борони БДС-3,5 та БДСТ-2,5, а також культиватор КСГ-5 із шириною захвату 3, 4 та 5 м, який обробляв як вільну частину міжряддя, так і пристовбурну смугу. Така концепція, що спиралася на поняття «пристовбурна смуга», «підкоронова зона» та «вільна частина міжряддя», виявилася неефективною з точки зору економії ресурсів для сучасних інтенсивних садів.

Найбільш перспективним методом утримання ґрунту в інтенсивних садах є комбінований спосіб [19], при якому вільна частина міжряддя зберігається під задернінням, а пристовбурна смуга – під чорним паром. Дослідження також показали, що для досягнення якісного обробітку ґрунту в пристовбурних смугах ефективним є використання робочих органів з вертикальною віссю обертання (фрез) [22].

Аналіз існуючих засобів механізації засвідчив, що конструктивні рішення, реалізовані в експериментальному зразку фрезерної машини МФ-1, найбільше відповідають сучасним вимогам. Ця машина ефективно очищує пристовбурну смугу від бур'янів, проте рихлення ґрунту залишається незадовільним – лише 53% ґрунтових агрегатів мають розмір від 0,25 до 10 мм, тоді як згідно з ДСТУ 4362 показник повинен становити не менше 80%.

Процес обробітку ґрунту фрезерними машинами досліджували такі науковці, як О.І. Завравжков, О.Г. Караєв, І.П. Привалов, О.Ф. Сафонов, С.М. Саньков, С.Г. Фрішев, В.І. Цимбал та інші. У їхніх роботах пропонувалися робочі органи з вертикальною віссю обертання, зокрема L-подібні ножі, вигнуті назовні.

Використання таких ножів забезпечує середню фракцію ґрунту лише 44%, що є на межі незадовільного стану; до того ж L-подібні ножі подрібнюють бур'яни, сприяючи їхньому швидкому відновленню, та утворюють ущільнений шар ґрунту (плужну підшву).

Також досліджувалися робочі органи у вигляді циліндричних стрижнів, відхилених від вертикалі на 30° у протилежний бік від обертання ротора (як у МФ-1), проте їхній недолік полягає у недостатній якості обробітку ґрунту за показником структурно-агрегатного складу (середня фракція 53%), що також не відповідає стану «добрий».

На основі проведеного аналізу, який підтвердив доцільність використання фрез з вертикальною віссю обертання та виявив незадовільний структурно-агрегатний стан ґрунту як головний недолік існуючих рішень (зокрема МФ-1), була запропонована нова схема фрезерної машини. Вона містить два ротори (4) з ножами (7), що обертаються у протилежних напрямках, обробляють смугу шириною 70 см і розташовані на відстані 200 см від осі трактора, що забезпечує можливість застосування у інтенсивних насадженнях. Кожен ротор оснащений диском (5) зі стійками (6), на яких у шаховому порядку розташовані по три ножі (7). Ножі мають циліндричну поверхню та занурюються в ґрунт на глибину 8–10 см.

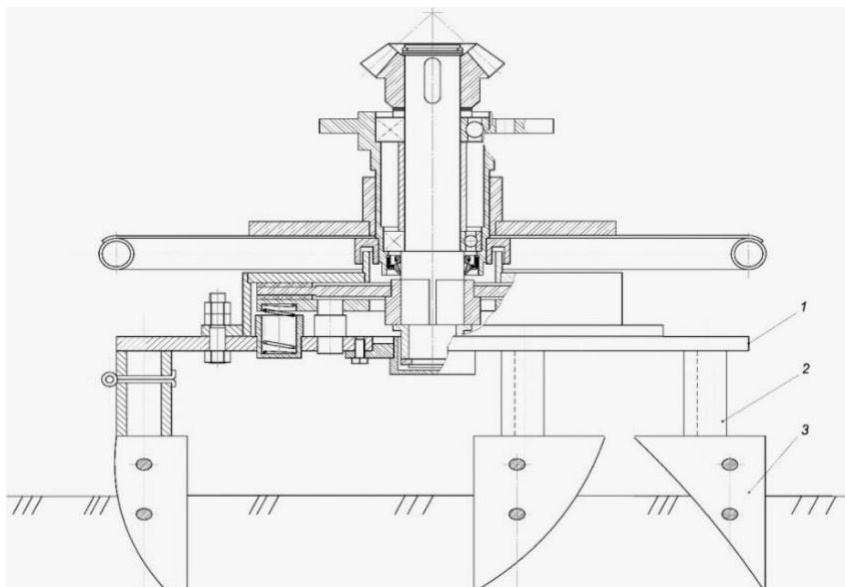


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема фрезерної машини з позначенням основних вузлів: 1 – рама; 2 – опорне колесо; 3 – привідний вал; 4 – ротори; 5 – диск; 6 – стійка; 7 – ніж.

2.2. Розробка математичної моделі процесу роботи робочих органів фрезерної машини у вертикальному обертанні

2.2.1. Параметри прямої лінії криволінійної поверхні ножа фрези для обробітку ґрунту можуть бути визначені за допомогою графоаналітичного методу через обчислення її координат. Під час роботи фрези робочі органи з вертикальною віссю обертання рухаються по криволінійній траєкторії, яка відповідає трохоїді [17]. У зв'язку з цим поверхня ріжучого робочого органу при криволінійному русі також повинна мати криволінійну форму. Початок перетворення частини траєкторії руху ріжучої крайки ножа в криволінійну пряму CF ножа слід розпочинати з тієї точки на траєкторії, де її кривина досягає максимуму. З рисунка 2.3 видно, що найбільшу кривину траєкторія матиме в точці С, яку, відповідно, обирають за центр перетворення для визначення параметрів прямої лінії.

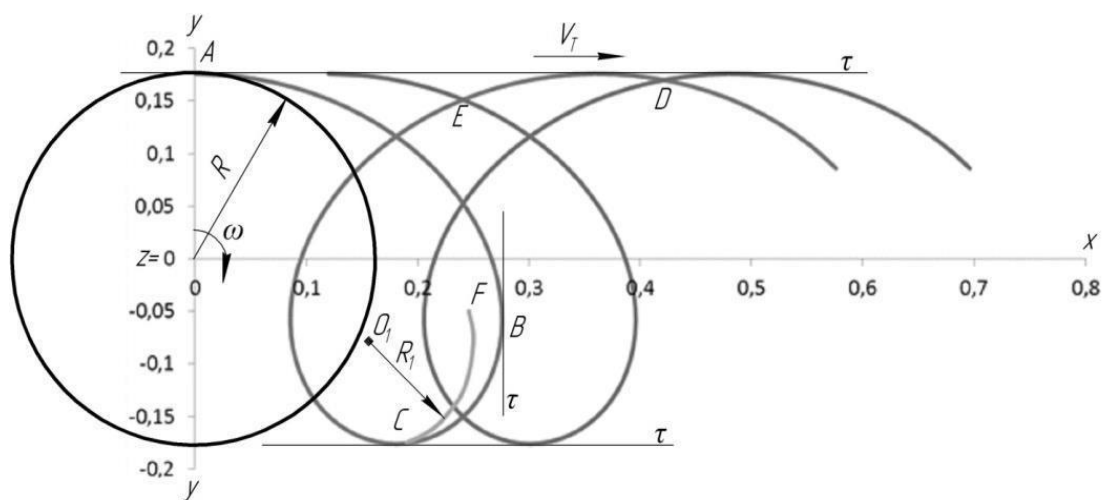


Рисунок 2.3 - Траєкторія руху робочих органів фрези.

Процес перетворення криволінійної частини траєкторії СВ в криволінійну пряму CF ножа [19] детально показано на рисунку 2.4. Точка С у цьому аналізі суміщається з початком координат. Довжина L частини траєкторії СВ становить 0,169 м. Цю ділянку розбивають на рівні відрізки з інтервалом часу $t = 0,01$ с, що дозволяє визначити точки 1, 2,...n, у яких потім проводять перпендикуляри до траєкторії. З точки С проводиться пряма лінія під кутом 10° , який відповідає задньому куту різання. На перетині цієї прямої з перпендикулярами отримують нові точки. Відстані 11, 12 (деталізація точок, імовірно, 11, 22, nn у вихідному тексті), 21, 22 і так далі, відкладають у однойменних точках на частині траєкторії СВ.

Координати вершин перпендикулярів у підсумку визначають криволінійну напрямну CF поверхні ножа фрези.

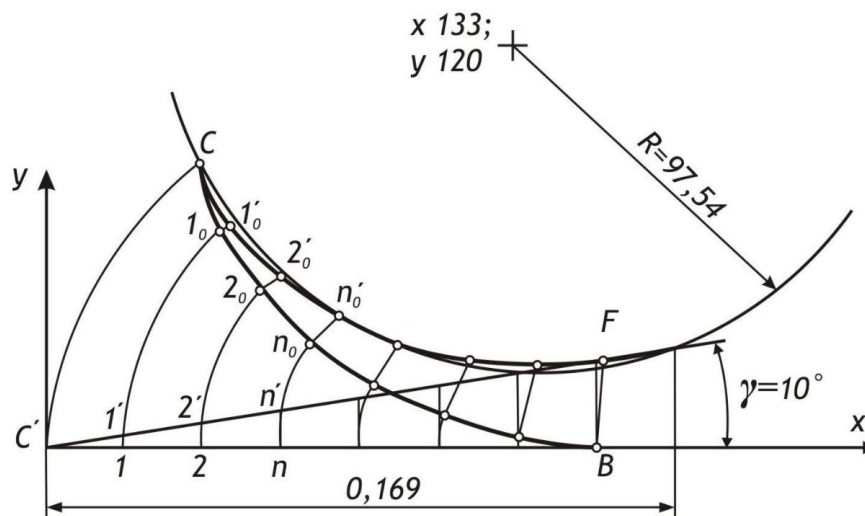


Рисунок 2.4 – Схема формування криволінійної напрямної поверхні ножа CF за траєкторією руху СВ.

Визначення канонічного рівняння для напрямної CF є нетривіальним завданням, і для практичного використання воно не є доцільним. Це пояснюється тим, що поверхня ножа буде представлена у вигляді циліндричної поверхні, що розгортається, і буде апроксимована площинами, які проходять безпосередньо через напрямну CF. Результати обчислення координат точок цієї криволінійної напрямної CF наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення координат точок, що визначають криволінійну напрямну CF

Точки	1 ₀ '	2 ₀ '	3 ₀ '	4 ₀ '	5 ₀ '	6 ₀ '	7 ₀ '	8 ₀ '	9 ₀ '
x	0,19	0,206	0,219	0,231	0,24	0,246	0,249	0,25	0,246
y	-0,175	-0,167	-0,157	-0,142	-0,128	-0,109	-0,091	-0,071	-0,05

Для практичного застосування отриману криву лінію \$CF\$, координати якої були наведені у таблиці, доцільно апроксимувати та представити дугою кола з мінімальною можливою похибкою. У даному випадку прийнято радіус кола 0,097 м, що забезпечує похибку, яка становить лише \$1,9\$ мм.

2.2.2. Визначення відносної швидкості руху частки ґрунту по поверхні ножа під дією сил

Для розрахунку швидкості руху частки ґрунту по поверхні ножа, у відповідності до рисунку 2.5 маємо наступні вхідні дані [22].

Кінематичні параметри фрезерної машини:

V_M - швидкість руху фрезерної машини;

ω_1 - кутова швидкість ротора.

Конструктивні параметри ножа:

R - радіус обертання ріжучої крайки ножа;

R_1 - радіус напрямної поверхні ножа CF;

S - довжина дуги напрямної CF;

H - висота ножа.

Сили, які діють на частку ґрунту (точку M):

m_g - сила тяжіння;

F_n - центробіжна сила;

$F_{тр}$ - сила тертя;

F_k - сила Кориоліса;

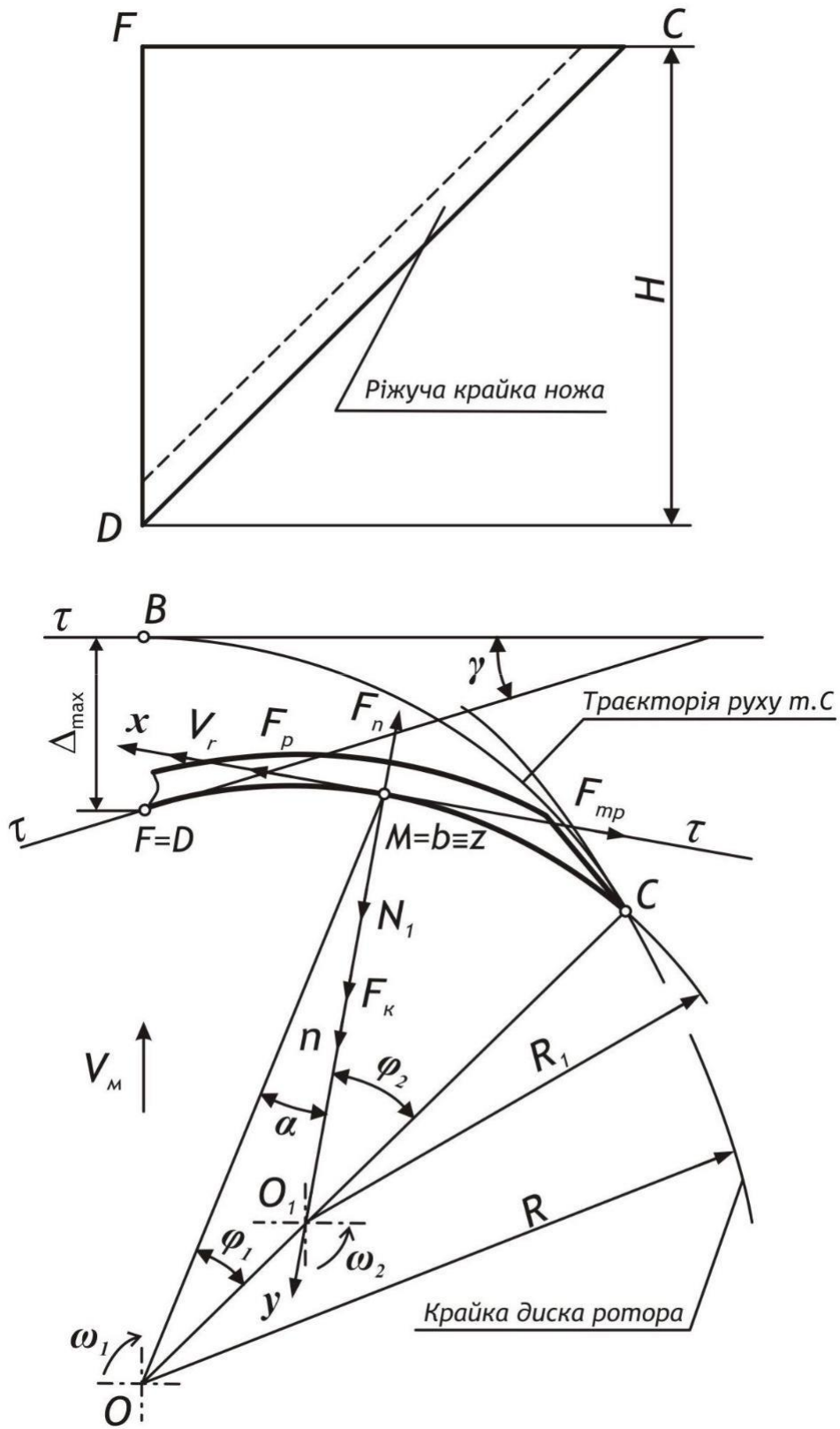


Рисунок 2.5 – Схема розрахунку відносної швидкості руху ґрунту по поверхні ножа

N_1 - нормальна сила реакції поверхні ножа;

F_v - сила реакції ґрунту, що виникає від різниці швидкостей по шарах скиби;

F_2 - підйомна сила;

N_2 - реакція в шарах скиби від сили тяжіння;

F_p - рухома сила на переміщення т. М по поверхні ножа.

