

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

МІНЬКО СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 631.362.3.002.5

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ФРЕЗЕРНОЇ  
МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В ПРИСТОВБУРНИХ СМУГАХ  
ІНТЕНСИВНОГО САДУ

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:

Дідур Володимир Аксентійович,  
доктор технічних наук, професор

Мелітополь – 2017

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕНЬ В ҐРУНТОВО – КЛІМАТИЧНІЙ ЗОНІ «ПІВДЕННИЙ СТЕП».....	9
1.1. Характеристика ґрунтового-кліматичної зони.....	9
1.2. Способи утримання ґрунту в плодкових насадженнях.....	12
1.3. Аналіз існуючих засобів механізації обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень.....	16
1.3.1. Машини з пасивними робочими органами.....	16
1.3.2. Машини з активними робочими органами.....	23
1.4. Висновки до першого розділу.....	43
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ТА РЕЖИМУ РОБОТИ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ.....	45
2.1.Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми фрезерної машини.....	45
2.2. Розроблення математичної моделі процесу взаємодії ґрунту з робочими органами фрезерної машини, які обертаються навколо вертикальної осі.....	48
2.2.1. Обґрунтування параметрів напрямної лінії поверхні робочого органу.....	48
2.2.2. Визначення відносної швидкості руху частки ґрунту по поверхні ножа під дією сил.....	52
2.2.3. Обчислення відносних швидкостей часток ґрунту по поверхні ножа і аналіз динамічних характеристик їх руху.....	58
2.2.4. Визначення дальності відкидання частки ґрунту ножем.....	62
2.2.5. Аналіз динамічних характеристик взаємодії ґрунту з поверхнею робочого органу.....	67

2.3. Висновки до другого розділу.....	70
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>73</b>
3.1. Лабораторні дослідження з визначення змін агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень під дією води із систем штучного зрошення.....	73
3.1.1. Методика лабораторного дослідження.....	74
3.1.2. Результати дослідження.....	76
3.2. Лабораторно-польові дослідження розроблених робочих органів у складі експериментального зразка машини МФ-1М.....	79
3.2.1. Програма і методика лабораторно – польових досліджень.....	79
3.2.2. Математичне планування дослідів з визначення оптимальних режимів роботи фрези.....	83
3.3. Висновки до третього розділу.....	99
<b>РОЗДІЛ 4. НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ.....</b>	<b>101</b>
4.1. Науково – виробнича перевірка технології комбінованого способу утримання ґрунту в плодових насадженнях і впровадження фрезерної машини для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах.....	101
4.2. Економічна порівняльна оцінки застосування фрезерної машини...	106
4.3. Висновки до четвертого розділу.....	112
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>114</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>117</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>126</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>127</b>
<b>ДОДАТОК Б.....</b>	<b>142</b>

## ВСТУП

Відомо, що рівень механізації в галузі садівництва є дуже низьким і не перевищує 14%, забезпеченість садівничих господарств технікою становить 20 – 25%, а промисловість України спеціалізовану садову техніку практично не виробляє, що негативно впливає на подальший розвиток галузі.

Дослідженнями вітчизняних вчених встановлено, що найбільш перспективним способом утримання ґрунту в садах інтенсивного типу є комбінований спосіб, при якому вільна частина міжряддя утримується під задернінням, а пристовбурна смуга – під «чорним паром». Також доведено, що більш якісний обробіток ґрунту в пристовбурних смугах досягається за рахунок застосування фрезерних машин з робочими органами, які обертаються навколо вертикальної осі.

Основним недоліком роботи існуючих фрезерних машин даного типу є те, що ґрунт після обробітку містить тільки біля 51% агрегатів з розмірами від 0,25 мм до 10,0 мм (середня фракція), а це за шкалою оцінки структурно-агрегатного стану ґрунту згідно з ДСТУ4362 вважається «незадовільним». Під впливом вегетаційних поливів структурно-агрегатний стан ґрунту в пристовбурних смугах стає ще більше незадовільним. Це негативно впливає на фізіологічний стан дерев і, як наслідок, на зниження продуктивності плодкових насаджень і нераціональні витрати поливної води, а також створює сприятливі умови для розмноження гризунів.

Тому для садівницької галузі збереження «доброго» або «відмінного» структурно-агрегатного стану ґрунту є народногосподарською проблемою, вирішення якої можливе тільки за рахунок ефективного та своєчасного його обробітку. Для цього виробники садівницької продукції повинні мати в своєму розпорядженні ефективні ґрунтообробні машини, як правило фрезерного типу з вертикальною віссю обертання робочих органів. Розробка таких машин з обґрунтованими кінематичними та конструктивно-технологічними параметрами робочих органів, які спроможні забезпечувати

«добрий» або «відмінний» структурно-агрегатний стан ґрунту при мінімальних енергетичних витратах є важливим науковим завданням.

Робота виконана у Таврійському державному агротехнологічному університеті згідно з держбюджетною темою у межах програми «Розробка технологій та технічних засобів для рослинництва в умовах зрошеного землеробства в Україні» № ДР 0107U008955.

*Мета досліджень* - поліпшення 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.

Відповідно до поставленої мети вирішувалися такі завдання:

- провести аналіз існуючих конструкції ґрунтообробних машин з обробітку пристовбурних смуг в плодкових насадженнях інтенсивного типу і обґрунтувати конструктивно-технологічну схему машини, яка б забезпечила досягнення поставленої мети;

- визначити оптимальні значення кінематичних та конструктивно-технологічних параметрів робочих органів фрезерної ґрунтообробної машини шляхом розробки та дослідження математичної моделі процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом;

- визначити зміни в структурно-агрегатному стані ґрунту пристовбурних смугах інтенсивного саду під впливом вегетаційних поливів та встановити терміни ефективного механізованого впливу на ґрунт.

- експериментально перевірити основні положення математичної моделі та визначити вплив конструктивно-технологічних параметрів роботи фрезерної машини на показники якості і енергоємності її роботи;

- надати техніко-економічну оцінку застосування фрезерної машини з вертикальною віссю обертання робочих органів для утримання пристовбурних смуг під «чорним паром».

*Об'єктом досліджень є процес обробітку ґрунту в насадженнях плодкових культур інтенсивного типу в умовах зрошення.*

*Предметом досліджень є закономірності впливу кінематичних та конструктивно-технологічних параметрів робочих органів фрезерної машини на якісні та енергетичні показники обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень саду інтенсивного типу.*

*Методи досліджень.* Теоретичні дослідження проводилися з використанням методів математичного моделювання та положень теоретичної механіки, диференційного та інтегрального числення із подальшою розробкою прикладних програм.

Експериментальні дослідження проводились у лабораторних і польових умовах відповідно до прийнятих методик та галузевих стандартів. Обробка результатів досліджень здійснювалася методами математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше отримано закономірності впливу вегетаційних поливів саду інтенсивного типу на структурно-агрегатний стан ґрунту, що дозволяє визначати агротехнічні строки механізованого обробітку пристовбурних смуг;

- отримало подальший розвиток теорія проектування робочих органів ґрунтообробних фрезерних машин в частині визначення динаміки руху ґрунту по криволінійній поверхні ножів, які обертаються навколо вертикальної осі, що дозволяє визначати кінематичні та конструктивно - технологічні параметри фрезерних машин;

- вперше отримано рівняння дальності польоту частки ґрунту для ножів з вертикальної віссю обертання, що дозволяє визначити якість формування обробленої зони пристовбурної смуги.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці методичних засад проектування геометричних параметрів робочих органів з урахуванням технологічних режимів роботи фрезерної машини, які можна використовувати при розробці конструкторської документації на даний тип машин. Модернізовано фрезерні ротори експериментального зразка

фрезерної машини МФ-1, який було впроваджено в технологічний процес догляду за ґрунтом в пристовбурних смугах плодкових насаджень ТОВ «Лана» Михайлівського району Запорізької області та в навчальний процес ТДАТУ. Запропоновану конструкцію фрезерної машини захищено патентом України на корисну модель № u201510164.

Основні результати, які відображають сутність роботи, отримані автором самостійно. Постановка задач і аналіз результатів досліджень виконано спільно з науковим керівником.

Автором особисто визначено напрямки вдосконалення фрезерних машин з вертикальною віссю обертання параметрів робочих органів [2,5], розроблено методику і проведено лабораторний дослід з визначення змін у агрегатному складі ґрунту під дією води вегетаційних поливів [6], обґрунтовано параметри напрямної поверхні ножа і параметри його положення на роторі [2], отримано рівняння щодо визначення відносної швидкості ґрунту по поверхні ножа [3], виготовлено макетні зразки роторів фрезерної машини [4], розроблено методику лабораторно – польових досліджень модернізованого експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М [4], проведено обробку і аналіз експериментальних даних [4].

Основні результати роботи доповідались на щорічних науково – технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, співробітників і магістрів Таврійського державного агротехнологічного університету (2012 – 2016 рр.), Міжнародній науково практичній конференції «Імпортозамінні технології вирощування продукції садівництва та рослинництва» (Умань, 2015 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку»(Дніпропетровськ, 22 - 23 жовтня 2015 р.).

Основні результати досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковано у 7 наукових видань. Отримано 1 патент України на корисну модель. Загальний обсяг наукових праць складає 2 друкованих аркуша.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 103 найменувань, та додатків. Загальний обсяг роботи становить 146 сторінок тексту, з яких на 125 сторінках викладено основний текст роботи, на 20 сторінках – додатки, на 10 сторінках – список використаних джерел. Дисертація включає 58 рисунків (графіки, схеми і фотографії) та 26 таблиць.



## РОЗДІЛ 1

### ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕНЬ В ГРУНТОВО- КЛІМАТИЧНІЙ ЗОНІ «ПІВДЕННИЙ СТЕП»

#### 1.1. Характеристика ґрунтового-кліматичної зони

Ґрунтового-кліматичні умови відповідають регіону південного степу України. Клімат степової зони України помірно теплий, континентальний з недостатнім зволоженням та нерівномірним розподіленням опадів по місяцям року. Тривалість періоду без морозів досягає 310 діб. Період з температурою вище за 5 і 10°C становить 250 діб. Для цього регіону характерна наявність суховіїв та посух, які спостерігаються у липні-серпні [1].

Високі теплові ресурси та тривалий період без морозів сприяє вирощуванню теплолюбивих плодів культури.

Найбільш характерною особливістю кліматичних умов степу є перевага кількості вологи, яка випаровується, над кількістю опадів ( таблиця 1.1). Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) <1,0 [2]. Кількість опадів становить від 350 до 500 мм. Дані таблиці 1.1 указують на те, що увесь період росту і розвитку рослин характеризується наявністю дефіциту вологи в ґрунті.

Рельєф території зони рівнинний або плоско-рівнинний. Основними ґрунтоутворюючими породами є лес та лесовидні суглинки важко-суглинкового і глинистого механічного складу. Неоднорідність умов зволоження зумовила різноманітність рослинного покриву і тому з півночі на південь найпродуктивніші різнотравно-типчакова-ковильні степи змінюються типчакова-ковильними, а ці, в свою чергу, найбільш бідними полинно-типчаківими асоціаціями.

Відповідно до трав'яних асоціацій формуються різні ґрунти: під різнотравно-типчакова-ковильними степами - чорноземи звичайні; під

типчакowo-ковильними - чорноземи південні; під полинно-типчакowymi - темно-каштанові й каштанові [3 -5].

Таблиця 1.1

Баланс опадів та розрахункової випаровуваності за даними  
Мелітопольської метеорологічної станції [2]

Місяць	Розрахункова випаровуваність, мм		Опади, мм		Дефіцит, мм		Коефіцієнт зволоження	
	1994- 2011 рр.	2012 р.	1994- 2011рр.	2012 р.	1994- 2011 рр.	2012 р.	1994- 2011рр	2012.
Квітень	76,0	73,7	35,1	48,3	-40,9	-25,4	0,46	0,65
Травень	113,8	93,9	47,1	107,0	-66,7	13,1	0,48	1,14
Червень	143,1	140,4	49,8	94,8	-93,3	-45,6	0,35	0,66
Липень	177,8	184,3	37,5	10,9	-140,3	-173	0,21	0,06
Серпень	172,2	170,6	42,9	30,3	-129,3	-140	0,25	0,18
Вересень	106,2	122,0	41,5	42,1	-64,7	-79,9	0,39	0,35
Жовтень	57,2	47,4	34,4	37,0	-22,8	-10,4	0,60	0,78
Всього	846,3	832,3	288,3	370,4	558,0	-461	0,34	0,45

На борових терасах річкових долин утворились піщані й супіщані чорноземні гранти.

Отже, найтипovішими ґрунтами в південному регіоні є чорноземи звичайні та південні мало гумусні й темно-каштанові та каштанові залишкові слабко - та середньо солонцюваті [3- 5].

**Чорноземи звичайні.** Розташовані в підзорні півночі південного степу. Серед інших ці ґрунти займають найбільшу площу. Вони мають високу природну родючість та придатні під всі районовані в зоні культури, в т.ч. і багаторічні насадження. Основні волого запаси в цих ґрунтах формуються в осінньо-зимовий та ранньовесняний періоди. На початку вегетації (в кінці

березня) глибина промочування ґрунту складає 0,8-1,2 м. Чорноземи звичайні мають потужність гумусового шару 60-70 см та відрізняються достатньо високим вмістом гумусу (3-4%). Значна кількість його та повна насиченість основами близька до нейтральної реакція ґрунтового розчину, а також важкий механічний склад сприяють утворенню в цих ґрунтах агрономічне цінної водостійкої структури. Потенційні можливості родючості цих ґрунтів при достатній кількості вологи майже не обмежені.

**Чорноземи південні.** Розташовані в підзоні південного степу. Серед інших вони займають близько половини площі підзони та мають високу природну родючість. Відрізняються від попередніх меншими запасами вологи. Глибина промочування цих ґрунтів в кінці березня становить від 0,6 до 1,0 м. В посушливі роки високі температури повітря та суховії обумовлюють значний дефіцит вологи в ґрунті. Чорноземи південні мають меншу потужність (50- 60 см) гумусового шару, ніж звичайні. Характерною ознакою цих ґрунтів є наявність у перехідному до породи горизонті скупчень карбонатів у вигляді «біло зірки». Часто в самій породі на глибині 2-4 м є наявність друзки гіпсу. У зв'язку з тим, що в південному степу ґрунтоутворюючі лесовидні породи містять водорозчинні солі (особливо багато солей натрію) ці ґрунти інколи бувають засоленими і осолонцьованими.

**Темно-каштанові та каштанові ґрунти.** Розташовані ці ґрунти в підзоні сухого південного степу, в якій займають найбільшу площу. Серед ґрунтів зони степу вони найменше забезпечені вологою. Глибина промочування ґрунтів в кінці березня становить всього 0,5-0,8 м . Ці ґрунти відрізняються певною засоленістю та солонцюватістю, із-за чого вони придатні для вирощування тільки більш солестійких культур. В посушливі роки високі температури повітря та суховії обумовлюють високий дефіцит вологи в ґрунті. На терасах річкових долин розташовані середньо - та легкосуглинкові, супіщані та піщані ґрунти. Всі ґрунти степової зони потребують регулювання поживного та водного режимів шляхом застосування зрошення та внесення органічних і мінеральних

добрив. Солонцюваті ґрунти потребують гіпсування. При цьому потрібно враховувати агрохімічний склад ґрунтів та їх водно-фізичні властивості. У степових районах України під плодові насадження використовують ґрунти з потужністю гумусового профілю не менше ніж 0,5 – 0,7 м.

## 1.2. Способи утримання ґрунту в плодкових насадженнях

Існують три способи утримання ґрунту в плодкових насадженнях [6 - 14]. В «Південному степу» найбільш поширеним способом утримання ґрунту в плодкових насадженнях вважався «чорний пар», за якого ґрунт обробляється ґрунтообробними машинами для поверхневого обробітку ґрунту – культиваторами або дисковими боронами. При цьому досягається економія зрошуваної води, але втрачається паливо (кількість обробок може досягати семи). Загальний вигляд такого насадження наведено на рисунку 1.1.



Рис. 1.1. Загальний вигляд плодового саду з утриманням ґрунту під «чорним паром».

Другим способом утримання ґрунту в плодкових насадженнях є суцільне задерніння (рис. 1.2). При цьому способі можливо вирощувати

сидерати, або трави із застосуванням косарки. Цей спосіб вважається екологічним, але потребує додаткових витрат зрошуваної води [8, 11- 15].



Рис. 1.2. Загальний вигляд плодового саду з утриманням ґрунту під суцільним задернінням.

Також існує комбінований спосіб утримання ґрунту в плодкових насадженнях, при якому міжряддя задерніле, пристовбурна смуга і міжстовбурна пасмуга утримується під «чорним паром» ( рис.1.3) [7].



Рис. 1.3. Загальний вигляд плодового саду з утриманням ґрунту комбінованим способом.

Цей спосіб в ґрунтово – кліматичній зоні «Південна степ» є найбільш перспективним за умов, що сади інтенсивного типу вирощуються тільки із



застосуванням зрошення, а забезпечення вологою ґрунтово – кліматичної зони не перевищує 400мм. Тобто утримання ґрунту під суцільним задернінням потребує додаткових витрат зрошуваної води, а під «чорним паром» – палива [7, 8].

Враховуючі данні підрозділу 1.2 для реалізації будь якого способу утримання ґрунту міжряддя плодового саду можна умовно поділити на такі три зони: вільна частина міжряддя, пристовбурна смуга і між стовбурна пасмуга (рис. 1.4).

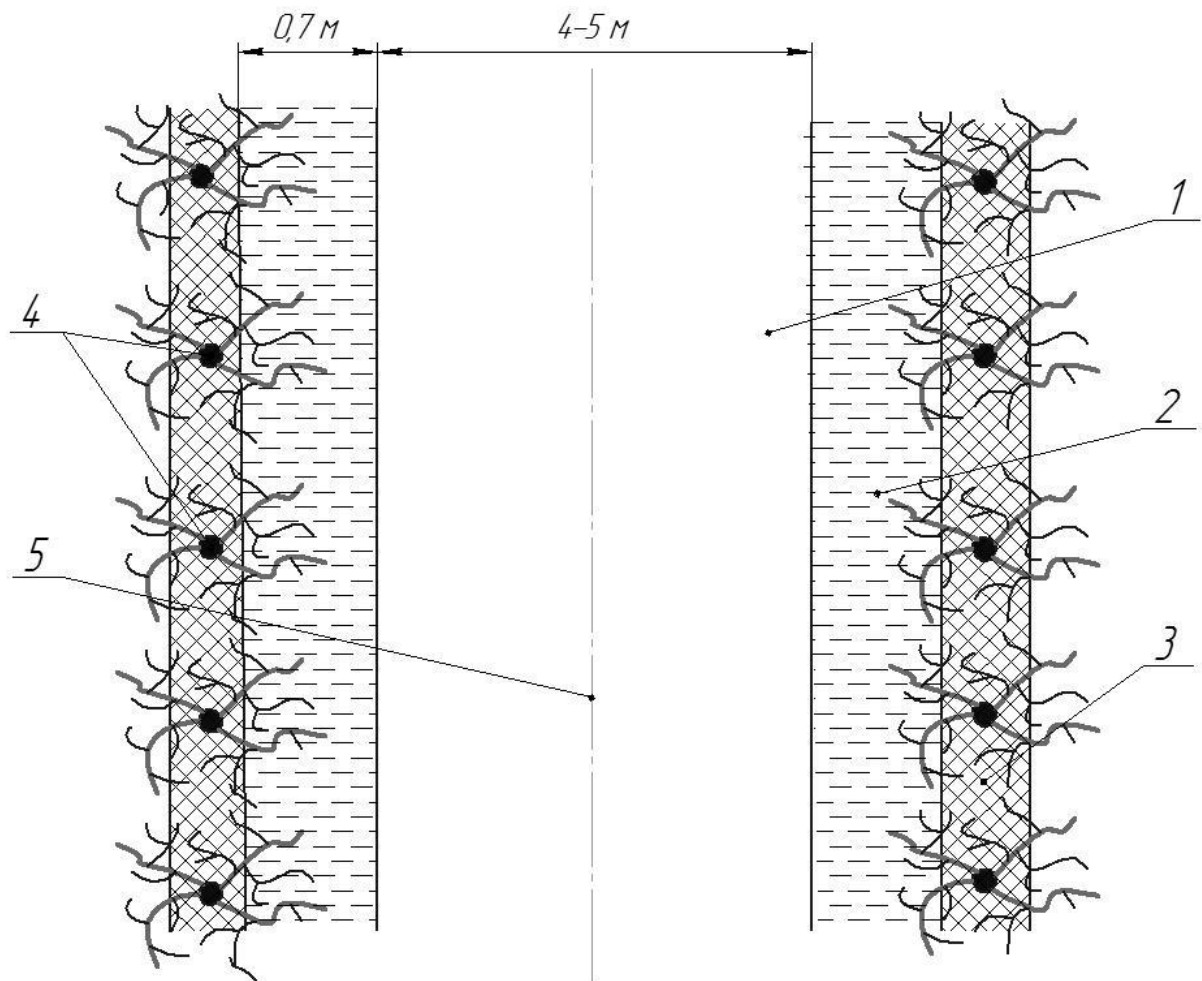


Рис.1.4. Зони міжряддя плодового саду:

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

Вільну частину міжряддя можна обробляти ґрунтообробними знаряддями без особливих пристроїв ( культиватори, дискові борони, косарки).

Щоб обробити пристовбурні смуги, знаряддя необхідно підводити під крону дерева. Це досягається зміщенням знаряддя у бік відносно трактора або із застосуванням симетричних широкозахватних агрегатів.

Складніших засобів механізації потребує обробіток між стовбурних пасмуг, який необхідно проводити, щоб уникнути заростання пасмуг бур'янами. Найпростішим засобом механізації цього процесу є перехресний обробіток ґрунту в садах. Але цей спосіб неекономічний і неможливий у садах з зайнятими міжряддями або з загущеною схемою посадки та в садах, розміщених на схилах.

Для механізації обробітку ґрунту в пристовбурних смугах та міжстовбурних пасмугах застосовують висувні секції. Вимоги до секцій для обробітку пристовбурних смуг [16 - 19] залежать від породи та віку насаджень, умов вирощування, прийнятої агротехніки. Основні вимоги такі. Висувна секція повинна бути зміщеною від поздовжньої осі трактора в бік ряду. Величина цього зміщення для роботи в молодих садах повинна становити до 2,5м, а у плодоносних — до 4 м. Висота секції не повинна перевищувати 50см. Глибина обробітку ґрунту залежно від типу робочих органів повинна бути в межах 5—12 см. Механізми секції не повинні пошкоджувати дерева. Зусилля на органах, що доторкаються до дерева, не повинні перевищувати 30 Н.