Зважаючи на те, що відхилена ножем скиба ґрунту переміщується під впливом рухомої сили F по циліндричній поверхні ножа у напрямку денної поверхні поля, приймається, що кожна частка ґрунту в скибі буде рухатися по траєкторії, яка не є плоскою кривою, а являє собою гвинтову лінію. Отже, для розрахунку швидкостей руху частинок ґрунту на поверхні ножа, згідно з рисунком 2.5, необхідно побудувати прямокутну систему координат з початком (началом) у точці М.

2.2.3. Обчислення відносних швидкостей часток ґрунту по поверхні ножа і аналіз динамічних характеристик їх руху

Для виконання розрахунків відносних швидкостей руху часток ґрунту по поверхні ножа та визначення їхніх динамічних характеристик було розроблено комп'ютерну програму, використовуючи програмну оболонку Embarcadero RAD Studio 2009. Ця програма структурована з трьох основних форм:

головна форма, яка використовується для введення вихідних даних, безпосереднього проведення розрахунків і виведення отриманої інформації про значення швидкостей у текстовому форматі;

друга форма призначена для відображення графіків відносних швидкостей руху часток ґрунту по поверхні ножа;

третья форма відображає графіки сукупної дії сил на частку ґрунту під час її переміщення по поверхні ножа. Для обчислення значення швидкості руху точки M у чотирьох її положеннях на напрямній CF поверхні ножа необхідні відповідні вхідні дані.

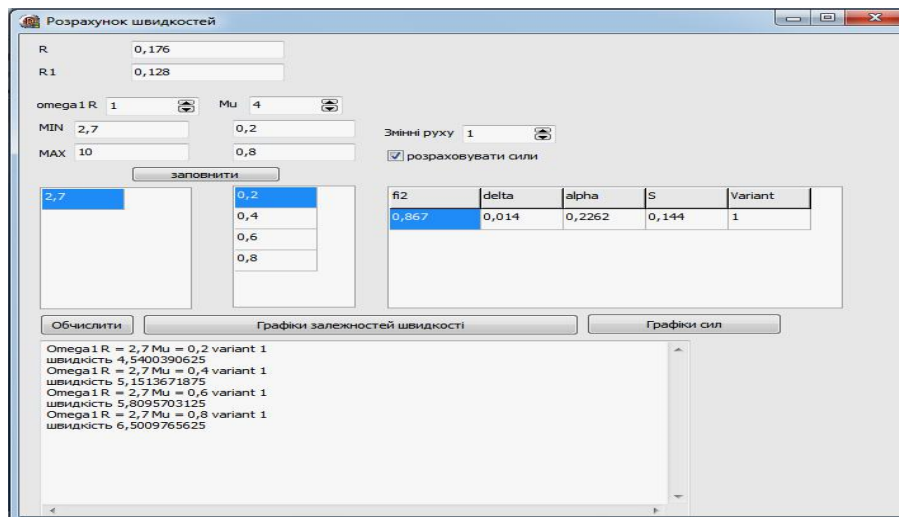


Рисунок 2.6 - Головна форма програми

Після підстановки визначених вхідних даних було отримано значення відносної швидкості точки М по поверхні з напрямною CF. На основі цих даних було побудовано графік змін швидкості руху точки М в залежності від лінійної швидкості ножа при радіусі $R_1 = 0,097$ і різних значеннях коефіцієнту тертя (рис. 2.7).

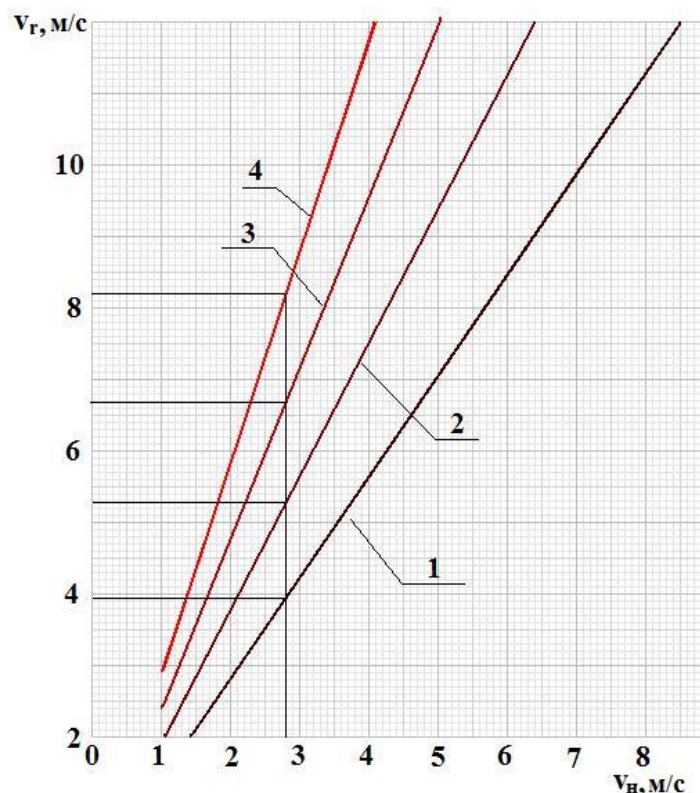


Рисунок 2.7 - Зміни відносної швидкості V_r руху т. М в залежності від лінійної швидкості ножа V_n при таких значеннях коефіцієнту тертя: 1 - коефіцієнт тертя $\mu = 0,2$; 2 - коефіцієнт тертя $\mu = 0,4$; 3 - коефіцієнт тертя $\mu = 0,6$; 4 - коефіцієнт тертя $\mu = 0,8$.

Для того, щоб виявити вплив радіуса ножа R_1 на відносну швидкість V_r точки М по його поверхні, було проведено додаткові розрахунки з використанням різних значень радіусів ножа. Результати цих обчислень, які демонструють залежність відносної швидкості від радіуса R_1 , наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення відносних швидкостей V_r т. М на виході з поверхні ножа при лінійній швидкості ножа $V_n = 2,7$ м/с для радіусів ножа R_1 : 0,107 м; 0,097 м; 0,087 м

Коефіцієнт тертя, μ	Постійна b , м/с ²	Відносної швидкості т. М V_r , м/с
$R_1 = 0,107$		
0,4	19,55	5,49
0,5	17,47	6,18
0,6	15,39	6,90
$R_1 = 0,097$		
0,4	15,36	5,26
0,5	13,24	5,96
0,6	11,13	6,68
$R_1 = 0,087$		
0,4	10,71	4,91
0,5	8,63	5,60
0,6	6,55	6,31

Аналіз даних таблиці 2.2 демонструє, що при зменшенні радіуса ножа значення відносної швидкості точки М та коефіцієнта дії сил зменшуються несуттєво. Однак, збільшення радіуса ножа від значення 0,097 м призводить до зменшення заднього кута різання, а зменшення радіуса веде до накопичення ґрунту всередині оброблюваної смуги. Оскільки це небажане явище, для подальших

експериментальних досліджень, з урахуванням результатів обґрунтування параметрів напрямної лінії поверхні, радіус ножа приймається рівним 0,097 м. Визначення значень кінематичних параметрів фрези, зокрема частоти обертання роторів, необхідної для досягнення такої швидкості часток ґрунту, при якій забезпечується оптимальна якість обробітку ґрунту та мінімізується потужність роботи фрези, можливе лише шляхом проведення планованого експерименту.

Для того щоб розробити план експерименту, перш за все необхідно встановити граничні межі варіювання частоти обертання роторів. З цією метою буде побудовано графік змін відносної швидкості V_r в залежності від різних значень коефіцієнту тертя при фіксованій лінійній швидкості ножа $V_n = 2,7$ м/с, оскільки саме ця лінійна швидкість була прийнята раніше при обґрунтуванні параметрів напрямної поверхні ножа (рис. 2.8).

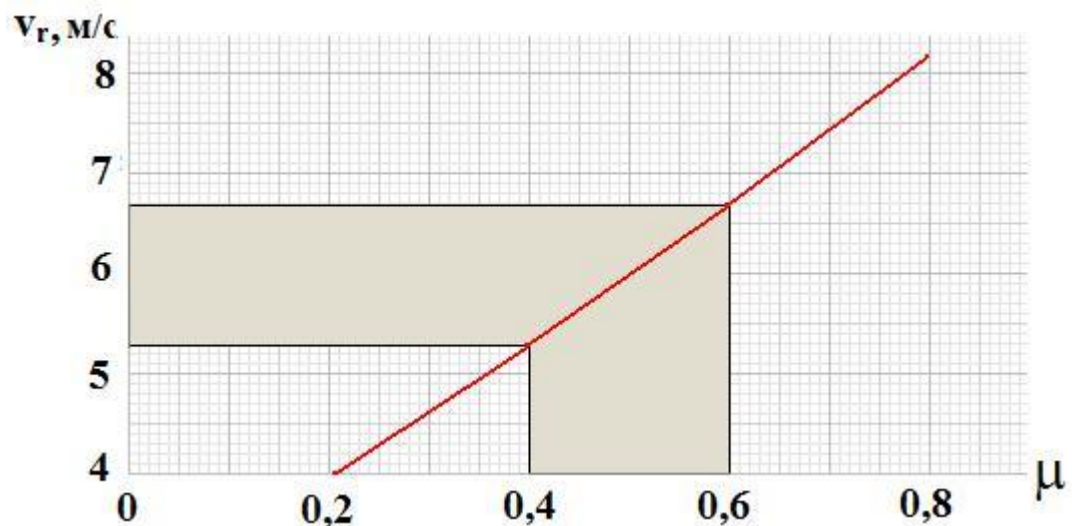


Рисунок 2.8 - Зміни швидкості V_r руху т. М по поверхні ножа від різних значень коефіцієнту тертя при лінійній швидкості ножа $V_n = 2,7$ м/с і радіусі ножа $R_1 = 0,097$ м.

З аналізу даних таблиці 2.2 та представлених залежностей (рис. 2.7 і 2.8) випливає, що при середніх значеннях коефіцієнту тертя (μ) в діапазоні від 0,4 до 0,6, відносна швидкість V_r руху точки М змінюється наступним чином: при $\mu = 0,4$, $V_r = 5,26$ м/с (що відповідає збільшенню V_r у 2,4 рази); при $\mu = 0,5$, $V_r = 5,96$ м/с (збільшення V_r у 2 рази); і при $\mu = 0,6$, $V_r = 6,68$ м/с (збільшення V_r у 1,8 рази).

Враховуючи, що відносна швидкість V_r руху точки М (далі – частки ґрунту) на виході з ножа збільшується в середньому у 2 рази від початкового значення, яке дорівнює лінійній швидкості ножа $V_n = 2,8$ м/с, для планування дослідів частоту обертання роторів доцільно приймати в межах від 2 с⁻¹ до 3 с⁻¹ з інтервалом варіювання $0,5$ с⁻¹. Набута часткою ґрунту швидкість буде впливати як на розпушення ґрунту, так і на його розкидання ножем. Для визначення впливу відносної швидкості частки ґрунту саме на процес розкидання, наступним кроком необхідно обчислити дальність польоту окремої частки ґрунту.

2.2.4. Визначення дальності відкидання частки ґрунту ножем

Прийmemo, що кут нахилу до горизонталі вектора початкової швидкості руху ґрунту рівномірно розподілений на інтервалі $0, 0,5$ рад. У цьому випадку, без урахування впливу опору повітря, час польоту частки ґрунту T можна обчислити за формулою:

$$\tau = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g},$$

де V_0 – початкова швидкість частки ґрунту;

α – кут нахилу вектора польоту частки ґрунту до горизонталі;

g – прискорення вільного падіння.

Для подальших розрахунків і аналізу ми вводимо наступні припущення: зіткнення між частками ґрунту будемо вважати непружним; горизонтальна складова вектора початкової швидкості руху ґрунту V_r розподілена рівномірно по куту відносно деякого орту.

Враховуючи симетричність задачі, для визначення математичного очікування величини горизонтальної проєкції швидкості після зіткнення часток, вектори можна розглядати лише в першій координатній чверті. Це дозволяє вважати вектор горизонтальної проєкції швидкості V_r випадковою величиною, яка рівномірно розподілена в інтервалі $0, 0,5$ рад (рис. 2.9).