В дослідженнях [20] наводиться, що витрати на паливо та техніку є найбільшими при обробітку ґрунту комплексом машин, який був розроблений у 70-і роки для утримання ґрунту під чорним паром в садах екстенсивного типу. До його складу увійшли: фреза ФА-0,76, дискові борони БДС-3,5 та БДСТ-2,5, культиватор КСГ-5 з шириною захвата 3м, 4м, 5м, який обробляє вільну частину міжряддя, пристовбурну смугу і міжстовбурну пасмугу. Такий комплекс машин не є ресурсощадним для обробки ґрунту в садах інтенсивного типу. Враховуючі те, що в ґрунтово – кліматичній зоні «Південна степ» комбінований спосіб утримання ґрунту є найбільш

перспективним [7 -9], то машини для обробітку пристовбурних смуг і міжстовбурних пасмуг потребують першочергового доопрацювання.

Машини для обробітку пристовбурних смуг поділяються за способом приводу робочих органів висувних секцій на пасивні (різальні лапи і дискові робочі органи) та активні робочі органи – фрези [21 – 29].

### 1.3. Аналіз існуючих засобів механізації обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень

#### 1.3.1. Машини з пасивними робочими органами

Культиватор КСГ-5 садовий [30], гідрофікований (рис. 1.5) призначений для обробітку ґрунту в молодих та плодоносних садах з шириною міжряддя від 4 до 10 м. Культиватор забезпечений стрілочастими полільними лапами з захватом 270 мм, 330 мм (10 та 11), розпушувальними лапами з захватом 55 мм, малими та великими зубами борони 12, борозно різами та поворотною лапою для обробітку пристовбурних смуг 10. Культиватор КСГ-5 начіпний, зі змінною шириною захвату: 3,3; 4,3 та 5,3 м.

У залежності від ґрунтових умов, ширини захвату та виконуваної роботи агрегатується з тракторами класу 3, 2 та 1,4.

Для підрізання бур'янів та розпушування ґрунту у пристовбурних та між стовбурних смугах служить поворотна одностороння ножова лапа 10. Ніж лапи встановлений під кутом  $60^\circ$  до напрямку руху агрегату. Стійка лапи регулюється по висоті, що дозволяє зменшувати глибину обробітку коло штамба дерева, порівняно з глибиною обробітку стрілочастими лапами. На більш ущільнених ґрунтах глибину обробітку поворотною лапою зменшують на 4 см порівняно зі стрілочастими. Для кращого розпушування ґрунту на лапі встановлюють п'ять зубів. Поворотна лапа закріплюється на стійці привареним фланцем.



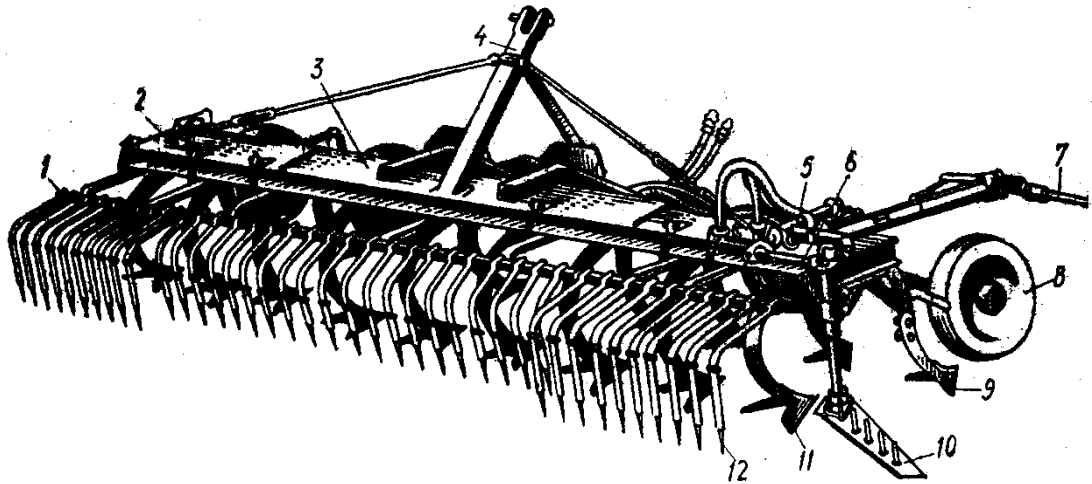


Рис. 1.5. Культиватор КСГ-5:

1 - пружні борінки; 2 - приставна рама; 3 - основна рама; 4 - начіпний пристрій; 5 - золотник; 6 - гідроциліндр; 7 - механізм включення; 8 - опорне колесо; 9 - передня лапа; 10 - поворотна лапа; 11 - задня лапа; 12 - зуб борінки.

Автоматичне керування здійснюється гідроприводом, встановленим на правій приставній рамі культиватора (при ширині захвату 5,3 м) чи на правій стороні основної рами (при ширині захвату 3,3 та 4,3 м).

Гідропривід (рис. 1.2) має механізм вмикання, золотник 9, гідроциліндр 1 та редукційний клапан 4. Механізм вмикання гідроприводу складається з вмикача 4, з дерев'яним щупом 5, зворотною пружиною 3, тяги 6.

Весь механізм закріплений на трубі 7, приєднаній до рами культиватора. Золотник закріплюється на задньому кінці труби й з'єднаний через важіль з тягою механізму вмикання та клапанами високого тиску, а через редукційний клапан – з порожнинами гідроциліндра та гідросистемою трактора.

Гідроциліндр вухами стакана з'єднаний з рамою культиватора, а вилкою штока – з важелем поворотної лапи. Під час роботи гідросистеми поворотний ніж культиватора висунутий у ряд та обробляє ґрунь у між стовбурній смузі. При підході до дерева щуп механізму вмикання стикається зі штаблом, відхиляється назад та тягою повертає важіль золотника.

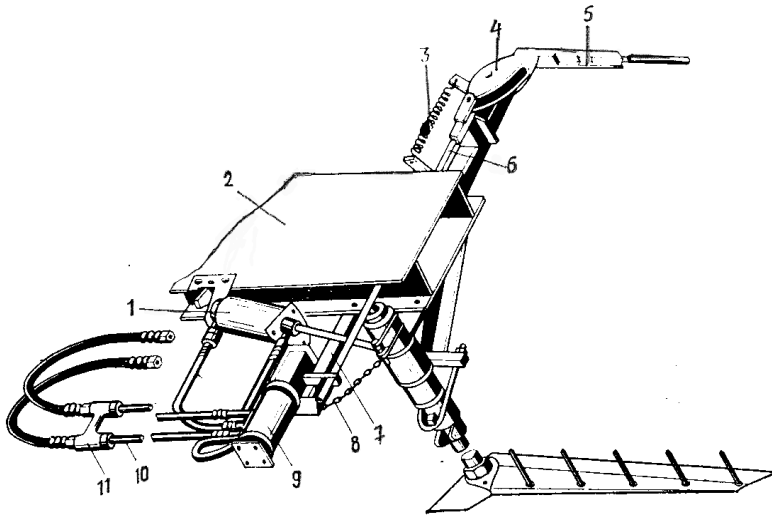


Рис.1.6. Гідропривід поворотної лапи:

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

При цьому важіль іншим кінцем переміщує стакан золотника та відкриває шлях мастилу від гідросистеми трактора у штокову порожнину гідроциліндра. Під тиском мастила шток переміщується усередину циліндра та відводить поворотну лапу від дерева. За деревом щуп ковзає зі штамбу та пружиною повертається у вихідне положення. Через тяги важіль переміщує стакан, відкриває шлях мастилу зі штокової порожнини гідроциліндра на злив з гідросистеми трактора у під штокову порожнину. При цьому, поршень заново переміщується, висувається шток та повертає лапу у ряд, натягує ланцюг, котрий переводить золотник у нейтральне положення”. Мастило від гідросистеми й навпаки проходить через редукційно-запобіжний клапан, котрий регулює тиск у шлангах. Швидкість роботи культиватора з висувною секцією – до 5 км/год.

Для обробітку міжстовбурних смуг повністю, без огрехів, кінець леза ножа повинен перекривати смугу ряду на 5 – 10 см. З цією метою агрегат ведуть по слідовказувачу так, щоб кінець гумового шлангу торкався б штабів дерев.

Культиватор садовий КСМ-5 [30] з лівою та правою висувними секціями (рисунок 1.3) призначений для обробки верхнього шару ґрунту й винищення бур'янів у міжряддях та міжстовбурних смугах саду, а також для глибокого розпушування ґрунту й нарізки поливних вологоутримуючих борозен у середній частині міжрядь шириною від 3,5 до 5 м. Він може бути використаний і для обробки ґрунту з міжряддями до 8 м, а також у польових умовах.

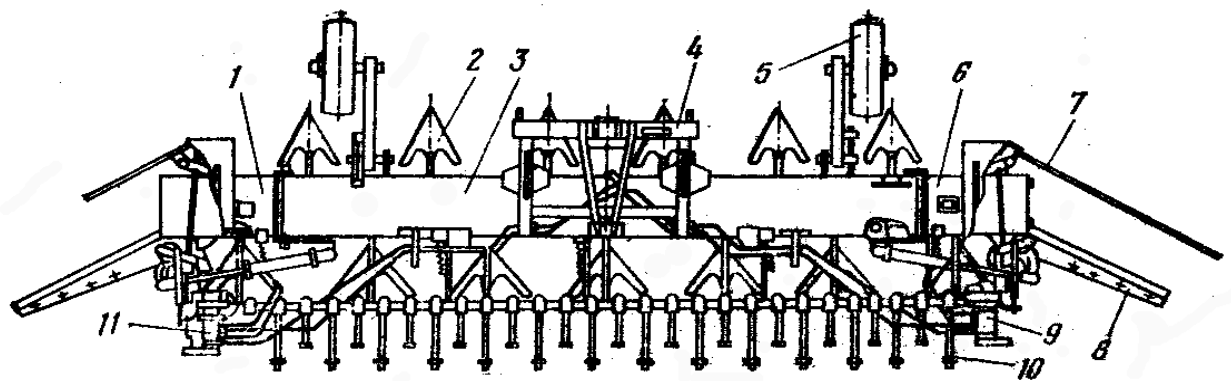


Рис. 1.7. Культиватор КСМ-5:

1 і 6 - приставні рами; 2 - робочий орган; 3 - рама основна; 4 - замок автозчипки; 5 - опорне колесо ; 7 - вмикач; 8 - ніж поворотний; 9 і 11 - механізми гідроприводу; 10 - пружинні борони.

Культиватор КСМ-5 обладнаний таким же набором робочих органів, як і культиватор КСГ-5, але на відміну від нього, він має поворотні ножові лапи з кожної сторони, що дозволяє одночасно обробляти міжстовбурні смуги зліва і справа.

Культиватор КСМ-5 представляє собою широкозахватне шарнірно-секційне начіпне знаряддя з жорстким кріпленням робочих органів. Розташування органів на рамі – дворядне. Рама культиватора спирається на два опорних пневматичних колеса, обладнаних гвинтовим механізмом регулювання глибини ходу робочих органів.

Для начіплення на трактор культиватор обладнаний автоматичним замком зчіпки. Агрегатуються культиватор КСМ-5 з трактором класу 3 за допомогою автозчіпки СА-2, а з тракторами класу 1,4 – 2 використовують автозчіпку СА-1.

Перед початком роботи культиватор налагоджують на необхідну ширину захвату й встановлюють на ньому відповідні робочі органи – полільні лапи 2, розпушуючі лапи чи борознорізи. Для обробітку саду з міжряддями шириною 4 м на ньому встановлюють основну раму 3, на котрій монтують поворотні ножі 8.3 міжряддями 5 м обробіток ведуть культиватором з приставними рамами, на яких монтують поворотні ножі.