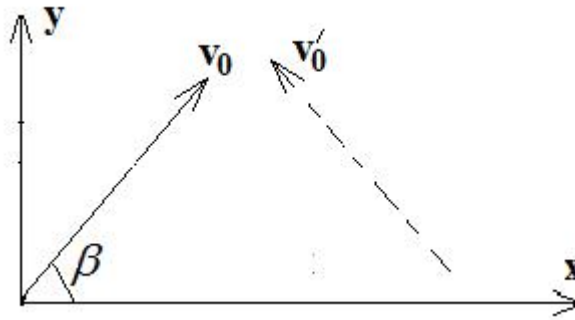


Рисунок 2.9 - Горизонтальні проекції векторів швидкостей часток ґрунту.

Беручи до уваги, що ми розглядаємо потік часток і з урахуванням другого припущення (про рівномірний розподіл горизонтальної складової швидкості), кожен потік часток із кутами в діапазоні $[\beta; \beta+d\beta]$ має ідентичний потік такої ж щільності з діапазоном кутів $[-\beta; -\beta-d\beta]$. Це означає, що проекція швидкості на вісь після зіткнення часток дорівнюватиме нулю через взаємне погашення симетричних складових. Таким чином, частки після зіткнення матимуть лише складову швидкості V_y , а модуль горизонтальної складової швидкості буде визначатися як $V_0 \cos \alpha$.

Для визначення впливу сили опору повітря на рух частки ґрунту виходимо з того, що опір повітря дорівнюватиме добутку площі міделя A та динамічного тиску потоку повітря q на коефіцієнт обтікання C_x (тобто $R = A q C_x$). Враховуючи, що кут нахилу до горизонталі розподілений рівномірно на інтервалі $[0,0,5 \text{ рад}]$, і поверхня поля суттєво відрізняється від ідеальної площини, виникає ймовірність зіткнення частки ґрунту з нерівностями поверхні поля. Для врахування цього явища вводимо поправочний коефіцієнт $0,5$. Середню дальність відкидання частки ґрунту ножем $L_{сер}$ з радіусом напрямної ножа $R_1 = 0,097 \text{ м}$ та відносними швидкостями V_r (де $V_r = V_0$) при значеннях коефіцієнту тертя μ від $0,4$ до $0,6$, обчислимо за рівнянням (2.18), використовуючи такі вхідні дані:

щільність повітря $\rho_1 = 1,29 \text{ кг/м}^3$;

щільність ґрунту $\rho_2 = 1500 \text{ кг/м}^3$;

середній діаметр частки ґрунту $d = 0,005 \text{ м}$.

Результати цих обчислень наведені у таблиці 2.3, а залежність середньої дальності відкидання частки ґрунту ножем представлена на рисунку 2.10.

Таблиця 2.3 - Середня дальність відкидання частки ґрунту ножем фрези

Коефіцієнт тертя μ	Відносна швидкість частки ґрунту v_r ($v_r = v_0$), м/с	Середня дальність відкидання частки ґрунту L , м
0,4	5,22	0,40
0,42	5,35	0,42
0,44	5,49	0,44
0,46	5,63	0,46
0,48	5,77	0,48
0,5	5,91	0,51
0,52	6,05	0,53
0,54	6,20	0,55
0,56	6,34	0,58
0,58	6,48	0,60
0,6	6,63	0,63

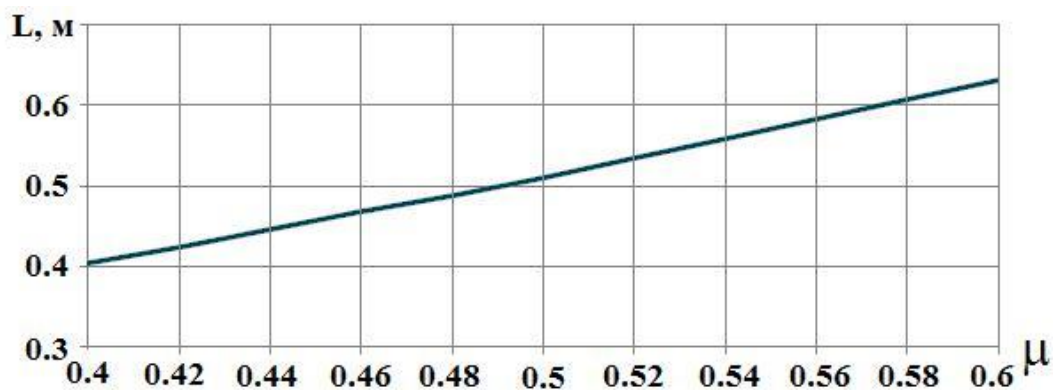


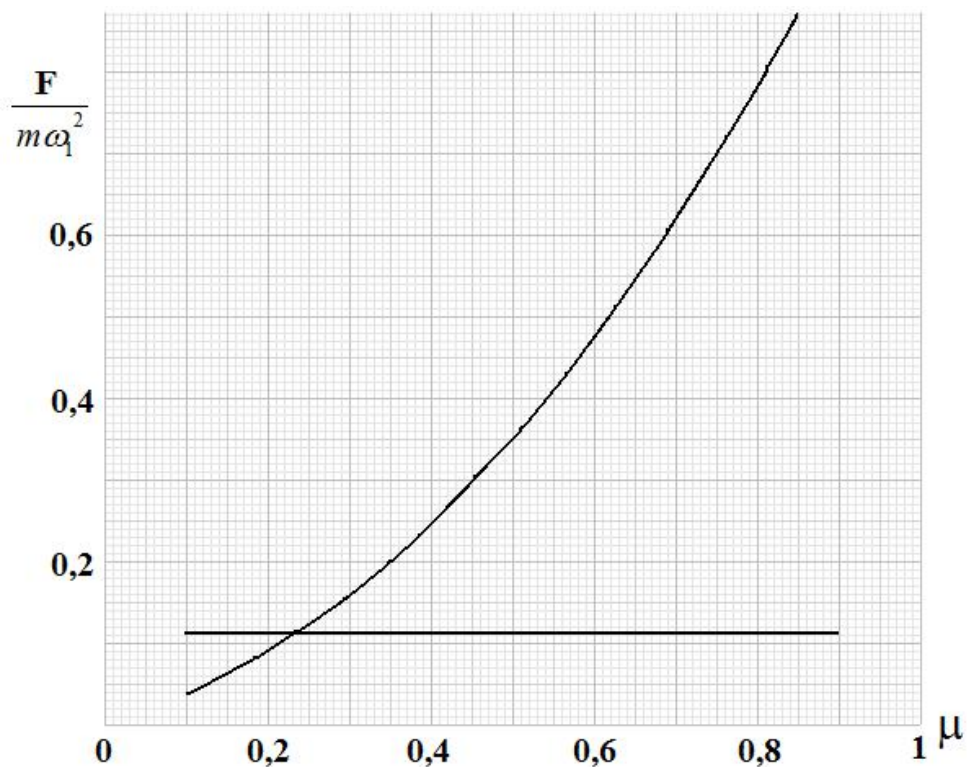
Рисунок 2.10 - Залежність середньої дальності відкидання частки ґрунту ножем від коефіцієнту тертя μ .

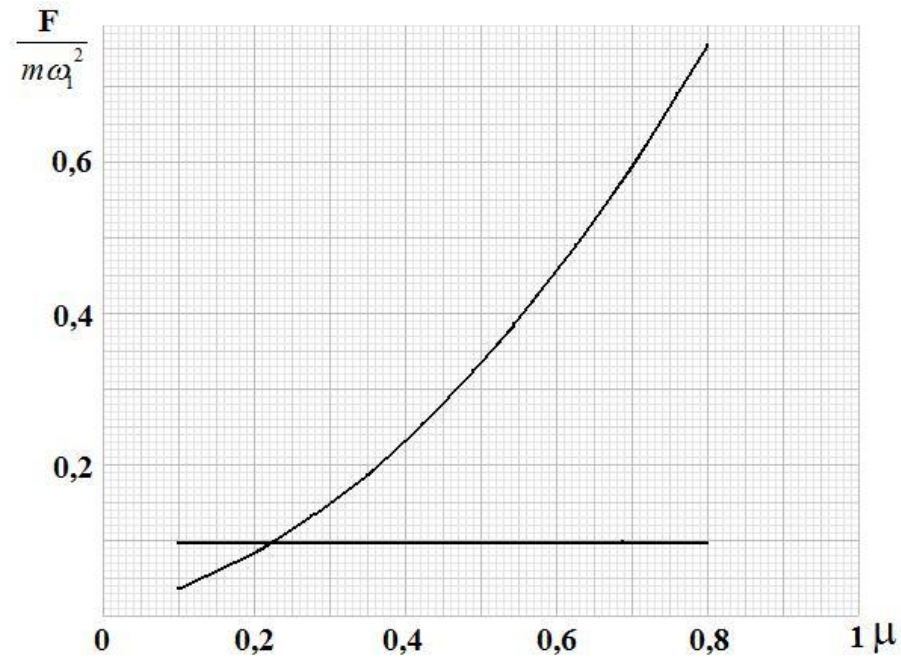
На основі даних таблиці 1 та рисунка 2.10 випливає, що при коефіцієнті тертя $\mu = 0,5$ відносна швидкість частки ґрунту V_r становить 5,91 м/с, а середня

дальність відкидання частки ґрунту ножем дорівнює 0,51 м. Враховуючи, що ніж ротора з радіусом $R = 0,176$ м рухається по трохойді, і що в точці С трохойди (рис. 2.3) завершується процес різання ґрунту ножем, а напрямок руху часток ґрунту при виході з ножа є перпендикулярним відносно напрямку руху самої фрези, можна спрогнозувати, що розкидання ґрунту за межі ширини захвату фрези не перевищуватиме 0,16 м з кожного боку обробленої смуги.

2.2.5 Аналіз динамічних характеристик взаємодії ґрунту з поверхнею робочого органу

На рисунку 2.11 представлено графіки зміни стримуючих та рухомих сил для трьох різних радіусів ножа R_1 : 0,107 м, 0,097 м та 0,087 м. З наведених залежностей випливає, що стримуючі сили є постійними та не залежать від коефіцієнту тертя μ . Для всіх аналізованих значень радіусів ножа існують точки рівноваги, в яких величини стримуючих і рухомих сил збігаються. Зокрема, для радіуса ножа $R_1 = 0,107$ м точка рівноваги настає при значенні коефіцієнту тертя $\mu = 0,24$ (рис. 2.11 а)); для радіуса ножа $R_1 = 0,097$ м точка рівноваги настає при $\mu = 0,22$ (рис. 2.11 б)); а для радіуса ножа $R_1 = 0,087$ м точка рівноваги настає при $\mu = 0,2$ (рис. 2.11 в)).





$R=0,097$

б)

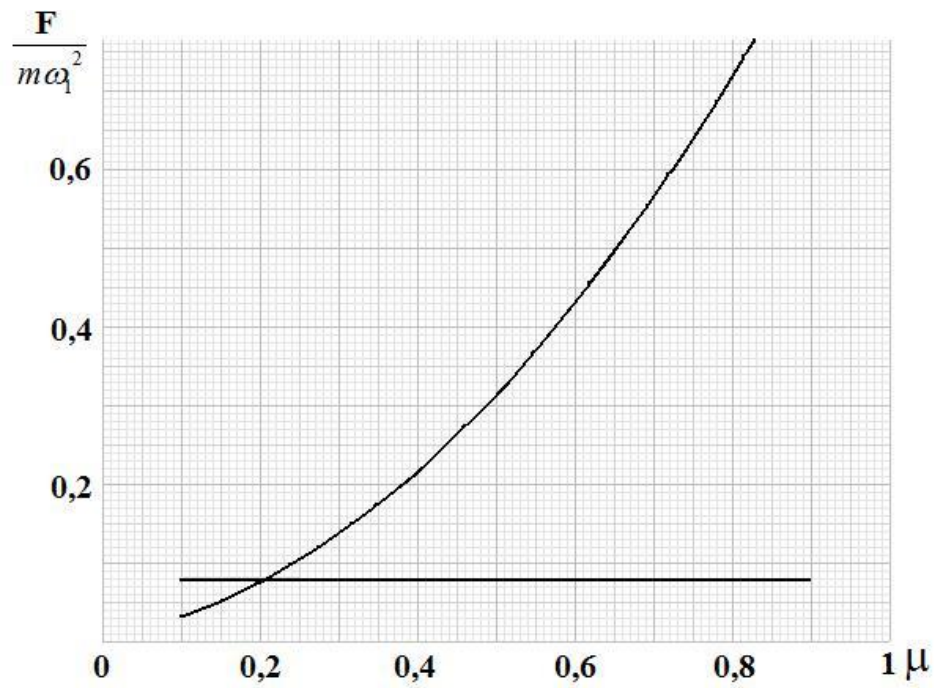


Рисунок 2.11 - Графіки залежностей коефіцієнту сил від коефіцієнту тертя для радіусів ножа R_1 : 0,107; 0,097; 0,087: 1 - сили, які сприяють рух частки ґрунту; 2 - сили, які сприяють руху частки ґрунту.

Вплив радіусів ножа на відносну швидкість частки ґрунту Vr при $\mu = 0,5$, і значення коефіцієнту дії сил ξ наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт ξ і відносна швидкість ґрунтової частки $r1$ залежно від $R1$ при $\mu=0,5$

Радіус ножа R_1 , м	Коефіцієнт дії сил ξ		Відносна швидкість частки ґрунту Vr , м/с
	стримуючих	рухомих	
0,107	0,12	0,35	6,1
0,097	0,10	0,33	5,9
0,087	0,08	0,31	5,6

Аналіз даних, представлених у таблиці 2.3, показує, що зменшення радіуса ножа призводить до несуттєвого зменшення значень відносної швидкості частки ґрунту та коефіцієнту дії сил. Однак, збільшення радіуса ножа понад значення 0,097 м спричиняє зменшення заднього кута різання, тоді як його зменшення веде до накопичення ґрунту всередині оброблюваної смуги. Оскільки це небажане явище, для проведення експериментальних досліджень, зважаючи на результати обґрунтування параметрів напрямної лінії поверхні ножа, його радіус має бути прийнятий рівним 0,097 м.

Висновки до розділу

Існуючий експериментальний зразок фрези з вертикальною віссю обертання робочих органів забезпечує коефіцієнт збереження структури ґрунту на рівні 0,82. Проте це значення не створює оптимальних умов для біологічних процесів у ґрунті, що негативно впливає на ріст і розвиток плодкових дерев.

Для підвищення структурно-агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах саду необхідно визначити граничні значення показників фракційного складу ґрунту та їхнє оптимальне співвідношення для різних типів ґрунтів із урахуванням застосування зрошення. Досягнення оптимальної структури ґрунту

можливе через застосування обґрунтованих робочих органів фрези, параметри форми і розташування яких сприяють збільшенню частки агрегатів розміром 0,25–7 мм у обробленому ґрунті.

На основі математичного моделювання взаємодії робочої поверхні ножа з ґрунтом встановлено, що для отримання оптимального структурно-агрегатного стану (коефіцієнт 0,6–0,8) слід застосовувати ножі з криволінійною поверхнею.

Моделювання показало, що робоча поверхня ножа повинна бути лінійчатою у вигляді прямого кругового циліндра з радіусом 0,097 м та максимальною довжиною дуги CF 0,114 м при радіусі роторів 0,176 м, кутовій швидкості 15,8 рад/с і поступальній швидкості машини 0,88 м/с. Відстань напрямної CF від траєкторії ріжучої крайки ножа має збільшуватися за лінійним законом, а задній кут різання $=10^\circ$ встановлюється від точки С на ріжучій крайці ножа.

За визначених геометричних та кінематичних параметрів відносна швидкість руху скиби ґрунту по поверхні ножа перевищує кутову швидкість ножа. Відносна швидкість часток ґрунту зростає за лінійним законом і на виході з ножа, при лінійній швидкості $V_n=2,7$ м/с та коефіцієнтах тертя $\mu=0,4-0,6$ змінюється наступним чином: для $\mu=0,4$, $V_r=5,26$ м/с (збільшення у 2,4 рази); для $\mu=0,5$, $V_r=5,96$ м/с (збільшення у 2 рази); для $\mu=0,6$, $V_r=6,68$ м/с (збільшення у 1,8 рази). Це підтверджує наявність розпушуючого ефекту завдяки запропонованій формі ножа.

Для забезпечення оптимальних кінематичних параметрів фрези, зокрема частоти обертання роторів, необхідної для високої якості обробітку ґрунту та мінімізації споживаної потужності, слід приймати частоту обертання в межах 2–3 с^{-1} із кроком 0,5 с^{-1} .

При відносній швидкості частки ґрунту $V_r=5,9$ м/с ($\mu=0,5$) середня дальність відкидання частки ножем становить 0,51 м. Для радіусу ротора $R=0,176$ м, швидкості руху фрези $V_m=0,7$ м/с та частоти обертання роторів $\omega=15,8$ рад/с прогнозується, що розкидання ґрунту за межі обробленої смуги шириною 0,7 м не перевищуватиме 0,16 м з кожного боку смуги.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження зміни агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень під впливом води з систем штучного зрошення

У процесі зрошення плодових насаджень вода з краплинних систем подається безпосередньо в пристовбурну смугу, забезпечуючи локальне зволоження ґрунту. Поливи здійснюються протягом усього періоду вегетації, і їхня кількість може сягати десяти. Надходження води зумовлює зміни у структурній організації ґрунту, насамперед в його агрегатному складі, однак закономірності та темпи цих змін досліджено недостатньо. Враховуючи, що основним призначенням фрези є підтримання належного стану ґрунту в пристовбурних смугах, своєчасне встановлення моментів для виконання коригувального механічного обробітку є ключовою умовою для досягнення максимальної ефективності використання ґрунтообробного обладнання.

Згідно з вимогами ДСТУ 4362, рівень родючості ґрунту визначають за комплексом агрофізичних показників, до яких належать: агрегатний склад; щільність ґрунту; найменша вологоємність (НВ); запаси продуктивної вологи.

Оцінювання агрегатного стану ґрунту здійснюють за шкалою структурно-агрегатної будови. Вважається, що ґрунт має «відмінну» структуру, якщо частка агрегатів діаметром від 0,25 мм до 7 (10) мм перевищує 80 %. Ці агрегати належать до мезофракції (mII). Частинки розміром понад 10 мм відносять до макроагрегатів (крупна фракція mII), а менші за 0,25 мм — до мікроагрегатів (фракція mI). Тому для визначення оптимального моменту застосування фрези з метою забезпечення необхідної частки агрегатів середнього розміру (0,25–7(10) мм) потрібні лабораторні дослідження, що дозволять простежити динаміку структурно-агрегатних змін під впливом води з краплинних систем зрошення.

3.1.1. Методика проведення лабораторного дослідю

Назва дослідю: «Дослідження змін агрегатного складу ґрунту під впливом води».

Мета дослідю: встановити особливості та закономірності зміни структурно-агрегатного стану ґрунту під дією води, що йде з систем штучного зрошення насаджень під час вегетаційного періоду.

Об'єкт дослідження: процес трансформації агрегатного складу ґрунту під впливом зволоження.

Умови проведення: експериментальні роботи виконували у лабораторних умовах за моделювання впливу природних факторів зовнішнього середовища.

Вимірювальне обладнання: лабораторні ваги, комплект сит для механічного фракціонування ґрунтової маси, вологомір.

Схема дослідю. Відібраний об'єм ґрунту фракціонували методом ситового аналізу відповідно до вимог ГОСТ 12536, виділяючи три групи частинок:

- I фракція — частинки діаметром менш як 0,25 мм;
- II фракція — частинки розміром від 0,25 мм до 10 мм;
- III фракція — частинки діаметром понад 10 мм.

На основі сформованих фракцій створювали вихідний структурний стан ґрунту з визначеним коефіцієнтом структурності. У дослідю передбачено п'ять його значень:

1. 0,2;
2. 0,4;
3. 0,6;
4. 0,8;
5. 1,0.

Для кожного варіанта готували три повторні зразки об'ємом 20 дм³, які розміщували в окремих судинах. Загальна кількість ємностей, що використовувалися під час дослідження, становила 150.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд лабораторних судин, використаних для дослідження змін агрегатного складу ґрунту під впливом води.

Вологість ґрунту в кожній судині під час проведення поливу доводили до рівня 70 % від найменшої вологоємності. Після цього ґрунтові зразки з кожного повторення висушували в сушильній шафі, а далі визначали їх гранулометричний склад методом ситового аналізу відповідно до вимог ГОСТ 12536. Коефіцієнт структури визначали в нормованому значенні на інтервалі від 0 до 1 за такою формулою:

$$K_{c(n)} = \frac{m_{II}}{m_I + m_{II} + m_{III}} = \frac{K_c(m_I + m_{III})}{m_I + m_{III} + K_c(m_I + m_{III})} = \frac{K_c}{1 + K_c}$$

де: m_I , m_{II} , m_{III} – маса ґрунту I, II и III фракцій, г.

$$K_c = \frac{m_2}{m_1 + m_3}$$

3.1.2. Результати досліджу

За підсумками оброблення даних десяти послідовних поливів для кожного варіанта було побудовано графічні залежності зміни коефіцієнта структурності ґрунту (рис. 1–5). На цих залежностях за допомогою точок перетину прямих L з кривими визначено інтервали, у межах яких відхилення коефіцієнта структурності становлять 10 % від максимальних значень. Аналіз динаміки трансформації твердої фази ґрунту під дією води дав змогу встановити таке.

Перший варіант (початковий коефіцієнт структурності 0,2). Після першого поливу спостерігалось незначне підвищення коефіцієнта структурності. Максимальне значення показника зафіксовано після шостого поливу. До десятого поливу коефіцієнт знизився до 0,1.

Другий варіант (початковий коефіцієнт структурності 0,4). Перший полив спричинив зростання коефіцієнта на 0,15. Найвищого значення показник досягнув після четвертого поливу. На десятому поливі значення зменшилося до 0,56, що відповідає рівню після першого поливу.

Третій варіант (початковий коефіцієнт структурності 0,6). Після першого поливу коефіцієнт збільшився на 0,10. Пік його значення припав на восьмий полив. До десятого поливу показник повернувся до рівня 0,63, що фактично відповідає початковому.

Четвертий варіант (початковий коефіцієнт структурності 0,8). У цьому варіанті перший полив призвів до зниження коефіцієнта на 0,085. Максимального значення показник досягнув після четвертого поливу. До десятого поливу коефіцієнт зменшився до 0,7, що нижче за початкове значення.

П'ятий варіант (початковий коефіцієнт структурності 1,0). Після першого поливу зафіксовано суттєве зниження коефіцієнта — приблизно на 0,45. Найбільше значення показник мав після п'ятого поливу. До десятого поливу коефіцієнт знизився до 0,45, що менше початкового рівня на 0,55.

3.2. Лабораторно-польові дослідження розроблених робочих органів експериментальної машини МФ-1М

3.2.1. Програма та методика досліджень

Метою проведених польових випробувань було оцінити ефективність функціонування розроблених робочих органів у складі експериментальної фрезерної машини МФ-1М.

Програма досліджень передбачала виконання таких основних етапів:

- виготовлення експериментальних роторів для фрези МФ-1 із встановленими робочими органами (ножами), параметри яких були попередньо визначені та обґрунтовані в теоретичній частині дослідження;
- вивчення впливу конструктивних характеристик робочих органів та режимів роботи машини на структурно-агрегатний стан ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень;
- визначення впливу параметрів робочих органів і режимів роботи на витрати енергії, необхідної для приводу роторів від валу відбору потужності (ВВП) трактора.

Для реалізації зазначених завдань, відповідно до виконаних розрахунків, було виготовлено комплект ножів (рис. 3.2) та два дослідні ротори фрезерної машини. Виробництво здійснено на приватному підприємстві «Квін-Майстер» (м. Кам'янець-Подільський) (рис. 3.3).



Рисунок 3.2 – Робочий ніж експериментальної фрезерної машини.

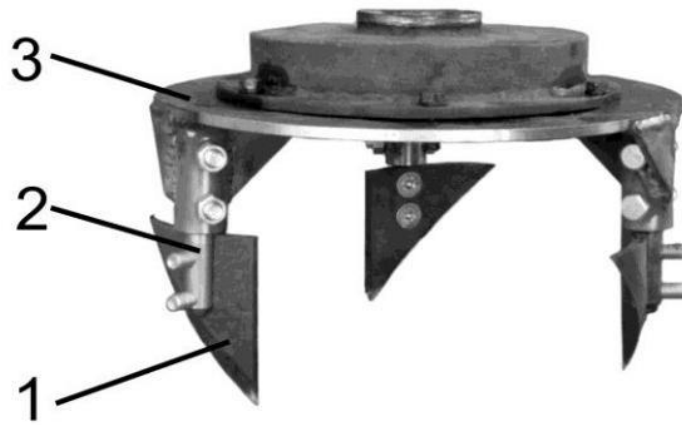


Рисунок 3.3 - Ротор (ножовий) фрезмашини: 1 - ніж; 2 - стійка ножа; 3 - диск.

Розроблені ножі були змонтовані на роторах експериментальної фрезерної машини МФ-1М, загальний вигляд якої наведено на рисунках 3.4 та 3.5.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М.



Рисунок 3.5 - Загальний вигляд експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М з трактором ЮМЗ-6.

Фрезерна машина оснащена двома роторами 1 і 2 і ножами 3 (рис. 3.6), що обертаються в протилежних напрямках та обробляють смугу шириною 70 см і розміщені на відстані 200 см від осі трактора. Така конструкція дає можливість застосовувати фрезу в насадженнях інтенсивного типу.

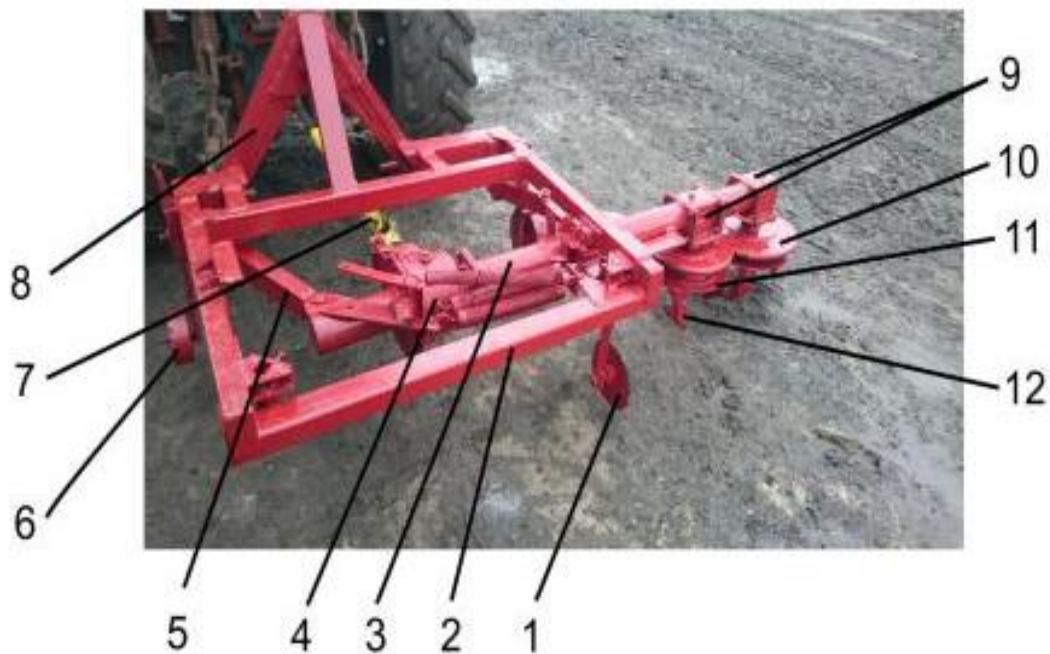


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М спереду та ззаду:

1 – дисковий ніж; 2 – рама; 3 – висувна секція; 4 – редуктор; 5 – паралелограмний механізм; 6 – опорно-регулюючі колеса; 7 – карданна передача; 8 – автозчеплення; 9 – конічні редуктори; 10 – фрезерні ротори; 11 – диски; 12 – ножі.