Після заїзду агрегату у міжряддя тракторист за допомогою гідросистеми опускає культиватор у робоче положення, вмикає необхідну передачу та направляє трактор точно посередині міжряддя й рухається прямолінійно. Для запобігання пошкодженню штамбів він спостерігає за слідовказувачем, змонтованим на тракторі, що повинен торкатися штамба дерева кінцем гумової трубки. Щуп вмикача, стикаючись зі штамбами дерев, переміщує стакани золотників і направляє мастило у відповідні порожнини гідроциліндрів. При цьому поворотні ножі виводяться з міжстовбурної смуги. Після обходу дерева поворотні ножі повертаються у вихідне положення.

При русі агрегату усередині міжрядь перекриття між проходами в міжстовбурних смугах дорівнює 15 см. У зв'язку з тим що відстань між рядами дерев значно коливається, трактористу необхідно на початку кожного міжряддя й у середині стежити за ходом поворотного ножа з лівої сторони. При занадто великому перекритті, коли можна зашкодити дерева, ніж вимикають і більш вузькі міжряддя пропускають чи обробляють культиватором, що має менший захват.

Пристрій для обробітку міжстовбурних смуг ПМЛ-0,6 (рис. 1.8) призначений для розпушування ґрунту й знищення бур'янів у рядах між деревами [30, 31].

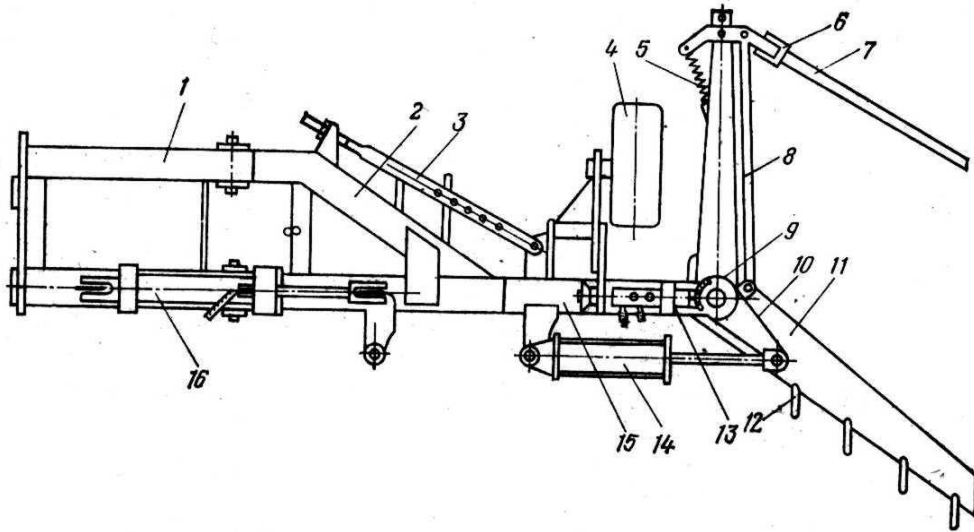


Рис. 1.8. Пристрій ПМП-0,6:

1 - навіска; 2 - рама внутрішня; 3 - розтяжка; 4- колесо; 5 - пружина;  
6 - коромисло; 7 - щуп; 8 - тяга; 9 - копір; 10 - важіль; 11 - ніж; 12 - розпушувач;  
13 - золотник; 14 та 16 - гідро циліндри; 15 - рама зовнішня.

Його приєднують до навіски, що монтується збоку на тракторі ДТ-75 та МТЗ-80, тому задню навіску трактора можна використовувати для навішування інших знарядь.

Пристрій ПМП-0,6 складається зі змінної навіски 1 на трактор, внутрішньої рами 2, рами зовнішньої 15 з розтяжкою 3, опорного колеса 4, поворотного ножа 11, механізму керування ножем, гідроциліндру 16 підйому секції у транспортне положення. Одна навіска – для агрегування з трактором МТЗ-80, друга – для агрегування з ДТ-75.

Механізм відводу ножа складається з золотника керування 13, встановленого на кулаку ножа 11, гідроциліндру 14, копіру 9 з пазом, щупа 7 з коромислом 6, тяги 8, що зв'язує щуп з копіром, пружини 5, що повертає щуп у вихідне положення. Золотник з'єднаний з гідроциліндром 14 відводу ножа, а також з розподілювачем гідросистеми трактора шлангом високого тиску, в який встановлюється кульковий запобіжний клапан.

Робочим органом являється односторонній поворотний ніж 11, обладнаний розпушувачами 12. Ніж прикріплений болтами до маточини поворотної осі. За допомогою важеля 10 вісь зв'язана з гідроциліндром відводу ножа.

Процес роботи пристрою ПМП-0,6 відбувається таким чином. Тракторист заїжджає в міжряддя з правої сторони так, щоб при русі агрегату щуп торкався штамба дерева на відстані не менш, ніж на 20 см від осі повороту лапи. Рекомендоване місце зіткнення штамба на щупі відзначається фарбою. Тракторист опускає пристосування в робоче положення. Рукоятка розподільвача гідросистеми переводиться в “плаваюче” положення. Вмикається гідромагістраль нагнітача, що з'єднана з механізмом відводу поворотної лапи. При цьому золотник знаходиться в “нейтральному” положенні й мастило йде на злив. Поворотна лапа утримується в робочому положенні тиском мастила в гідроциліндрі.

При русі агрегату уздовж ряду дерев щуп від зіткнення зі штаблом відводиться назад і тягою повертає копір, що натискає на ролик штовхача і переміщує стакан золотника в робоче положення. При переміщенні стакану на 3 мм відкривається отвір для проходу мастила в гідроциліндр. Під тиском мастила шток переміщається всередину циліндра і важелем виводить поворотну лапу з ряду дерев, копіюючи хід щупа. При подальшому русі агрегату щуп сходить зі штамба дерева і під дією пружини повертається у вихідне положення. Стакан золотника при цьому переміщується в “нейтральне” положення. Це приводить до зміни напрямку руху мастила. Під тиском мастила шток виштовхується з гідроциліндра і поворотна лапа вводиться в ряд дерев. Процес відводу поворотної лапи повторюється при зустрічі зі штаблом іншого дерева.

Наприкінці гону тракторист вимикає механізм керування поворотною лапою, піднімає пристрій в транспортне положення, повертає агрегат і заїжджає у наступне міжряддя.

### 1.3.2. Машини з активними робочими органами

До машин з активними робочими органами відносяться фрези, які класифікуються за ознакою розташування валу приводу робочих органів (робочі органи обертаються навколо осі вала) по відношенню до поверхні ґрунту таким чином [31, 32]:

- 1) з горизонтальним розташування валу;
- 2) з вертикальним розташування валу;
- 3) вал приводу розташовано з нахилом.

#### Фрези з горизонтальним розташування валу робочих органів.

Фреза садова ФА-0,76 (рис. 1.9) призначена для обробки ґрунту і знищення бур'янистої рослинності в міжстовбурних смугах плодкових садів. Фреза може працювати на ділянках, засаджених деревами з високим і низьким штаблом, де міжряддя дозволяє безперешкодному проходженню трактора. Під час роботи машини фрезерна секція рухається в пристовбурній смузі. При зіткненні щупа зі штаблом дерева фреза відхиляється усередину міжряддя й обійшовши його, знову повертається в ряд, залишаючи необробленою лише невелику захисну зону біля штамба дерева.

Фреза агрегатується з тракторами Т-75 або «Беларусь» усіх модифікацій [30, 31]. Фреза ФА-0,76 складається з рами, відхиляючого пристрою, редуктора 7, гідронасоса 6, фрезерного барабана 2, гідророзподільника 4 і масляного бака. Рама фрези має чотири ланки, з'єднаних між собою шарнірами. Вони утворюють рухливий шарнірний чотирьохланник. На рамі установлені усівузли машини. На несучому брусі 9 рами встановлений редуктор, що передає обертання фрезерному барабану. Фрезерний барабан складається з труби з дванадцятьма дисками, до яких болтами прикріплені робочі органи - Г-подібні ножі. Глибина обробки (до 12 см) регулюється полозками 16.

Відхиляючий пристрій складається зі щупа, системи важелів і гідророзподільвача. При зіткненні щупа зі штаблом дерева пристрій приводиться

в дію гідророзподільвачем. Фреза може працювати в садах з шириною міжрядь від 5 м і більш при висоті гілок не менш 40 см над ґрунтом. При русі фрези й обробці ґрунту в міжстовбурних пасмугах саду показчик маркера 12 повинен знаходитися на відстані 5—10 см від стовбура дерева. Висувна секція фрези в поперечному напрямку може висуватися на відстань, рівну 400—450 мм. Обслуговує машину один тракторист.

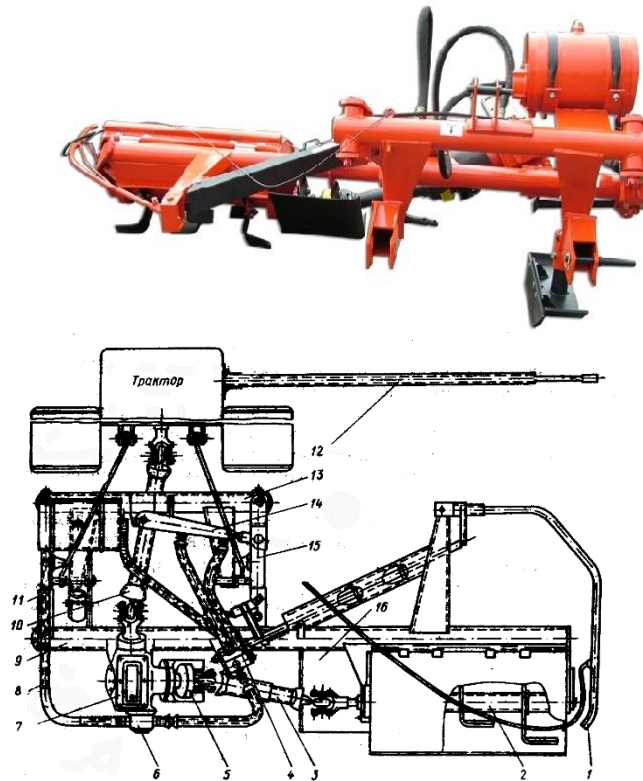


Рис.1.9. Загальний вигляд і схема фрези садової ФА-0,76:

1 - щуп; 2 - фрезерний барабан (ротор); 3, 10 - вали карданні; 4 - гідророзподільвач; 5 - запобіжна муфта; 6 - насос; 7 - конічний редуктор; 8 - шланги; 9 - несучий брус; 11, 15 - ланки паралелограма повздовжні; 12 - маркер; 13 - брус передній; 14 - гідроциліндр; 16 - полозки.

Фреза садова начіпна ФСН-0,9Г(рис. 1.10) призначена для розпушування ґрунту і знищення бур'янистої рослинності в міжстовбурних пасмугах садів і міжряддях ягідників з одночасним внесенням мінеральних добрив. Агрегатується з трактором Т-25А и шасі Т-16М [ 31].

Основними вузлами фрези є фрезерний барабан, рама підйому барабана, основна рама, конічний редуктор 8 із запобіжною муфтою 7, поперечний



карданний вал, гідравлічна система і механізм для автоматичного об'їзду штамба. Крім перелічених загальних вузлів, фреза комплектується додатковими деталями для: навішення на трактори різних марок.