Кожен ротор фрези складається з диска 1 зі стійками 2, на яких у шаховому порядку змонтовано по три ножі 3. Між диском і редуктором розташовані фрикційні муфти 4, призначені для захисту від аварійних поломок у разі потрапляння каміння, дроту чи інших перешкод у зону розпушування. Робочі органи ротора (ножі) мають циліндричну форму поверхні і безпосередньо взаємодіють із ґрунтом.

Під час роботи ножі занурюються в ґрунт на глибину до 8 см (близько $\frac{2}{3}$ довжини ножа H). Рухаючись поступально, фрезерна машина розрізає ґрунт у пристовбурній смузі по трохохідальним траєкторіям. Відокремлена скиба ґрунту взаємодіє з внутрішньою поверхнею ножа, набуваючи під дією сил відносної швидкості V_A , спрямованої до поверхні ґрунту. Величина цієї швидкості перевищує окружну швидкість ножа, що дозволяє збільшити частку середньої фракції ґрунту до 80%.

3.2.2. Математичне планування експериментів для визначення оптимальних режимів роботи фрези

Для перевірки висновків теоретичних досліджень та встановлення оптимальних технологічних параметрів роботи розроблених робочих органів фрезерної машини були проведені польові випробування з використанням методів математичного планування експерименту.

Вибір факторів і критерію оптимізації.

Попередній аналіз науково-технічної літератури та патентної документації дозволив виділити фактори, які мають найбільший вплив на якість технологічного процесу обробки ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень. На основі цієї апріорної інформації обрано відповідні фактори, фактори, такі як швидкість руху агрегату; частота обертання ножів фрези; глибина обробітку ґрунту; щільність ґрунту; вологість ґрунту; радіус обертання робочих органів; кількість ножів на диску фрези; висота стійок ножів; ступінь задерніння ґрунту (маса рослин на 1 м^2).

Вказані фактори є найбільш значущими при плануванні експерименту з елементами математичного планування та відповідають поставленим вимогам.

Рішення завдання визначення оптимальних технологічних параметрів роботи фрезерної машини здійснюється у кілька етапів.

Попереднє ранжування факторів.

На початковому етапі досліджень виконується апріорне ранжування факторів, або так званий «психологічний експеримент». Його мета — зменшити обсяг експериментальної роботи шляхом виключення несуттєвих факторів із подальшого розгляду. Процес ранжування дозволяє формалізувати розрізнені відомості про об'єкт та порівняти фактори між собою, що спрощує розв'язання задачі на наступних етапах. Також спеціалісти можуть внести додаткову інформацію щодо особливостей об'єкта дослідження.

Метод полягає в тому, що кожному експерту надається анкета, в якій перераховані обрані фактори та допустимі рівні їх варіювання. Спеціаліст оцінює важливість кожного фактора з точки зору критерію оптимізації і заносить результати до таблиці.

Критерій оптимізації.

У дослідженнях з оптимізації механізованого обробітку ґрунту критерієм може слугувати коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту. Він дозволяє комплексно оцінити якість технологічного процесу та ефективність роботи фрези.

Для визначення впливу виділених факторів на роботу фрезерної машини було опитано 10 фахівців з обробітку ґрунту. Результати опитування оброблено за методикою математичного планування та наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.1 - Матриця рангів факторів впливу на роботу фрезерної машини МФ-1М

Спеціаліст	Фактори									
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	
1	3	2	1	5	4	9	7	6	8	
2	2	1	3	4	5	7	8	9	6	
3	2	3	1	4	5	9	8	6	7	
4	3	2	1	7	8	4	6	5	9	
5	1	3	2	4	7	5	6	9	8	
6	3	1	4	2	8	9	6	5	7	
7	3	1	2	8	7	6	5	4	9	
8	1	3	4	5	2	8	7	9	6	
9	1	2	3	7	8	5	4	6	9	
10	1	4	3	2	6	5	8	7	9	
Σa _{ij}	20	22	24	48	60	67	65	66	78	450
Δi=Σa _{ij} -L	-30	-28	-26	-2	10	17	15	16	28	
(Δi) ²	900	784	676	4	100	289	225	256	784	4018

За результатами обробки даних було розраховано коефіцієнт конкордації W, що характеризує ступінь узгодженості оцінок фахівців. Для проведеного дослідження його значення становить $W = 0,67$.

Коефіцієнт конкордації приймає значення в інтервалі від 0 до 1, причому чим вище його величина, тим більша узгодженість думок експертів. Після визначення коефіцієнта оцінюють його статистичну значущість за критерієм Кохрена (χ^2). Розрахункове значення критерію χ^2 визначається за формулою:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot k \cdot (k + 1)} = \frac{12 \cdot 4018}{10 \cdot 9 \cdot (9 + 1)} = 53,57$$

Згідно з таблицями критичних значень для 5% рівня значимості та при $\varphi=9-1=8 = 9 - 1 = 8=9-1=8$ ступенях свободи табличне значення $\chi_{\text{табл.2}}=15,5072$ табл. = 15,507 $\chi_{\text{табл.2}}=15,507$, що менше за розрахункове значення $\chi^2=53,57$ $\chi^2=53,57$.

Отже, оскільки табличне значення критерію χ^2 менше розрахункового, можна з ймовірністю 95 % стверджувати, що оцінки фахівців щодо впливу факторів, визначені коефіцієнтом конкордації $W = 0,67$, є узгодженими і не носять випадкового характеру.

На підставі апріорного дослідження було побудовано діаграму рангів, що показує вплив факторів на критерій оптимізації (рис. 3.7)

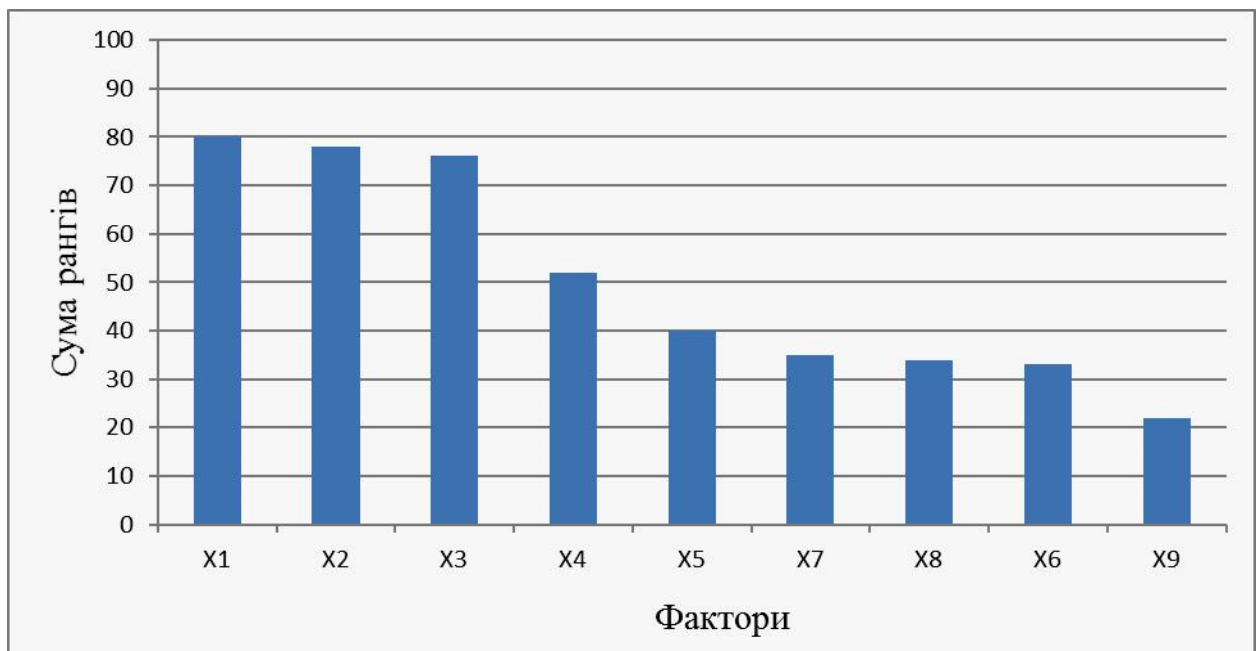


Рисунок 3.7 - Апріорна діаграма рангів впливу факторів на параметр оптимізації

Таким чином, за результатами обробки психологічного експерименту для проведення польових досліджень з оптимізації параметрів роботи фрези обрано три основні фактори, що визначають ефективність її роботи це - швидкість руху агрегату; частота обертання диска та глибина обробітку ґрунту.

Обґрунтування рівнів варіювання основних факторів.

Швидкість руху варіюється в межах від 4 до 5 км/год (1,1–1,5 м/с). Ці межі обрані відповідно до технічних характеристик трактора ЮМЗ-6 і відповідають швидкості руху трактора на першій та другій передачах.

Частота обертання диска фрези Х2 визначена в діапазоні від 2 с^{-1} до 3 с^{-1} . Межі цього фактору встановлено на основі результатів теоретичних досліджень (розділ 2). Подальше збільшення частоти обертання є недоцільним, оскільки відносна швидкість часток ґрунту може перевищувати лінійну швидкість ножа більш ніж удвічі, що призводить до погіршення якості обробки (розкидання ґрунту).

Під час обробки ґрунту необхідно не лише забезпечити оптимальну якість кришення та рівномірність поверхні, але й правильно визначити ширину оброблюваної смуги та глибину розпушування, з урахуванням мінімізації пошкоджень кореневої системи рослин.

Характерною особливістю кореневої системи плодкових дерев є значне поширення коренів у міжряддях. Відгалужуючись від штамба, вони проникають у ґрунт під певним кутом. Під час обробки ґрунту слід уникати пошкодження коренів діаметром від 8 до 10 мм і більше. Закономірність залягання коренів залежить від багатьох чинників, серед яких основними є біологічні особливості сорту, тип ґрунту, його вологість та інші умови.

Дослідження показали, що підрізання коренів діаметром 8–10 мм і більше призводить до зниження врожайності на 10 %, підвищує ризик захворювання дерев та може спричинити їх усихання.

Кісточкові культури, як правило, вирощуються на насінневих підщепах. У порівнянні з вегетативними підщепами вони характеризуються більшою силою росту дерев, меншою вимогливістю до родючості ґрунтів та підвищеною посухостійкістю. Коренева система таких саджанців має стрижневий тип. У цьому випадку в пристовбурній смузі глибина залягання коренів становить 15–20 см.

Отже, для запобігання пошкодженню коренів дерев максимальна глибина обробки ґрунту не повинна перевищувати 10 см (рис. 3.8).

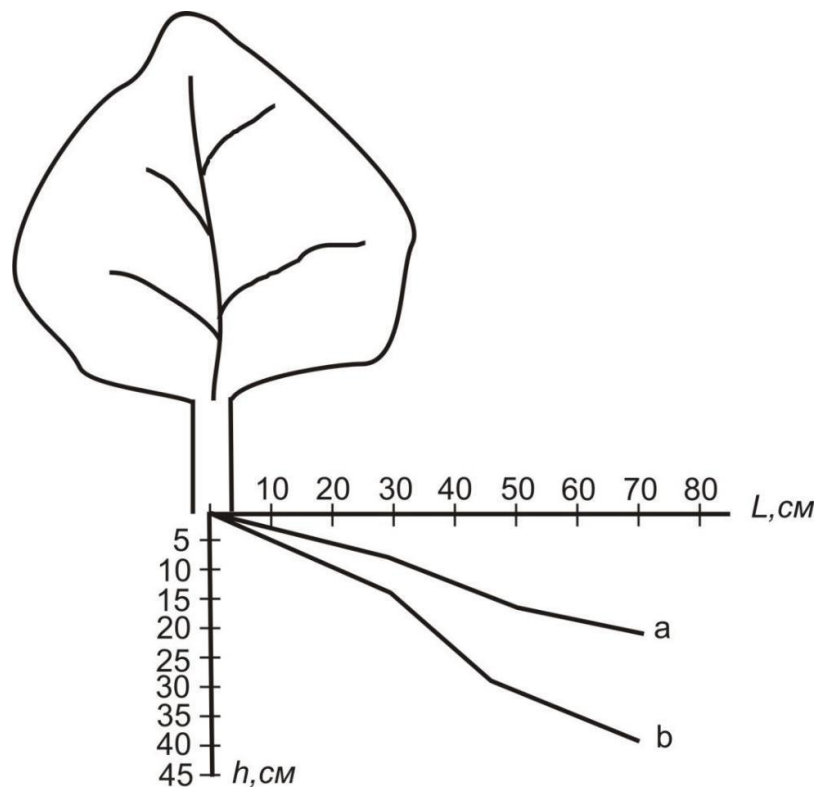


Рисунок 3.8 - Розташування кореневої системи високорослих (b) і пальметних (a) дерев.

Насіннєві культури, зокрема яблуня, здебільшого вирощуються на вегетативних підщепах. Біологічні властивості таких коренів зумовлюють їхню здатність до утворення додаткових кореневих пагонів. У сприятливих умовах (достатнє зволоження та наявність поживних речовин) глибина розташування коренів становить 5–10 см. Через це обробка ґрунту в пристовбурній смузі біля штамба дерева (на відстані 20–25 см) повинна проводитися на глибині не більше 3 см, щоб уникнути пошкодження кореневої системи.

Це обмеження визначає необхідність механізованої обробки ґрунту в пристовбурній смузі вже з першого року посадки для формування кореневої системи та запобігання росту коренів у зоні обробки. У разі відсутності своєчасного впливу за один-два роки корені загущуються, і мала глибина їх залягання ускладнить застосування будь-яких робочих органів сільськогосподарських машин.

Таким чином, діапазон глибини обробки ґрунту ХЗ у пристовбурній смузі може коливатися від 5 до 8 см. При цьому зміна глибини обробки у зазначених

межах не суттєво впливає на витрати потужності під час виконання технологічного процесу.

Обґрунтування рівнів варіювання допоміжних конструктивних факторів.

Кількість ножів на диску фрези X7 може змінюватися від 2 до 4. З огляду на конструктивні міркування та необхідну подачу на робочий орган під час польових досліджень, оптимально встановлено 3 ножі на диску.

Висота стійок робочих органів фрезерної машини X8 може коливатися в межах 5–10 см. На підставі результатів попередніх польових досліджень та за умови, що диск фрези не забивається ґрунтом, оптимальна висота стійок становить 6 см.

Радіус обертання робочих органів фрези X6 обирається з урахуванням конструктивних особливостей машини. Для підтримки технології утримання ґрунту під багаторічними насадженнями ширина пристовбурної смуги, де не проходять робочі органи під час міжрядного обробітку, становить 120–130 см. На висувній секції фрези розташовано два диски з робочими органами, і для забезпечення однакових умов роботи радіус обертання ножів на обох дисках дорівнює $R = 0,176$ м.

Фактори, що характеризують умови роботи фрези.

Вологість ґрунту (X5) та щільність (X4) не завжди можуть бути оптимально контрольовані, проте суттєво впливають на параметр оптимізації. Ступінь задерніння ґрунту (X9) є некерованим фактором і має випадковий характер як у природних, так і в штучних умовах.

Методика та апаратура для проведення польових досліджень.

На основі аналізу науково-технічної літератури та апріорної інформації відібрано фактори, що найбільше впливають на параметр оптимізації [27]. В якості параметра оптимізації обрано коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту, який визначає сприятливі умови для розвитку кореневої системи багаторічних насаджень і, відповідно, підвищення врожайності.

Другим параметром оптимізації обрано крутний момент, який характеризує енергоємність процесу обробітку ґрунту фрезерною машиною та

дозволяє порівняти витрати енергії між фрезами з розпушувальними пальцями та експериментальними робочими органами.

Для проведення експерименту з елементами математичного планування та з метою зменшення кількості варіантів дослідів обрано центральне композиційне планування другого порядку. Згідно з цим планом встановлено рівні варіювання обраних факторів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Значення рівнів та інтервалів варіювання факторів

Фактори	Кодифіковані значення факторів					Крок варіювання факторів
	-1,682	-1	0	1	1,682	
Швидкість руху, м/с X_1	0,2	0,4	0,7	1	1,2	0,3
Частота обертання роторів, s^{-1} , X_2	1,66	2	2,5	3	3,34	0,5
Глибина обробки, см, X_3	4,64	2,5	8	10	11,36	2

Для проведення польових досліджень, відповідно до [27], було розроблено план-матрицю ротатабельного центрального композиційного планування другого порядку.

Визначення енергоємності процесу обробітку ґрунту в пристовбурних смугах виконувалися згідно з ОСТ 70.2.2–73.

Під час експерименту фіксувалися наступні параметри: крутний момент, що передавався через ВВП трактора, Н·м; частота обертання валу відбору потужності трактора, s^{-1} ; швидкість руху агрегату, м/с.

Перші два показники вимірювалися методом тензометрування та передавалися на комп'ютер через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП).

Використана апаратура:

- посилювач ТОПА3-2;
- вимірювач крутного моменту (рис. 3.9);
- тахометр.



Рисунок 3.9 – Монтаж вимірювача крутного моменту на вал відбору потужності (ВВП) трактора.

Для визначення часу проходження агрегатом облікової ділянки на записах здійснювалися відповідні часові відмітки. Швидкість руху агрегату визначалася загальноприйнятими методами під час проходження облікової ділянки. Усі тензометричні прилади перед проведенням дослідів налаштовувалися та використовувалися відповідно до вимог і рекомендацій [34].

Обробка отриманих результатів проводилася згідно з методичними вказівками [25].

Результати польових випробувань.

Польові дослідження експериментальної фрезерної машини з новими робочими органами проводилися на території Державного підприємства дослідного господарства «Проскурівка» (Хмельницький район, Хмельницька область) у насадженнях яблуні з міжряддям 6×5 м. Під час випробувань машина МФ-1М працювала в агрегаті з трактором ЮМЗ-6. Ґрунт на ділянці був чорноземним. Умови проведення досліджень відповідали загальноприйнятим методикам [25]. Фізичні характеристики ґрунту наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Фізичний стан ґрунту

Шар ґрунту, см	Абсолютна вологість, %	Твердість, МПа
0–10	15,2	0,6
10–20	23,7	0,8

За результатами проведення експерименту за матрицею планування були отримані дані, що характеризують ефективність розпушення ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень. Основним показником для оцінки якості технологічного процесу обрано коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту. Паралельно для визначення енергоємності обробітку ґрунту за допомогою експериментальних робочих органів фрезерної машини здійснювалися вимірювання крутного моменту на валу відбору потужності (ВВП) трактора під час польових випробувань.

Після реалізації план-матриці експерименту та обчислення середніх значень критерію оптимізації для кожного дослідження перевірялася можливість застосування методу регресійного аналізу. Для цього спочатку оцінювалася гіпотеза однорідності дисперсій [22]. Підтвердивши однорідність дисперсій та прийнявши припущення про нормальний розподіл величин з урахуванням суворого контролю факторів на заданих рівнях, для обробки результатів експерименту був застосований регресійний аналіз [22].

Розрахунок коефіцієнтів регресії проводився згідно з методикою [22]. Для перевірки однорідності дисперсій середнього арифметичного по кожному дослідженню застосовувався критерій Кохрена на рівні значущості 0,05.

Математична модель залежності технологічного процесу обробітку ґрунту від факторів другого порядку у загальному вигляді може бути записана так:

$$Y = b_0 + b_1 X_{10} + b_2 X_7 + b_3 X_{210} + b_4 X_{27} + b_5 X_{10} X_7$$

При центральному композиційному рота табельному уніформ плануванні коефіцієнти регресії розраховуються по таким формулам:

$$b_0 = 0,2 \cdot \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u - 0,1 \cdot \sum_1^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot \bar{Y}_u$$

$$b_i = 0,125 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot \bar{Y}_u$$

$$b_{ii} = 0,1251 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot \bar{Y}_u + 0,0187 \cdot \sum_1^k x_{iu}^2 \cdot \bar{Y}_u - 0,1 \cdot \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u$$

$$b_{ij} = 0,25 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot \overline{Y_u}, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, k$$

Розрахунки за наведеними формулами виконувалися з використанням програми Excel. На основі отриманих даних були визначені коефіцієнти регресії.

Значущість коефіцієнтів регресії оцінювалася за критерієм Стьюдента, а адекватність побудованих математичних моделей перевірялась за критерієм Фішера [18].

Математичні рівняння регресії, що описують залежності:

- коефіцієнта структурно-агрегатного стану ґрунту (Y_1),
- та енергоємності процесу розпушення ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень (Y_2),

мають наступний вигляд:

$$Y_1 = 0,669 - 0,036X_1 + 0,029X_2 + 0,05X_3 - 0,124 X_{12} - 0,154 X_{22} - 0,098X_{32} - 0,0525X_1X_2 + 0,118X_2X_3 - 0,035X_1X_3$$

$$Y_2 = 195,53 + 22,04X_1 - 29,10X_2 + 29,35X_3 + 12,35 X_{12} + 34,62 X_{22} + 12,53 X_{32} - 3,38X_1X_2 - 14,13X_2X_3 + 4,13X_1X_3$$

Отримані рівняння дозволяють оцінити залежність досліджуваних параметрів від обраних факторів, визначити ступінь та характер впливу кожного фактору окремо, а також їх взаємодію.

Аналіз рівнянь показав, що на коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту (Y_1) найбільший вплив має глибина обробки ґрунту (X_3).

Що стосується енергоємності процесу обробки ґрунту (Y_2) дослідними робочими органами фрези, вибрані фактори мають майже однаковий вплив, але значніший вплив спостерігається у частоті обертання роторів фрези (X_2) та глибини обробки ґрунту (X_3).

Для більш детального аналізу були побудовані дворівневі перетини поверхонь відгуку у області експерименту при нульовому рівні інших факторів, що дозволило візуалізувати залежність: коефіцієнта агрегатного стану ґрунту від обраних факторів (рис. 3.10); енергоємності процесу розпушення ґрунту експериментальними робочими органами (рис. 3.11).

Для визначення оптимальних значень факторів, де коефіцієнт структурності ґрунту досягає максимальних показників, рівняння регресії було проаналізоване за допомогою програми Excel. В результаті було встановлено значення незалежних факторів, при яких коефіцієнт структурності ґрунту досягає максимального значення ($Y_{1\max}$) у заданих умовах роботи фрезерної машини $Y_{1\max} = 0,693$.

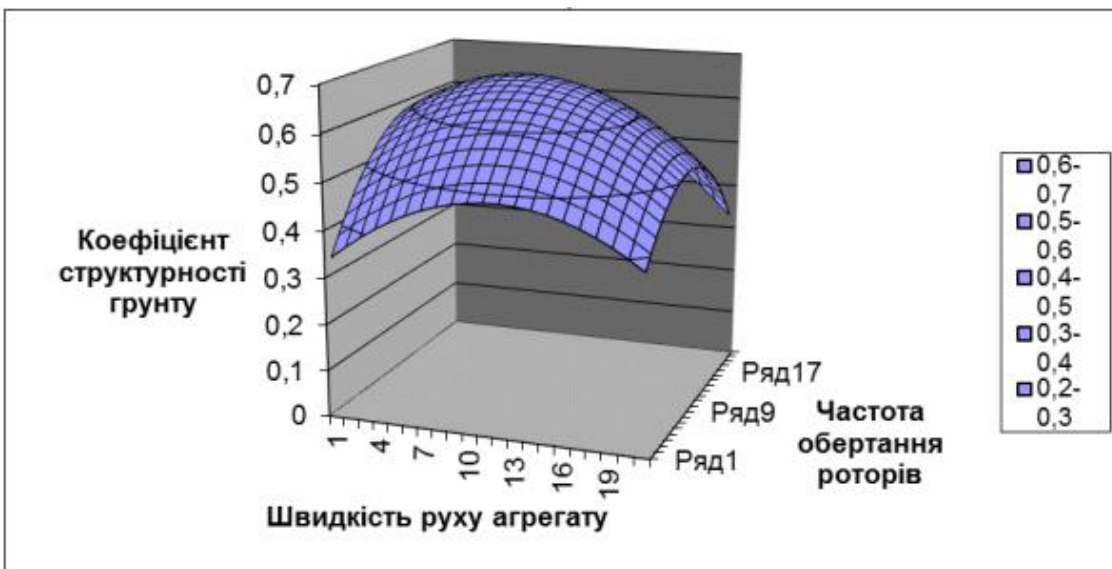
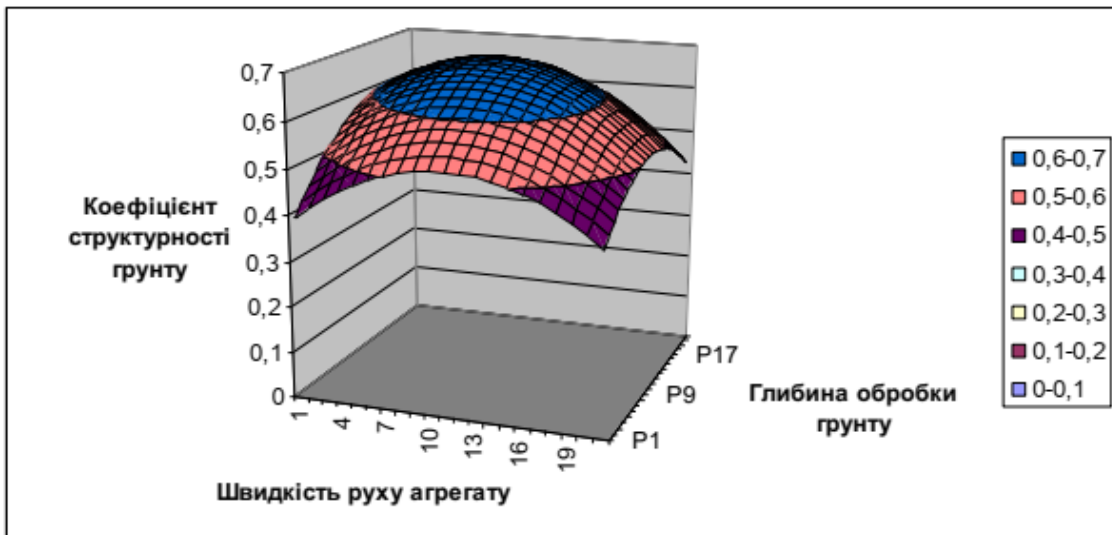
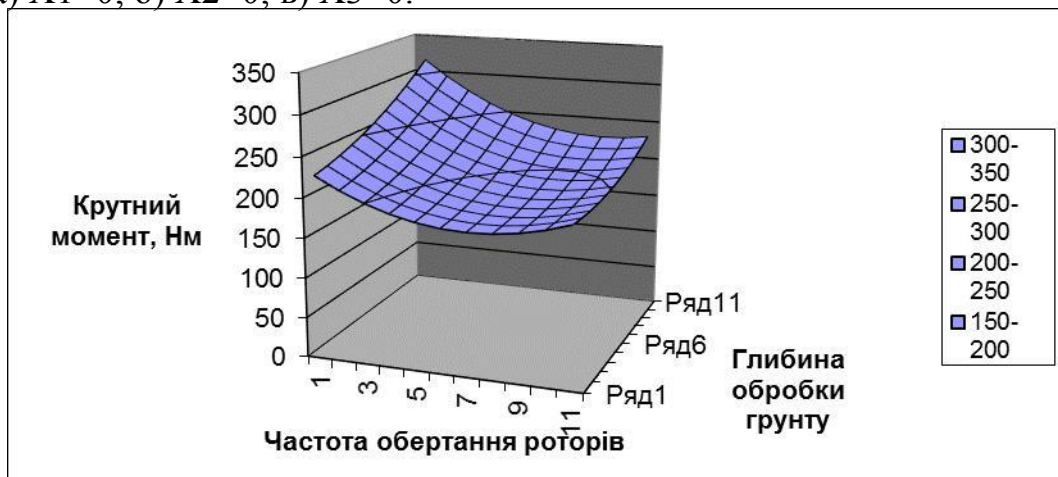


Рисунок 3.10 – Двовимірні перетини поверхні відгуку в зоні експерименту, що ілюструють вплив технологічних і кінематичних параметрів робочих органів фрезерної машини на коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту при:

а) $X_1=0$; б) $X_2=0$; в) $X_3=0$.