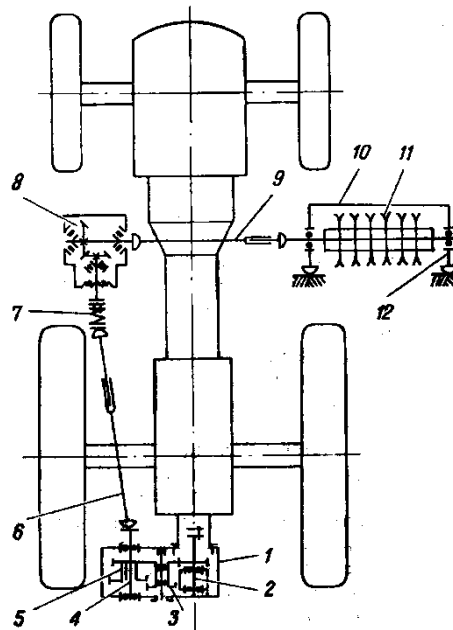


Рис. 1.10. Фреза садова ФСН-0,9Г:

1- циліндричний редуктор; 2 - верхній вал; 3 - проміжний блок; 4 - нижній вал; 5 - блок шестерень; 6 - повздовжній карданний вал; 7 -запобіжна муфта; 8 - конічний редуктор; 9 - поперечний карданний вал; 10 - кожух барабана; 11 - диск барабана; 12 - опорний полозок.

Робочим органом машини є фрезерний барабан (ротор) шириною захват 0,9 м, діаметром 370 мм і частотою обертання до  $403 \text{ хв}^{-1}$ . До вала барабана приварені шість дисків 11. До п'яти дисків прикріплені по шість ножів, а до крайнього внутрішнього диска — три ножі. Усього на барабані 33 ножа, що мають Г-подібний вигин у праву і ліву сторони. Вісь барабана обертається в двох підшипниках, змонтованих на кожусі 10, що одночасно є рамою барабана. Кожух являє собою зварений з кутиків каркас, закритий зверху сталевим листом. Кожух забезпечений опорними полозками, що обмежують заглиблення фрезерного барабана в ґрунт. Глибина обробки ґрунту фрезою регулюється зміною висоти положення полозків 12 відносно осі вала. Для цього на стійках полозків мається ряд отворів.

Механізм бічного виносу барабана складається з каретки, траверси і гідроциліндра. Повний винос фрезерного барабана вправо виконується за три цикли. При включенні рукоятки розподільника гідроциліндр штовхає каретку з рамою підйому і барабаном вправо на довжину ходу штока, потім після переключення розподільника підтягує траверсу. Після цього закріплюють траверсу в новій позиції і цикл починають спочатку. За три цикли фрезерний барабан цілком виводять у правий бік. Для відводу вліво також гідроциліндром підтягують його на довжину ходу штока, переміщують траверсу на нову позицію і знову підтягують барабан.

Фрезерний барабан при роботі приводиться в дію від ВВП трактора. Передавальний механізм фрези при навішенні на трактор Т-25А включає циліндричний і конічний редуктори, подовжній і поперечний карданні вали.

Тракторист заїжджає в міжряддя й у залежності від діаметра крон дерев і ширини оброблюваних міжрядь встановлює барабан фрези на необхідний косий винос. Потім включає ВВП трактора, опускає фрезерний барабан і починає обробку ґрунту в пристовбурних смугах. При обертанні барабана його ножі вриваються в ґрунт на глибину 5—11 см, відрізають стружку і рихлять ґрунт, знищують бур'яни в пристовбурних смугах саду.

Механізм автоматичного об'їзду штабів призначений для обробки фрезою міжстовбурних смуг у садах. Він складається з контактної механізми, механізму розвантаження гідросистеми, шлангів високого тиску і гідроарматури. Контактний механізм устатковується на кожусі барабана і має щуп із системою важелів і гідрозолотник. Перемикач механізму розвантаження гідросистеми встановлений на каретці бічного виносу барабана. У процесі роботи фрези щуп при зіткненні зі штабом дерева разом з важелями чотирьохланника відхиляється і діє на валик приводу золотника, що переміщується в протилежне крайнє положення. При цьому мастило подається в штокову порожнину гідроциліндра і відбувається відвід барабана від штаба дерева. Після сходу щупа зі штаба поворотні пружини переводять золотник у вихідне положення.

Механізм автоматичного об'їзду штампів розрахований для роботи з трактором Т-25А на зниженій передачі.

Фреза FS з горизонтальною віссю обертання робочих органів виробництва італійської фірми «RINIERIS.R.L» (рис. 1.11, 1.12) призначена для обробки пристовбурних смуг в садах шириною 55 – 70 – 80 см [33].

Технічна характеристика моделей фрези наведені в таблиці 1.2 [33]. Усі моделі фрези мають гідравлічне регулювання кута нахилу ротора і пружинний амортизатор для уникнення удару. Також ротор має спеціальне з'єднання для захисту трансмісії.



Рис.1.11. Загальний вигляд фрези FS італійської фірми «RINIERIS.R.L».



Рис.1.12. Фреза FS італійської фірми «RINIERI S.R.L» обробляє пристовбурну смугу яблуневого саду.

## Технічна характеристика фрези FS

Модель	Ширина міжряддя, м	Ширина захвата, м	Боковий зсув, м	Глибина обробітку, см	Потужність трактора, кВт	Маса, кг
FS 100	1,5 – 2,0	0,55	0,4	0,2	14,7	230
FS 130	1,8- 2,8	0,55	0,4	0,2	14,7	230
FS 160	2,5- 3,5	0,55	0,5	0,2	18,3	270
FS 160	2,5- 3,5	0,55	0,5	0,2	18,3	280
FS 200	2,5- 3,5	0,7	0,5	0,2	22,0	350
FS 200	3,0- 4,5	0,55	0,5	0,2	22,0	360
FS 220	3,5- 6,0	0,7	0,5	0,2	29,4	380
FS 220	3,5- 6,0	0,85	0,5	0,2	29,4	390

За даними виробника активний обробіток ґрунту в безпосередньої близьості від дерев на достатню глибину надає змогу суттєво зменшити кількість гризунів, причому це є єдиним приємлемим рішенням. Привід даної фрези відбувається від валу відбору потужності трактора і виключає застосування гідравлічної системи.

При роботі трактор розміщують в міжрядді таким чином, щоб повздожня вісь ряду дерев проходила посередині щупа. Щуп здатен своєчасно задіяти гідравлічну систему агрегату і змінити рух робочого органу.

До недоліків машин з активними робочими органами, що мають горизонтальну вісь обертання валу робочих органів відносяться підрізання тільки верхньої частини бур'янів, тоді як корені залишаються непошкодженими, що дає можливість повторної появи бур'янів. Вони також, як і ножові лапи, залишають після проходу ущільнений шар ґрунту. Крім того, при високому травостої (15-20 см і більше) вони забиваються рослинними

рештками, що зменшує їх продуктивність та якість виконання технологічного процесу

Дослідженнями [16 - 19, 32, 34, 35] доведено, що більш якісний обробіток ґрунту в пристовбурних смугах досягається за рахунок застосування активних робочих органів(далі – фрез), а саме з вертикальною віссю обертання валу робочих органів.

#### Фрези з вертикальним розташування валу робочих органів.

Фрезерна машина МПП-1,2 (рис. 1.13) обладнана вертикально-роторними робочими органами з Г-подібними ножами і призначена для обробітку пристовбурних смуг в садах. Вона не має гідроприводу й обходить штамби дерев від реакції робочих органів із ґрунтом [30].

Машина має раму 1 з паралелограмним механізмом 2 і начіпним пристроєм, на кінці якої закріплений корпус 3 з можливістю повороту навколо центральної осі, на вихідних валах якого змонтовані вертикальні ротори 4 з Г-подібними зовнішньо загнутими ножами. Привід фрезерних роторів здійснюється від ВВП трактора за допомогою карданних передач 5 і 6, конічних редукторів 7 і 8, пасової передачі 9 і розміщеної в корпусі зубчастої передачі 10. Зубчаста передача забезпечує однобічне обертання роторів (проти годинникової стрілки на виді зверху). Корпус обладнаний двома упорами 11, взаємодіючими з фіксатором 12, що керується щупом 14. Машина обладнана опорним колесом 13.

У процесі роботи агрегат рухається по середині міжряддя. Права половина корпусу 3 знаходиться в лінії ряду дерев з деяким перекриттям останнього. При торканні щупа 14 штамба дерева фіксатор 12 звільняє упор лівої половини корпусу. Під дією реактивного моменту, спрямованого протилежно напрямку обертання фрез барабанів ( по годинниковій стрілці на виді зверху), корпус повертається, обходячи дерево. Після сходу щупа зі штамба упор правої половини корпусу утримує його від провертання. Біля наступного дерева цикл повторюється. Опорне колесо 13 призначене для зміни глибини обробки. Повна обробка міжстовбурної смуги ( з наявністю захисної

зони, рівної 0,5 м<sup>2</sup>) відбувається за два суміжних проходи агрегату. Технологічні параметри фрези наведено у таблиці 1.3.

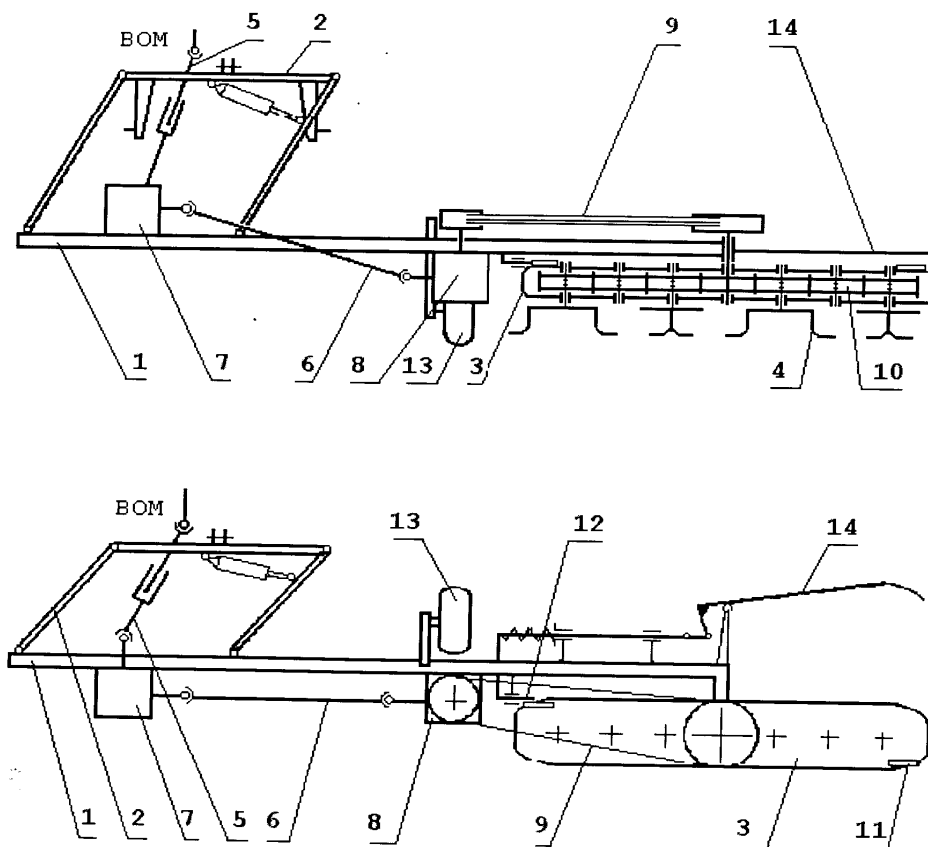


Рис. 1.13. Схема машини МПП-1,2:

1 - рама; 2 - паралелограмний механізм; 3 - корпус; 4 - ротори з ножами;  
5, 6 - карданні передачі; 7, 8 - конічні редуктори; 9 - пасова передача;  
10 - зубчасті передачі; 11 - упори; 12 - фіксатор; 13 - опорне колесо;  
14 - щуп.

Таблиця 1.3

Технічна характеристика фрези МПП-1,2

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

Основними недоліками даної машини є недостатня якість обробітку ґрунту, яка оцінювалась за показником його структурно - агрегатного складу [35]. За цим показником середня фракція ґрунту складає 44%, що за шкалою ДСТУ 4362 [36] знаходиться на межі незадовільного стану. Також L- образні ножі подрібнюють бур'яни, що сприяє їх розмноженню і утворюють плужну підшову.

Експериментальний зразок фрезерної машини МФ-13 вертикальною віссю обертання робочих органів був розроблений в НПО "Плодмашпроект" (рис. 1.14).

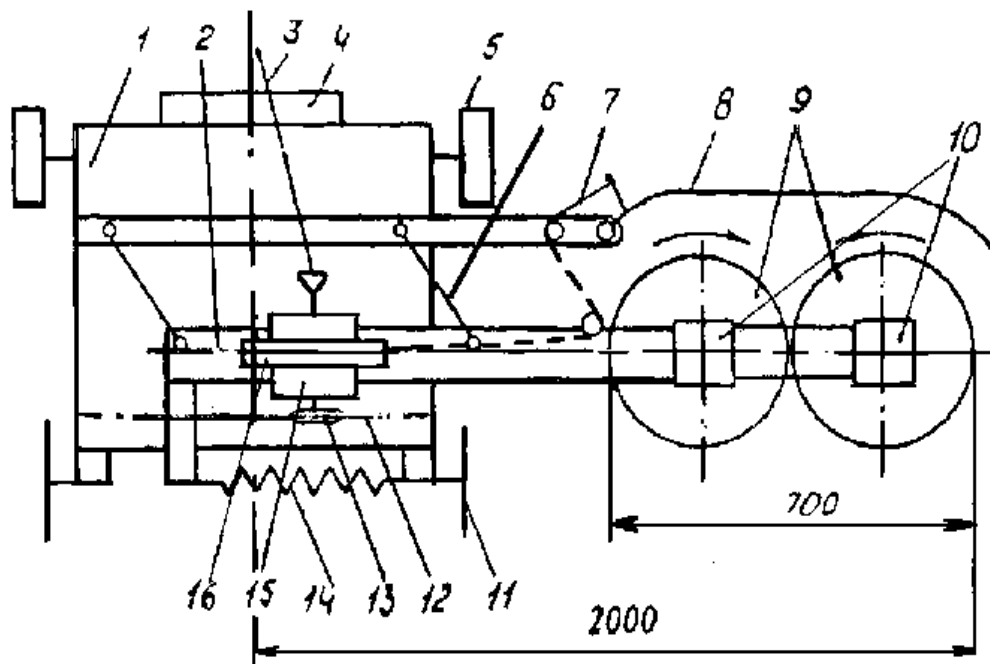


Рис. 1.14. Конструктивна схема фрези [34]:

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 у вигляді стрижень діаметром 20 і довжиною 200 мм з нахилом від вертикалі в напрямку обертання на кут  $30^\circ$ , що забезпечує

їхнє самоочищення від рослинних залишків. Кожний ротор фрези має по три робочих органи, які розташовані в шаховому порядку. Між робочими органами фрези і редуктором 10 встановлені фрикційні муфти для запобігання аварійних поломок при влученні в зону розпушування великих каменів, дроту та інших перешкод. Фрезерні барабани обертаються з частотою  $3,5 \text{ c}^{-1}$ , але в різних напрямках, і розташовані від осі МТА на відстані 2000 мм, що дає можливість застосування фрези в молодих і низькорослих насадженнях. Агрегатуються фреза із тракторами класів 9,14 і 30 кН, а швидкість руху знаходиться в межах від 0,41 м/с до 1 м/с. Конструкція фрез передбачає можливість регулювання глибини обробки ґрунту. Дана фреза пройшла попередні випробування в Інституті зрощуваного садівництва в насадженнях яблуні (схема садіння саду 4 x 2,5м) і персика (схема садіння саду 6 x 4м). Відповідно до програми випробувань визначалась якість обробітку ґрунту в пристовбурних смугах саду робочими органами фрези. За результатами [34] встановлено, що фреза при обробітку чорнозему південного легкосуглинкового вологістю від 15% до 20% утворюється такий агрегатний склад:

- менш 0,25 мм – 23,3% ;
- від 0,25 до 1 – 16% ;
- від 1 до 3 – 13,7% ;
- від 3 до 7 – 15,4 ;
- від 7 до 10 – 7,9% ;
- більш 10 – 23,7% .

Недоліком даної машини є також недостатня якість обробітку ґрунту, яка оцінювалась за показником його структурно - агрегатного складу. За цим показником середня фракція ґрунту від 0,25 мм до 10 мм складає 53%, що за шкалою ДСТУ 4362 [36] не відповідає стану «добрий».

З наведених даних можна отримати коефіцієнт збереження структури ґрунту, який визначається як відношення кількості агрегатів ґрунту розміром від 0,25 мм до 7 мм (у нашому випадку 45,1%) та суми агрегатів менше



0,25 мм і більше 7 мм (54,9%). Враховуючи наведене, значення коефіцієнту збереження структури ґрунту буде дорівнювати 0,82.

На даний час найбільш поширеними на міжнародному ринку є серії фрез для обробітку пристовбурних смуг італійської фірми «RINIERIS.R.L» [33].

Серія EL представлена гідравлічним висувним вертикально – фрезерним культиватором EL (рисунок 1.15). Ця фреза з вертикальною віссю обертання робочих органів призначена для обробітку пристовбурних смуг в садах з відстанню між рослинами не менш ніж 40см. А також в садах на схилах і кам'янистих ґрунтах, з діаметром каміння не більше 12см. Технічна характеристика моделей фрези наведені в таблиці 1.3 [33]. Усі моделі фрези забезпечують оптимальне рихлення ґрунту без утворення канав при боковому зміщенні робочих органів.



Рис.1.15. Загальний вигляд фрези EL італійської фірми «RINIERI».

Фреза має регулювання нахилу роторного агрегату і чотири вертикально розташованих ножа (зубові робочі органи), які призначені для, в основному для обробітку важких кам'янистих ґрунтів.

## Технічна характеристика фрези EL

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



Рис.1.16. Фреза EL італійської фірми «RINIERI» обробляє пристовбурні смуги в плодovих насадженнях.

Серія EL – А [33]. Це нова серія вертикальних фрез з боковим зміщенням для тракторів з переднім начепом (рис. 1.17). Серія складається з 6 моделей з боковим зміщенням від 120см до 600см. Технічна характеристика наведена у таблиці 1.5.



Рис.1.17. Загальний вигляд фрези EL- А.

Таблиця 1.5

Технічна характеристика фрези EL- А

Модель	Міжряддя, см	Ширина захвату, см	Бокове зміщення, см	Глибина обробітку, см	Потужність трактора, л.с.	Маса, кг
EL-A 90	120-200	65	40	0,5-10	30	260
EL-A 115	150-250	65	42	0,5-10	30	300
EL-A 140	200-300	65	42	0,5-10	30	320
EL-A 170	250-380	65	42	0,5-10	30	340
EL-A 200	300-450	65	42	0,5-10	40	410
EL-A 225	350-600	65	42	0,5-10	40	430

Серія ELX [33]. Серія фрез ELX має невеликі габаритні розміри і підвищену міцність для роботи на кам'янистих ґрунтах (рис. 1.18). Машина має привід бокового зміщення і спеціальний карданний вал з захисною муфтою. Технічна характеристика наведена у таблиці 1.6.



Рис.1.18. Загальний вигляд фрези ELX італійської фірми «RINIERI».

Таблиця 1.6

Технічна характеристика фрези ELX

Модель	Міжряддя, см	Ширина захвату, см	Бокове зміщення, см	Глибина обробітку, см	Потужність трактора, л.с.	Маса, кг
ELX 115	170-230	65	50	0,5-10	60	370
ELX 140	200-300	65	50	0,5-10	60	390





Рис.1.19. Фреза ELX італійської фірми «RINIERI» обробляє пристовбурні смуги в плодкових насадженнях.

Серія E-DUE [33]. Це 2-х стороння вертикальна фреза (рис. 1.20). Призначена для обробітку пристовбурних смуг багаторічних насадженнях на великих площах. Має чотири електрогідравлічних сенсори з незалежним гідравлічним розподіленням, що забезпечує центральне положення машини в міжрядді насаджень (рис. 1.12). Технічна характеристика наведена у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Технічна характеристика фрези E-DUE

Модель	Міжряддя, см	Ширина захвату, см	Бокове зміщення, см	Глибина обробітку, см	Потужність трактора, л.с.	Маса, кг
E-DUE	120-250	40+40	35	10-15	70	700



Рис.1.20. Загальний вигляд фрези E-DUE італійської фірми «RINIERI».



Рис.1.21. Фреза E-DUE італійської фірми «RINIERI» обробляє пристовбурні смуги виноградників.

Серія EP [33]. Фрези цієї серії мають чотири ротори з боковим зміщенням і гідравлічним приводом (рис. 1.22). Такі фрези забезпечують добре видалення бур'янів при мінімальній глибині роботи і рихляють ґрунт

без утворення канав при боковому зміщенні (рис. 1.23). Технічна характеристика наведена у таблиці 1.7.



Рис.1.22. Загальний вигляд фрези EP італійської фірми «RINIERI».

Таблиця 1.7

Технічна характеристика фрези EP

Модель	Міжряддя, см	Ширина захвату, см	Бокове зміщення, см	Глибина обробітку, см	Потужність трактора, л.с.	Маса, кг
EP 10/100	170-200	100	38	0,5-10	40	380
EP 15/125	200-250	150	45	0,5-10	55	470
EP 15/150	225-300	150	45	0,5-10	55	490
EP 20/175	280-350	200	45	0,5-10	70	600
EP 20/200	300-400	200	45	0,5-10	70	610
EP 20/250	400-550	250	45	0,5-10	70	650





Рис.1.23. Фреза EP італійської фірми «RINIERI» обробляє пристовбурні смуги в плодкових насадженнях.

Серія VELOX ½ [33]. Фрези серії VELOX призначені для швидкого і точного рихлення пристовбурних смуг в садах і виноградниках (рис. 1.24). Технічна характеристика наведена у таблиці 1.8.



Рис.1.24. Загальний вигляд фрези VELOX.



## Технічна характеристика фрези VELOX

Модель	Міжряддя, см	Ширина захвату, см	Бокове зміщення, см	Глибина обробітку, см	Потужність трактора, л.с.	Маса, кг
VELOX 1/130	150-380	60	35	15	40	450
VELOX 2/130	250-500	60	35	15	50	480
VELOX 2/180	300-600	60	35	15	50	480



Рис.1.25. Фреза VELOX італійської фірми «RINIERI» обробляє пристовбурні смуги в плодкових насадженнях.

Серія VELOX 8 [33]. Ця серія фрез має 2-х стороннє розташування фрезерних роторів з вертикальним розташуванням ножів і має можливість переднього або заднього навішування (рис. 1.26, 1.27). Технічна характеристика наведена у таблиці 1.10.



Рис.1.26. Загальний вигляд фрези VELOX 8 .



Рис.1.27. Фреза VELOX 8 обробляє пристовбурні смуги виноградників.