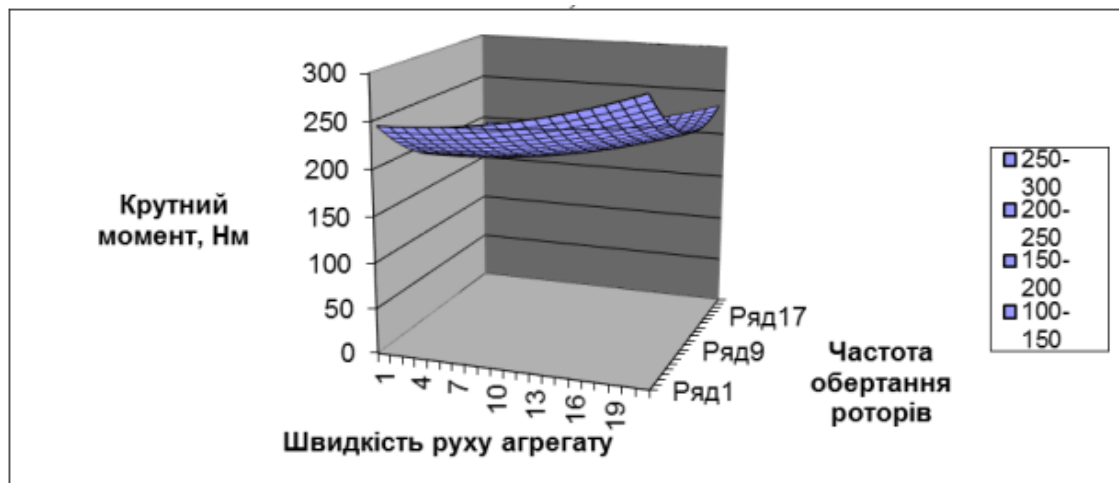
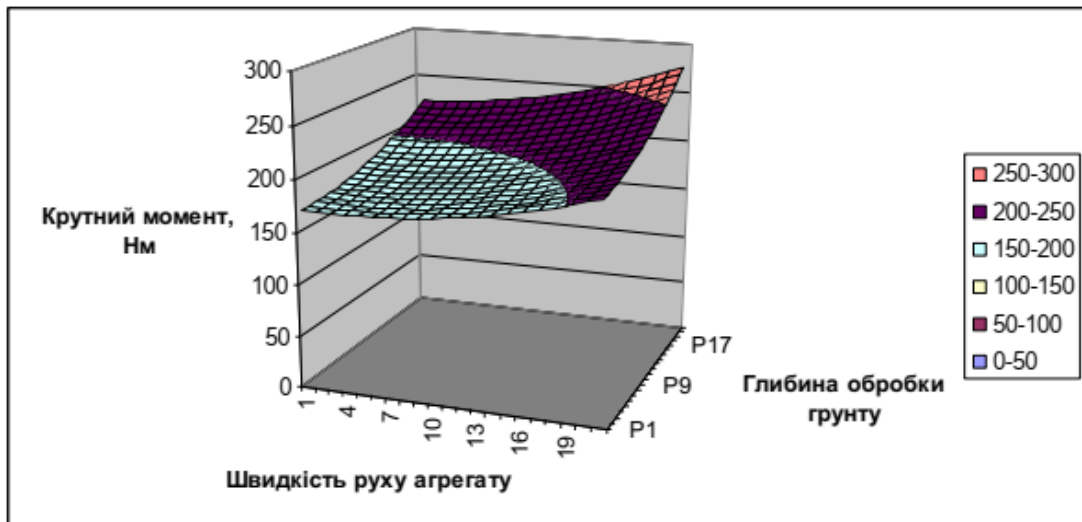


Рисунок 3.11 – Двовимірні поверхні відгуку в зоні експерименту, що демонструють вплив технологічних та кінематичних параметрів робочих органів фрезерної машини на енергоємність процесу обробітку ґрунту при:

а) $X_1=0$; б) $X_2=0$; в) $X_3=0$.

Для досягнення максимального коефіцієнта структурно-агрегатного стану ґрунту (Y_1) оптимальні значення незалежних факторів у кодованому вигляді становили:

- швидкість руху агрегату $X_1 = -0,329$;
- частота обертання ротора $X_2 = 0,379$;
- глибина обробітку ґрунту $X_3 = 0,558$.

В натуральних одиницях це відповідає:

- швидкість руху агрегату $X_1 = 0,61$ м/с;
- частота обертання ротора $X_2 = 2,7$ с⁻¹;

- глибина обробітку ґрунту $X_3 = 9,1$ см.

Аналіз рівняння енергоємності процесу обробітку ґрунту дозволив визначити параметри роботи агрегату для мінімального крутного моменту на ВВП трактора ($Y_2 = 171,84$ Нм). У кодованих значеннях незалежні фактори становили:

- швидкість руху агрегату $X_1 = -0,679$;
- частота обертання ротора $X_2 = 0,114$;
- глибина обробітку ґрунту $X_3 = -0,97$.

В натуральних одиницях це відповідає:

- швидкість руху агрегату $X_1 = 0,5$ м/с;
- частота обертання ротора $X_2 = 2,6$ рад/с;
- глибина обробітку ґрунту $X_3 = 6$ см.

При вирощуванні сільськогосподарських культур, включно з плодовими, ключовим фактором є врожайність, яку можна підвищити шляхом створення оптимальних умов для розвитку рослин. Забезпечення структурно-агрегатного стану ґрунту створює сприятливі умови для кореневої системи, що, у свою чергу, сприяє отриманню великих врожаїв.

Таким чином, якість обробки ґрунту у смугах багаторічних насаджень є критичною. Із двох параметрів основним є коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту. На його основі обирають технологічний та кінематичний режим роботи агрегату. Друге регресійне рівняння дозволяє визначити крутний момент на валу ВВП трактора для обраного режиму. Підставивши у рівняння значення незалежних факторів, що забезпечують максимальне значення коефіцієнта структурності ґрунту, було отримано крутний момент $M = 175,8$ Нм в режимі роботи фрезерної машини з дослідними робочими органами.

Висновки до розділу:

Було встановлено закономірності змін твердої фази ґрунту під впливом води при проведенні десяти поливів:

при початковому коефіцієнті структурності 1,0 його значення знизилося на 50%;

- при 0,8 – зменшення склало 11,3%;
- при 0,6 – коефіцієнт залишився практично незмінним;
- при 0,4 – відбулося зниження на 45%;
- при 0,2 – показник зменшився на 50%.

Аналіз отриманих даних свідчить, що для збереження структурно-агрегатного стану ґрунту механізований обробіток слід проводити:

- після третього або четвертого поливу для більшості початкових значень коефіцієнта;
- для початкового значення 0,6 – після першого або сьомого поливу.

Лабораторно-польові випробування модернізованого експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М у насадженнях абрикосу, черешні та яблуні на темно-каштанових ґрунтах із середньою вологістю 23,7% показали:

- потужність, необхідна для приводу ножових робочих органів при глибині обробітку 8 см, становила 4,8 кВт, що в 5 разів менше порівняно зі стандартною фрезою МФ-1, що дозволило підвищити середній ресурс до технічної відмови до 500 годин та відповідало вимогам технічного завдання;
- максимальне значення коефіцієнта структурності ґрунту 0,693 досягається при частоті обертання роторів $2,7 \text{ c}^{-1}$, швидкості руху агрегату 0,61 м/с та глибині обробітку 9,1 см.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ВИРОБНИЧОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ

4.1. Науково-виробнича перевірка комбінованої технології обробітку ґрунту в садах та застосування фрезерної машини для пристовбурних смуг

Науково-виробнича перевірка експериментальної фрезерної машини МФ-1М з новими робочими органами у складі з трактором ЮМЗ-6 проводилася в насадженнях абрикосу, черешні та яблуні у жовтні 2025 року та протягом усього вегетаційного періоду 2025 року на площі 250 га. У ході досліджень застосовувався комбінований спосіб утримання ґрунту в плодкових садах, при якому пристовбурні смуги оброблялися фрезерною машиною.

Перевірка передбачала агротехнічну оцінку роботи фрези МФ-1М за такими методичними підходами:

- умови оцінювання визначалися згідно з КНД 46.16.02.08-95;
- якість роботи фрези оцінювалася відповідно до ОСТ 70.4.1.

Вимірювалися параметри пристовбурних смуг до та після обробітку, а також технічні характеристики машини під час роботи. Пристовбурні смуги плодового саду оцінювалися за наступними показниками:

1. Агрофізичні характеристики ґрунту згідно ДСТУ 4362:
 - щільність – за ДСТУ ISO 11272 [27];
 - агрегатний склад у орному шарі [27];
 - вологість;
2. Попередній спосіб утримання ґрунту в пристовбурних смугах;
3. Наявність та ступінь подрібнення рослинних решток;
4. Ступінь заселення міжрядь гризунами;
5. Параметри машини згідно КД 46.16 [30]:
 - швидкість руху;
 - ширина та глибина обробітку пристовбурних смуг.

Перевірка у жовтні 2025 року мала на меті оцінити ефективність фрези для захисту насаджень від пошкоджень дерев гризунами у зимовий період. Щільність заселення гризунами визначалася кількістю нір на 10 м² міжряддя.

Оцінювання проводилося в насадженнях яблуні (37 га) та черешні (28 га). В обох насадженнях ступінь заселення гризунами становила близько 6–7 нір на 10 м² (рис. 4.1). Така інтенсивність заселення у зимовий період 2025 року призвела до пошкодження близько 80% дерев.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд міжряддя інтенсивного яблуневого саду, ураженого гризунами.

У листопаді 2025 року ґрунт у пристовбурних смугах досліджуваних насаджень оброблено фрезою МФ-1М (рис. 4.2). Спостереження показали, що після обробітку щільність заселення гризунами зменшилася у три рази і не перевищувала 2 нори на 10 м².



Рисунок 4.2 – Обробіток пристовбурних смуг у черешневих насадженнях. Перевірка у період вегетації дерев 2025 року.

Метою цієї перевірки було оцінити ефективність застосування фрези для забезпечення оптимального структурно-агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах протягом усього вегетаційного періоду.

Обробіток ґрунту фрезою розпочався у травні 2025 року (рис. 4.3, 4.4).



Рисунок 4.3 – Випробування у виробничих умовах агрегату МФ-1М з трактором ЮМЗ-6 в яблуневих насадженнях (травень 2025 року).

Під час обробітку ґрунту кінематичні та технологічні параметри фрези відповідали значенням, визначеним у ході лабораторно–польових випробувань, а саме:

- швидкість руху агрегату – 0,61 м/с;
- частота обертання ротора – 2,7 с⁻¹;
- глибина обробки ґрунту – 9 см.

Ґрунт за типом – чорнозем. Фізичний стан ґрунту наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Фізичні показники ґрунту

Шар ґрунту, см	Абсолютна вологість, %	Твердість, МПа
0–10	15,2	0,6
10–20	23,7	0,8



Рисунок 4.4 – Обробка ґрунту в пристовбурній смузі за допомогою фрезерної машини МФ-1М з експериментальними робочими органами.

За результатами випробувань встановлено, що частка середньої фракції ґрунту (розмір агрегатів від 0,25 до 10 мм) до обробітку становила 51%, тоді як після обробки фрезою вона збільшилася до 70–75%. Водночас щільність ґрунту знизилася на 76,4% і склала 0,65 г/см³.

Ширина обробленої пристовбурної смуги не перевищувала 0,7 м, що свідчить про відсутність розкидання ґрунту під час роботи фрези, а глибина обробки коливалася від 8 до 10 см. Знищення бур'янів досягало 90 % за щільності 100–120 рослин на 1 м². Робочі органи фрези при цьому ефективно видаляли бур'яни разом із їх кореневою системою (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Якість обробітку ґрунту за допомогою фрези.

Під час випробувань спостерігалось часткове забивання робочих органів рослинними рештками та злипанням ґрунту. Водночас поверхня ножів залишалася чистою, що свідчить про ефективний рух ґрунту по їх поверхні (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Накопичення рослинних залишків та злипання ґрунту на робочих органах.

Витрати палива за одну зміну визначалися шляхом контрольованої дозаправки трактора після закінчення роботи. Вони становили 6–7 л/год при швидкості руху агрегату 1,8 км/год, що вдвічі менше у порівнянні з фрезою МФ-1, робочі органи якої виготовлені у вигляді стрижнів.

4.2. Аналіз економічної ефективності застосування фрезерної машини

Економічну ефективність застосування агрегату в саду доцільно оцінювати шляхом порівняння з існуючими виробничими аналогічними сільськогосподарськими машинами.

На сьогодні для обробітку пристовбурних смуг часто використовуються агрегати, що складаються з трактора МТЗ-80 та садової фрези ФА-0,76А.

Запропоновано новий агрегат, який включає трактор ЮМЗ-6 та модернізовану фрезерну машину МФ-1М.

Одним із основних показників ефективності використання сільськогосподарських машин є зведені витрати (П) на одиницю виконаної роботи. Їх розраховують як суму прямих експлуатаційних витрат (Е) та питомих капітальних вкладень (Кп), помножену на нормативний коефіцієнт (Ен):

$$П = E + E_n \cdot K_p$$

Згідно з ГОСТ 23729-79 «Методи економічної оцінки спеціалізованих машин», прямі експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$E = Z + A + R + G$$

де:

Z - зарплата обслуговуючого персоналу;

A - витрати на реновацію;

R - витрати на ремонти і технічне обслуговування;

G - витрати на паливно-мастильні матеріали.

Заробітну плату кожного працівника обслуговуючого персоналу обчислюють за формулою:

$$Z = C_p \cdot 1 W_{зм} Z = C_p \cdot \frac{1}{W_{зм}} Z = C_p \cdot W_{зм} 1$$

де:

C_p - погодинна ставка оплати праці, грн/год;

W_{зм} - продуктивність агрегату за 1 годину змінного часу, га.