Таблиця 1.10

Технічна характеристика фрези VELOX 8

Модель	Міжряддя, см	Ширина захвату, см	Бокове зміщення, см	Глибина обробітку, см	Необхідна потужність трактора, л.с.	Маса, кг
VELOX8-S	180-220	60	35	15	50	580
VELOX8-L	240-280	60	35	15	50	630

Перелічені машини є основними машинами для обробки ґрунту в пристовбурних смугах з вертикальним розташуванням валу робочих органів. Робочі органи даних машин виконані у вигляді ножів, робочі поверхні яких є площинами. Ножі з такими поверхнями сприяють утворенню сколюючого ефекту і більш придатні для обробки ґрунтів з камінням. Враховуючі данні підрозділу 1.1 по типам ґрунтів ґрунтово - кліматичної зони «Південний степ» можна зробити висновок, що такі робочі органи не можуть сприяти утворенню оптимального структурно – агрегатного складу ґрунтів південного степу.

Удосконалення конструкцій машин для обробки ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень йде по двом напрямкам:

- удосконалення конструкції керуючого пристрою, яке спрямоване на збільшення його чутливості, зниження зусиль спрацьовування [37 - 41];
- удосконалення конструкції робочих органів, спрямоване на поліпшення якості виконання технологічного процесу, зниження його енергоємності та екологічного навантаження на ґрунт [42 - 48].

Зараз при підготовці ґрунту під сівбу широке застосування набули робочі органи з вертикальною віссю обертання [49]. Вони забезпечують добре розпушування ґрунту, не утворюють ґрунтової підшви та створюють рівну поверхню поля та дрібнокомкувату структуру ґрунту [50 - 55].

#### 1.4. Висновки до першого розділу

1. Умови ґрунтово - кліматичної зони «Південний степ» є такими, що вирощування плодкових насаджень інтенсивного типу з максимальним ефектом досягається тільки при наявності систем зрошення і комбінованому способі утримання ґрунту.

2. Пристовбурні смуги в плодкових насадженнях інтенсивного типу доцільно утримувати під чорним паром за допомогою механізованого

способу обробітку ґрунту активними робочими органами з вертикальною віссю обертання.

3. На підставі даних технічної літератури визначено, що найбільш близьким технічним рішенням експериментальний зразок фрезерної машини МФ-1 з вертикальною віссю обертання робочих органів, які виконані у вигляді стрижень.

4. Встановлено, що фреза МФ-1 обробляє ґрунт із забезпеченням коефіцієнту структурно – агрегатного стану 0,53. Це значення за ДСТУ4362 знаходиться на межі незадовільного стану ґрунту, що не сприяє створенню умов для оптимального проходження біологічних процесів у ґрунті і, як наслідок, відбуваються погіршення росту і розвитку плодових дерев.

5. Для підвищення коефіцієнта збереження структури ґрунту в пристовбурних смугах саду необхідно визначити граничні значення показників його фракційного складу та їх оптимальне співвідношення для різних типів ґрунтів з урахуванням застосування зрошення.

6. Досягти оптимальної структури ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень можна за рахунок застосування обґрунтування робочих органів фрези, параметри форми і положення яких сприятимуть підвищенню кількості агрегатів в обробленому ґрунті з розміром від 0,25мм до 7(10)мм.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ТА РЕЖИМУ РОБОТИ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ

#### 2.1. Обґрунтування конструктивно - технологічної схеми фрезерної машини

В дослідженнях [20] наводиться, що витрати на паливо та техніку є найбільшими при обробітку ґрунту комплексом машин, який був розроблений у 70-і роки для утримання ґрунту під чорним паром в садах екстенсивного типу. В основу комплексу було покладено такі поняття як «пристовбурна смуга», «підкоронова зона», «вільна частина міжряддя». До його складу увійшли: фреза ФА-0,76, дискові борони БДС-3,5 та БДСТ-2,5, культиватор КСГ-5 з шириною захвата 3м, 4м, 5м, який обробляє вільну частину міжряддя і пристовбурну смугу. Такий комплекс машин не є ресурсоощадним для обробки ґрунту в садах інтенсивного типу.

Найбільш перспективним способом утримання ґрунту в садах інтенсивного типу є комбінований спосіб, при якому вільна частина міжряддя утримується під задернінням, а пристовбурна смуга – під чорним паром [19]. Також доведено, що більш якісний обробіток ґрунту в пристовбурних смугах досягається за рахунок застосування робочих органів з вертикальною віссю обертання [13, 19, 20, 35] (далі – фреза). На основі проведеного аналізу у розділі 1 встановлено, що найбільш перспективним способом утримання ґрунту в садах інтенсивного типу в ґрунтово - кліматичній зоні «Південний степ» є комбінований спосіб, при якому вільна частина міжряддя утримується під задернінням, а пристовбурна смуга – під чорним паром. Також було доведено, що більш якісний обробіток ґрунту в пристовбурних смугах досягається за рахунок застосування робочих органів з вертикальною віссю обертання.

Аналіз існуючих засобів механізації показав, що конструктивні рішення, які були досягнуті в експериментальному зразку фрезерної машини МФ-1, найбільш близькі до визначених вимог. Машина ефективно звільнює пристовбурну смугу від бур'янів, але рихлення ґрунту остається незадовільним – 53% ґрунтових агрегатів від 0,25 до 10 мм, а відповідно до вимог ДСТУ4362 таких агрегатів повинно бути не менше 80%. Дослідженнями процесу обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень фрезерними машинами займалися такі дослідники, як О.І. Завравжков, О.Г. Караєв, І.П. Привалов, О.Ф. Сафонов, С.М. Саньков, С.Г. Фрішев, В.І.Цимбал та ін. У працях названих науковців запропоновано робочі органи з вертикальною віссю обертання, а саме виконані у вигляді L-образних ножів, які зогнуті зовні. При цьому середня фракція ґрунту складає 44%, що знаходиться на межі незадовільного стану. Також L- образні ножі подрібнюють бур'яни, що сприяє їх розмноженню і утворенню плужної підшви. Також досліджувались робочі органи виконані у вигляді циліндричних стрижень, що відхилені від вертикальної осі на кут 30% у бік протилежний обертанню ротора. Недоліком такої машини є також недостатня якість обробітку ґрунту, яка оцінювалась за показником його структурно - агрегатного складу. За цим показником середня фракція ґрунту складає 53%, що також не відповідає стану «добрий». На підставі проведеного аналізу сформульовано мету та завдання досліджень.

За результатами узагальнених досліджень, щодо обробітку ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень, дійшли висновку про доцільність обробітку ґрунту в пристовбурних смугах фрезою з робочими органами що повертаються навколо вертикальної осі. Така конструктивна схема була реалізована в дослідному зразку фрезерної машини МФ-1 з робочими органами у вигляді циліндричних розпушувальних стержнів, розташованих під кутом до вертикалі. Але основним недоліком роботи таких робочих органів є незадовільний структурно-агрегатного стану ґрунту.

Тому нами була запропоновано схему фрезерної машини, яка містить два ротори 4 з ножами 7 (рис. 2.1), які обертаються в різних напрямках, обробляють смугу шириною 70 см і розташовані від осі трактора на відстані 200 см, що дає можливість застосування фрези в насадженнях інтенсивного типу. Кожний ротор має диск 5 зі стійками 6, на яких в шаховому порядку розташовані по три ножі (рис. 2.2). Ножі мають циліндричну поверхню і занурюються в ґрунт на глибину до 8 - 10 см .

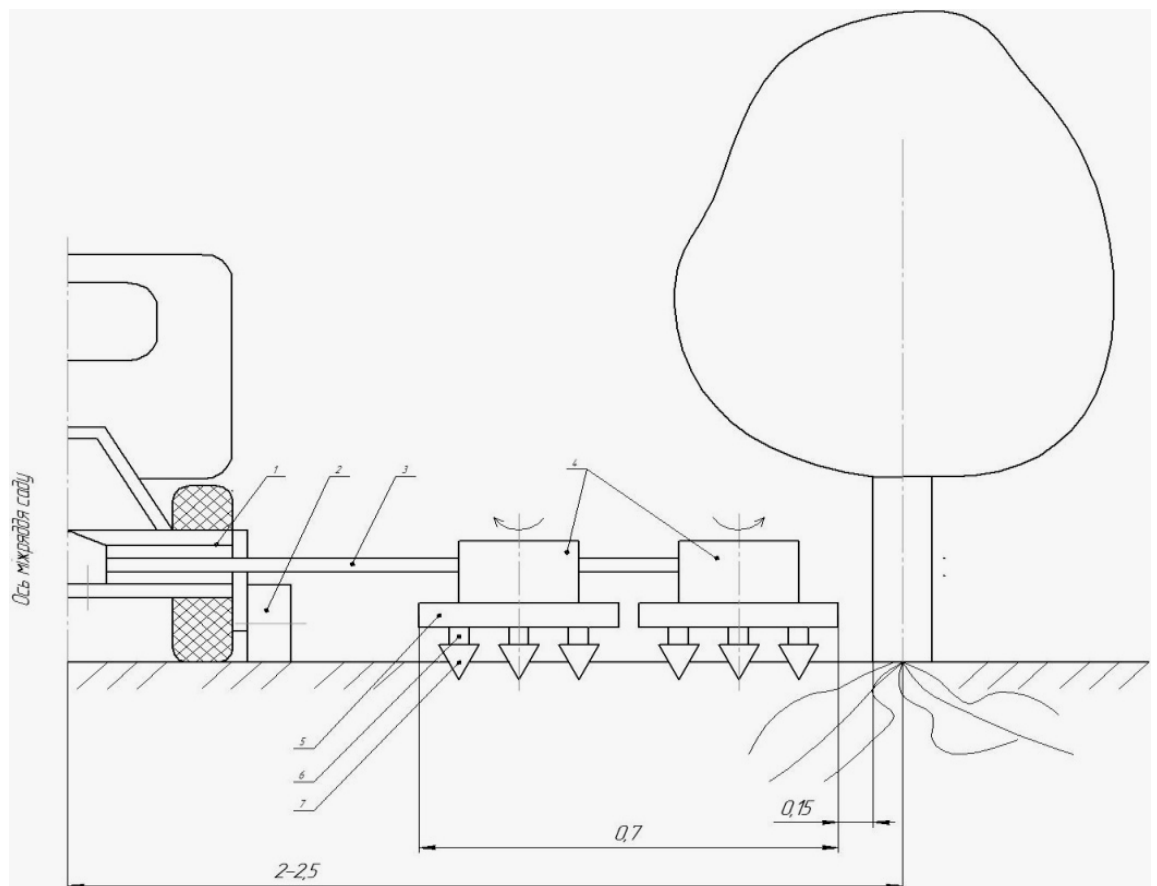


Рис. 2.1. Конструктивно – технологічна схема фрезерної машини:

1 – рама; 2 – опорне колесо; 3 - привідний вал; 4 - ротори; 5 - диск; 6 - стійка;  
7 - ніж.