Витрати на відновлення (реновацію) кожної машини визначають за формулою:

$$A = \frac{S \cdot A}{T_{zon} \cdot W_{зм}}$$

де:

S - балансова вартість нової чи базової машини, грн;

A - коефіцієнт відрахувань на реновацію машини;

T_{zon} - зональне річне навантаження машини, год.

Зональне річне навантаження визначають відповідно до чинних нормативів. У разі відсутності таких нормативів його розраховують на основі зональних перспективних технологій за відповідною формулою:

$$T_{zon} = D \cdot t,$$

де:

- D - кількість робочих днів машини протягом агротехнічного періоду;
- t - тривалість робочого часу машини на день, год.

Витрати на капітальний і поточний ремонт, а також на планово-технічне обслуговування кожної машини визначають за наступним виразом:

$$R = \frac{S \cdot B}{T_H}$$

Одним із основних показників ефективності використання сільськогосподарських машин є зведені витрати (П) на одиницю виконаної роботи. Їх розраховують як суму прямих експлуатаційних витрат (Е) та питомих капітальних вкладень (Кп), помножену на нормативний коефіцієнт (Ен)

T_н - нормативне річне завантаження машини, год.

Витрати на ПММ матеріали для конкретного агрегату визначають за такою формулою:

$$\wp = \Gamma \cdot \sqrt{\quad}$$

Ц – оптова ціна кілограма палива, грн.

Питомі капіталовкладення на кожну машину агрегату визначають за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{S}{T_{zon} \cdot W_{зм}}$$

У розгорнутому вигляді аналітичний вираз (4.1) для розрахунку зведених витрат можна записати так:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{W_{ЗЗ}} \cdot \sum_{p=1}^K C_p \cdot L_p + \frac{1}{100W_{зм}} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{A_i \cdot S_i}{T_{zon,i}} + \frac{1}{100W_{ЗЗ}} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{B_i \cdot S_i}{T_{н,i}} + \\ & + G \cdot Ц + \frac{E_n}{W_{ЗЗ}} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{T_{н,i}} \end{aligned}$$

де L_p - чисельність обслуговуючого персоналу на агрегаті; m - кількість машин у складі МТА.

Ще одним важливим показником ефективності роботи агрегату є питомі витрати праці (Z_t). Для їхнього визначення достатньо знати змінну продуктивність агрегату та чисельність його обслуговуючого персоналу:

Вихідні дані для розрахунку техніко-економічних показників порівнюваних фрезерних агрегатів наведено у таблиці.

Визначення річного економічного ефекту від застосування агрегату здійснюється на основі порівняння техніко-економічних показників фрезерних машин, що представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняльні показники техніко-економічної ефективності фрезерних агрегатів

Назва показника	Значення показника		Ступінь зменшення, %
	Фреза ФА-0,76А	Фреза МФ-1М	
Витрати праці, люд. год/га	5,0	4,3	14
Прямі витрати, грн./га	142,1	116,2	18,2
Питомі капіталовкладення, грн./га	226,1	194,3	14,1
Зведені витрати, грн./га	808,0	582,0	28
Економічний ефект, грн./га	-	226,0	-

Аналіз даних, наведених у таблиці 4.3, показав, що використання нового фрезерного агрегату, який включає трактор ЮМЗ-6 та фрезерну машину МФ-1М, дозволяє досягти таких економічних ефектів:

- зменшення витрат праці на 14 %;
- скорочення прямих експлуатаційних витрат на 18,2 %;
- зниження питомих капітальних вкладень на 14,1 %;
- зменшення зведених витрат на 28 %.

Практична експлуатація агрегату забезпечує економію не менше 226 грн на кожному гектарі оброблюваної площі.

Далі визначають термін окупності нової машини (у роках) за відповідною методикою.

$$T = \frac{S}{E_p}$$

де E_p - річна економія коштів, грн.

де E_g – економія коштів з одного гектару, грн.

$$T = 96000/226 \cdot 350 \cdot 0,23 = 0,93$$

Строк окупності складає 0,93 років, що дорівнює 11 місяцям.

Висновки за розділом

1. За результатами виробничої перевірки фрезерної машини з дослідними робочими органами в умовах Державного підприємства дослідного господарства «Проскурівка» Хмельницького району Хмельницької області встановлено:
 - частка середньої фракції ґрунту (розмір агрегатів 0,25–10 мм) до обробітку становила 51 %, після обробітку фрезою вона збільшилася до 70–75 %;
 - щільність ґрунту знизилася на 76,4 %, склавши 0,65 г/см³;
 - ширина обробленої смуги не перевищувала 0,7 м, що свідчить про відсутність розкидання ґрунту;
 - глибина обробітку ґрунту залежно від виду плодових насаджень коливалася від 8 до 10 см;
 - знищення бур'янів становило 95 % при щільності 100–120 рослин на 1 м²;

- заселення гризунами після обробітку фрезою МФ-1М зменшилося втричі і не перевищувало 2 нори на 10 м².
2. Використання модернізованого зразка фрезерної машини МФ-1М із запропонованими робочими органами дозволяє, завдяки зниженню прямих експлуатаційних витрат, економити на кожному гектарі оброблюваної площі не менше 226 грн, що при сезонному навантаженні 162 га забезпечує річну економію на рівні 36 612 грн у порівнянні з базовим агрегатом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

На основі проведеного аналізу технологій і засобів механізації обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень, а також результатів теоретичних та експериментальних досліджень, обґрунтовано конструктивно-технологічну схему фрези з вертикальною віссю обертання робочих органів. Визначено параметри робочих органів та режим роботи фрези, що забезпечують підвищення якості ґрунту в пристовбурних смугах інтенсивних плодкових насаджень і зменшення енерговитрат.

Встановлено, що обробіток пристовбурних смуг плодкових насаджень інтенсивного типу під «чорним паром» доцільно виконувати за допомогою машин з активними робочими органами, що обертаються навколо вертикальної осі.

Виявлено, що експериментальний зразок фрези МФ-1 з ножами у формі стрижнів забезпечує коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту 0,53, що за ДСТУ 4362 відповідає межі незадовільного стану ґрунту і не створює оптимальних умов для розвитку плодкових дерев.

Математичне моделювання підтвердило, що для досягнення оптимального структурно-агрегатного стану ґрунту робочі органи фрези повинні мати криволінійну поверхню:

- робоча поверхня ножа виконана у вигляді прямого кругового циліндра з радіусом 0,097 м та максимальною довжиною дуги CF 0,114 м при радіусі ротора 0,176 м і кутовій швидкості 15,8 рад/с;
- відстань напрямної CF від траєкторії руху ріжучої крайки ножа зростає за лінійним законом із величиною заднього кута різання $\gamma = 100^\circ$;
- відносна швидкість руху частки ґрунту по поверхні ножа V_r на виході при лінійній швидкості ножа $V_n = 2,8$ м/с зростає в середньому у 2 рази при коефіцієнті тертя $\mu = 0,4-0,6$;
- частота обертання роторів для забезпечення високої якості обробітку повинна перебувати в межах $2-3$ с⁻¹.

Виявлено закономірності зміни агрегатно-структурного складу ґрунту під впливом поливів. Незалежно від початкового значення коефіцієнта

структурності, для збереження оптимального структурно-агрегатного стану слід проводити механізований обробіток після третього або четвертого поливу, а при початковому значенні 0,6 – після першого поливу.

Лабораторно-польові дослідження фрези МФ-1М показали, що максимальний коефіцієнт структурності ґрунту 0,7 (оцінка «добрий») досягається при частоті обертання роторів $2,7 \text{ c}^{-1}$, швидкості агрегату 0,65 м/с та глибині обробітку до 9 см. Крутний момент при цьому становив 175,8 Н·м, що у 5 разів менше, ніж у фрези МФ-1. Коефіцієнт варіації даних коливався від 25 % до 45 %, а похибка – від 2,5 % до 4,5 %.

Під час науково-виробничої перевірки МФ-1М встановлено:

- частка середньої фракції ґрунту зросла з 0,51 до 0,70; щільність ґрунту знизилась на 76,4 % і становила $0,65 \text{ г/см}^3$;
- ширина обробленої смуги з однієї сторони збільшилась у середньому на 14 см, що відповідає нормативним вимогам;
- знищення бур'янів склало 90 % при щільності 100–120 шт./м² із видаленням кореневої системи;
- заселення гризунами зменшилось у три рази і не перевищувало 2 нори на 10 м²;
- середнє напрацювання фрези на технічну відмову досягало 500 мотогодин, що перевищує нормативні вимоги у 3 рази.

Використання модернізованого зразка МФ-1М дозволяє завдяки зниженню прямих експлуатаційних витрат економити не менше 226 грн на гектар оброблюваної площі, що при сезонному навантаженні 162 га забезпечує річну економію 36 612 грн у порівнянні з базовим агрегатом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клімат України / [під. ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко] - К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 344с, - ISBN966-7016-18-8.
2. Розробити наукові основи створення інформаційних і технологічних систем управління ресурсами в процесах відтворення товарної продукції плодівництва на меліоративних землях. Звіт про НДР (заключ.) / ІЗС УААН; кер. О.Г. Караєв. – № 0106U006180. – Мелітополь, 2010.
3. Попович П.Д. Придатність ґрунтів під сади і ягідники / П.Д. Попович, В.А. Джамаль, Н.Г. Ільчишина та ін. – К.: Урожай 2010. – 166с.
4. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / редкол.: М.В. Зубець (голова) та ін. – К.: Аграрна наука, 2010. – 986с.
5. Рульєв В. А. Садівництво півдня України / В.А. Рульєв. - Запоріжжя: Дике Поле, 2003.- 240с.
6. Бублик М.О. Методологічні та технологічні основи підвищення продуктивності сучасного садівництва – К.: Нора-Друк, 2005. - 288с.
7. Перемет П. Догляд за садом / П. Перемет – К. : Урожай. - 2004, - 200с.
8. Беренштейн А.Б. Садам комплексну механізацію. – Сімферополь.; Крим. – 2009, С.25-26.
9. Режим доступу: www.maschionet.com.e-mail:com.
10. Механізація робіт у садівництві, овочівництві і виноградарстві. Під ред канд. техн. наук Демидко М.О. - К.: Урожай, 2004. - 240 с.
11. Довідник з механізації садівництва / А.Є. Бабенко, В.П. Бабій, М.О. Демидко та ін.; За ред.. М.О. Демидка.- 2-е вид., перероб. і доп.- К.: Урожай, 2002.
12. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/V15T2.html>.
13. Якість ґрунтів. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362: 2004.- [чинний від 2006-01-01].- К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 19с. – (національний стандарт України)
14. Мостовський В.Б. Дослідження процесу обробки пристовбурних смуг в інтенсивних садах вертикальними фрезами і обґрунтування типів та параметрів їх

робочих органів. Автореф. дис. на вч. ступ. канд. техн. наук. УкрНДІМЕСГ, Київ, 2000, с. 22.

15. Пристрій для обробітку ґрунту в рядах багаторічних насаджень. Патент Румунія. 2021650. МКИ5 А 01 В 39/16.

16. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396с.

17. Ротаційний культиватор. Заявка Франція. 2630879. МКИ5 А 01 В 33/06.

18. 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. - 464с.

19. Мінько С.А. Механізація обробітку ґранту в плодкових насадженнях / Зінько С.А. // Праці таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь.: ТДАТУ, 2015.-Вип 14, Том 2, - С.61-66.

20. http://mathprofi.ru/dlina_dugi_krivoi.html

21. Дідур В.А. Проектування робочих органів фрези для обробітку ґрунту / В.А. Дідур, С.А. Мінько // Праці таврійського Державного агротехнологічного університету. - Мелітополь.: ТДАТУ, 2015.-Вип 14, Том 2, - С. 61-66.

22. Дідур В.А. Математична модель визначення відносної швидкості руху частки ґрунту по поверхні робочого органу фрезерної машини / В.А. Дідур, О.Г. Караєв, С.А. Мінько // Науковий вісник ТДАТУ [Електронний ресурс]. – Мелітополь, ТДАТУ. – 2015. – Вип.5.-Т.2 – С.201-210. – Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/V15T2.html>.

23. Оптимізація ротора і транспортуючої поверхні: Науковий звіт МДМСГ; керівник В.М. Найдиш.- м. Мелітополь, Запорізьська обл.- 2009.-53с.

24. Томашінський З.М. Поліпшення родючості ґрунтів і підвищення продуктивності сільськогосподарських культур: навч. посіб. / З.М. Томашінський. – Львів: ЛДСГІ, 2015.-149с.

25. Дослідження сільськогосподарської техніки: практикум науковцю / В.І. Кравчук, Г.А. Хайліс, А.С. Кушнар'юв та інш. – Дослідницьке: УкрНДІПІТ ім. Л. Погорілого, 2015. - 328 с.

26. КНД 46.16.02.08 - 95. Техніка сільськогосподарська. Методика визначення умов випробувань.
27. ДСТУ ISO 11272 Якість ґрунту. Визначення щільності складення на суху масу.
28. ГОСТ 28268-89. Ґрунти. Методи визначення вологості, максимальної гігроскопічної вологості і вологості сталого зав'ялення рослин. (Ґрунти. Методи визначення вологості, максимальної гігроскопічної вологості та вологості тривкого в'янення рослин).
29. Коваленко П.І. Раціональне використання води при зрошенні / П.І. Коваленко, Михайлов Ю.О. – К.: Аграрна наука, - 2000. – 154 с.
30. КД. 46.16.02.03-93. Техніка сільськогосподарська. Класифікаційні та конструкційні показники. Дослідницьке, - 2003.
31. Шестопаль О.М. Відтворення та ефективність продуктивного використання плодкових і ягідних насаджень / О.М. Шестопаль. - К.: Сільгоспосвіта. - 2004.- 256с.
32. Шестопаль О.М. Промислове садівництво України: Напрямки відродження і подальшого поступу: Зб. наук. пр. Уманської держ. акад. / О.М. Шестопаль. - Умань. – 2001. - Вип. 53.- С. 262 – 268.
33. Шестопаль О.М. Методика економічної та енергетичної оцінки типів плодоягідних насаджень, помологічних сортів і результатів технологічних досліджень у садівництві. / О.М. Шестопаль . – К.: ІАЕ.- 2002. – 133 с.
34. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. - 52с.