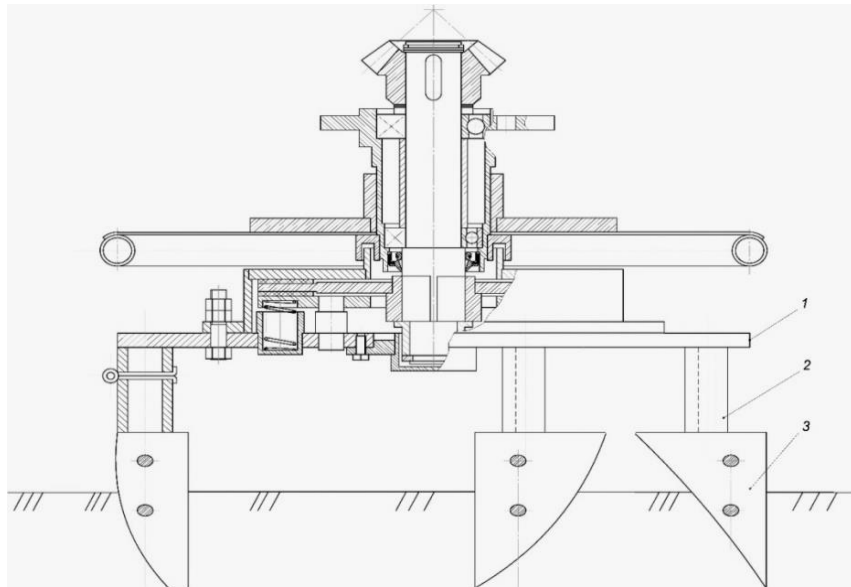


Рис. 2.2. Конструктивно – технологічна схема ротора:

1 – диск; 2 – стійка; 3 – ніж; 4– вал приводу робочих органів; 5 – запобіжна муфта.

2.2. Розроблення математичної моделі процесу взаємодії ґрунту з робочими органами фрезерної машини, які обертаються навколо вертикальної вісі

2.2.1. Обґрунтування параметрів напрямної лінії поверхні робочого органу

Отримати параметри напрямної лінії криволінійної поверхні ножа фрези для обробки ґрунту можливо шляхом визначення її координат графо - аналітичним методом.

Під час роботи фрези її робочі органи з вертикальною віссю обертання рухаються по криволінійній траєкторії, лінія якої є трохойдою [56]. Згідно з [57] при криволінійному русі ріжучого робочого органу його поверхня має бути криволінійною. Для побудови напрямної такої поверхні рух ріжучої крайки ножа по траєкторії, яка є трохойдою можна представити рівнянням:



$$\begin{cases} x = V_M \cdot t + R \cdot \sin(\omega t) \\ y = R \cdot \cos(\omega t) \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $V_M$  - швидкість руху агрегату;

$R$  - радіус обертання ріжучої крайки ножа;

$\omega$  - кутова швидкість.

Траєкторія руху ріжучої крайки ножа при значеннях  $V_M = 0,88 \text{ м/с}$ ,  $\omega = 15,8 \text{ рад/с}$ ,  $t = 0,01 \text{ с}$ , має вигляд, який наведено на рисунку 2.3. Початок перетворення частини траєкторії руху ріжучої крайки ножа в криволінійну напрямну CF ножа слід починати з точки на траєкторії де її кривина досягає максимуму. З рисунку 2.3 видно, що найбільшу кривину траєкторія буде мати у точки С, яку обираємо за центр перетворення. Перетворення кривої лінії СВ здійснимо наступним чином. Обчислимо довжину частини криволінійної траєкторії СВ, яка задана рівнянням (2.1).

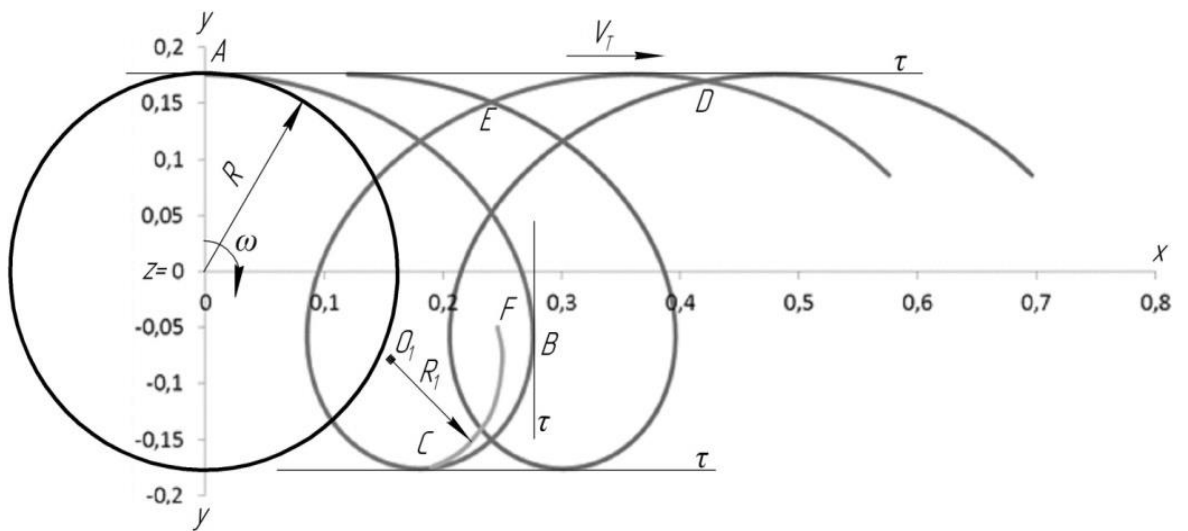


Рис.2.3. Траєкторія руху робочих органів фрези.

Для обчислення довжини лінії СВ скористаємось формулою [58]

$$L = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{(x'_t)^2 + (y'_t)^2} dt \quad (2.2)$$

Обчислимо похідні  $x'$ ,  $y'$ :

$$\begin{aligned} x' &= (V_M \cdot t + R \cdot \sin(\omega t))' = V + R \cos(\omega t) \omega \\ y' &= (R \cdot \cos(\omega t))' = -R \sin(\omega t) \omega \end{aligned} \quad (2.3)$$

Підставимо отримані похідні (2.3) у формулу (2.2), та інтегруємо вираз (2.2) на інтервалі  $0.124 \leq t \leq 0.205$ . Тоді

$$L = \int_{0.124}^{0.205} \sqrt{(V + R \cos(\omega t) \omega)^2 + (-R \sin(\omega t) \omega)^2} dt \quad (2.4)$$

Процес перетворення криволінійної частини траєкторії СВ в криволінійну напрямну ножа CF [59 - 64] наведено на рисунку 2.4. Точка  $C'$  співпадає з початком координат. Згідно з формулою 2.4 довжина  $L$  частини траєкторії  $C'B$  буде дорівнювати 0,169м, яку розіб'ємо на рівні відрізки з інтервалом  $\Delta t = 0.01$ с, і отримуємо точки  $1, 2, \dots, n$ , у яких проводимо перпендикуляри. З точки  $C'$  проводимо пряму під кутом  $\gamma = 10^\circ$ , який є заднім кутом різання, і на перетині з перпендикулярами отримуємо точки  $1', 2', n'$ . Відстані  $11', 22', nn'$  відкладаємо у однойменних точках на частині траєкторії СВ. Координати вершин перпендикулярів  $1_01', 2_02', n_0n'$  визначають криволінійну напрямну CF поверхні ножа фрези.

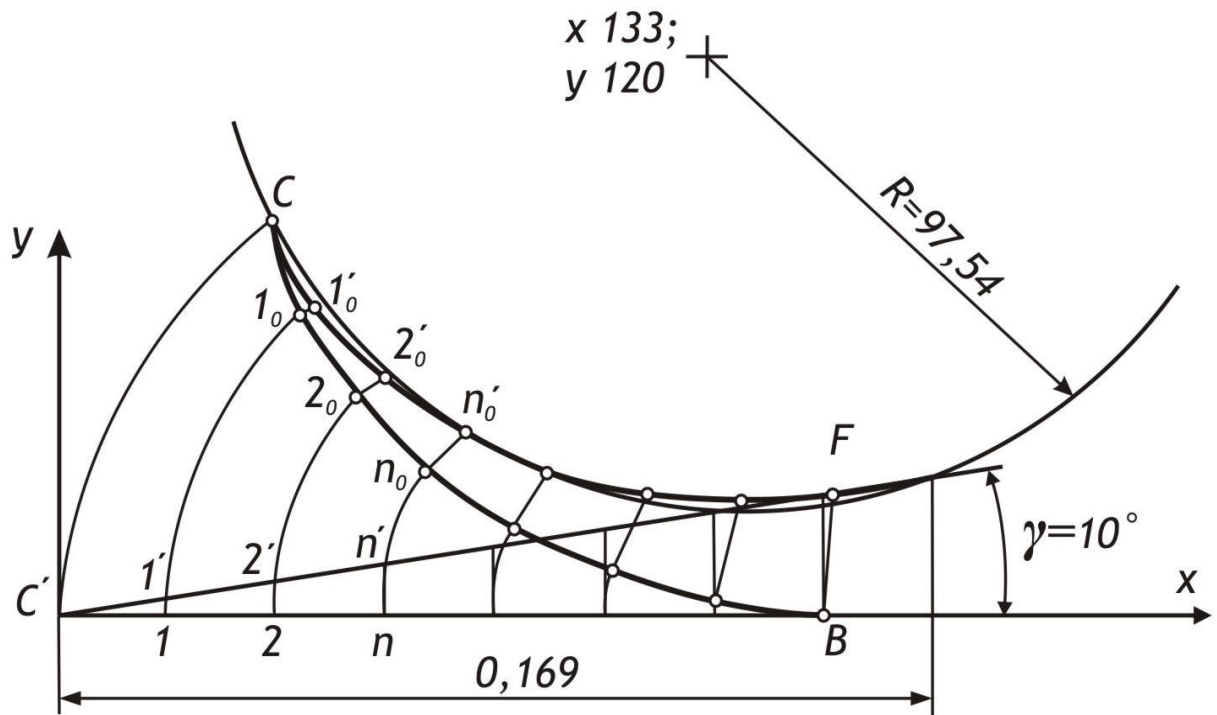


Рис. 2.4. Схема перетворення частини траєкторії руху ножа СВ в криволінійну напрямну поверхні ножа CF.

Визначення канонічного рівняння напрямної CF є не тривіальною задачею і для практичного застосування не є доцільним, у зв'язку з тим, що поверхня ножа буде представлена у вигляді циліндричної поверхні, що розгортається, і апроксимованою площинами, які проходять через напрямну CF.

Визначення даних координат проводимо шляхом рішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} (x_{2_0} - x_{1_0}) \cdot (x_{1'_0} - x_{1_0}) + (y_{2_0} - y_{1_0}) \cdot (y_{1'_0} - y_{1_0}) = 0 \\ (x_{1'_0} - x_{1_0})^2 + (y_{1'_0} - y_{1_0})^2 = 1_0 1'_0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Результати обчислення координат точок криволінійної напрямної CF наведено у таблиці 2.1.

Координати точок криволінійної напрямної CF

Точки	1' <sub>0</sub>	2' <sub>0</sub>	3' <sub>0</sub>	4' <sub>0</sub>	5' <sub>0</sub>	6' <sub>0</sub>	7' <sub>0</sub>	8' <sub>0</sub>	9' <sub>0</sub>
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 з координатами, які наведені у таблиці доцільно представити дугою кола з найменшою похибкою. У нашому випадку приймаємо радіус кола 0,097 м, який дає похибку  $\pm 1,9$  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 [65 - 70].

Кінематичні параметри фрезерної машини:

$V_M$  - швидкість руху фрезерної машини;

$\omega_1$  - кутова швидкість ротора.

Конструктивні параметри ножа:

R- радіус обертання ріжучої крайки ножа;

$R_1$  – радіус напрямної поверхні ножа CF;

$\check{S}$  – довжина дуги напрямної CF;

H – висота ножа.

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

$mg$  - сила тяжіння;

$F_n$  - центробіжна сила;

$F_{тр}$  - - сила тертя;

$F_k$  - сила Кориоліса;

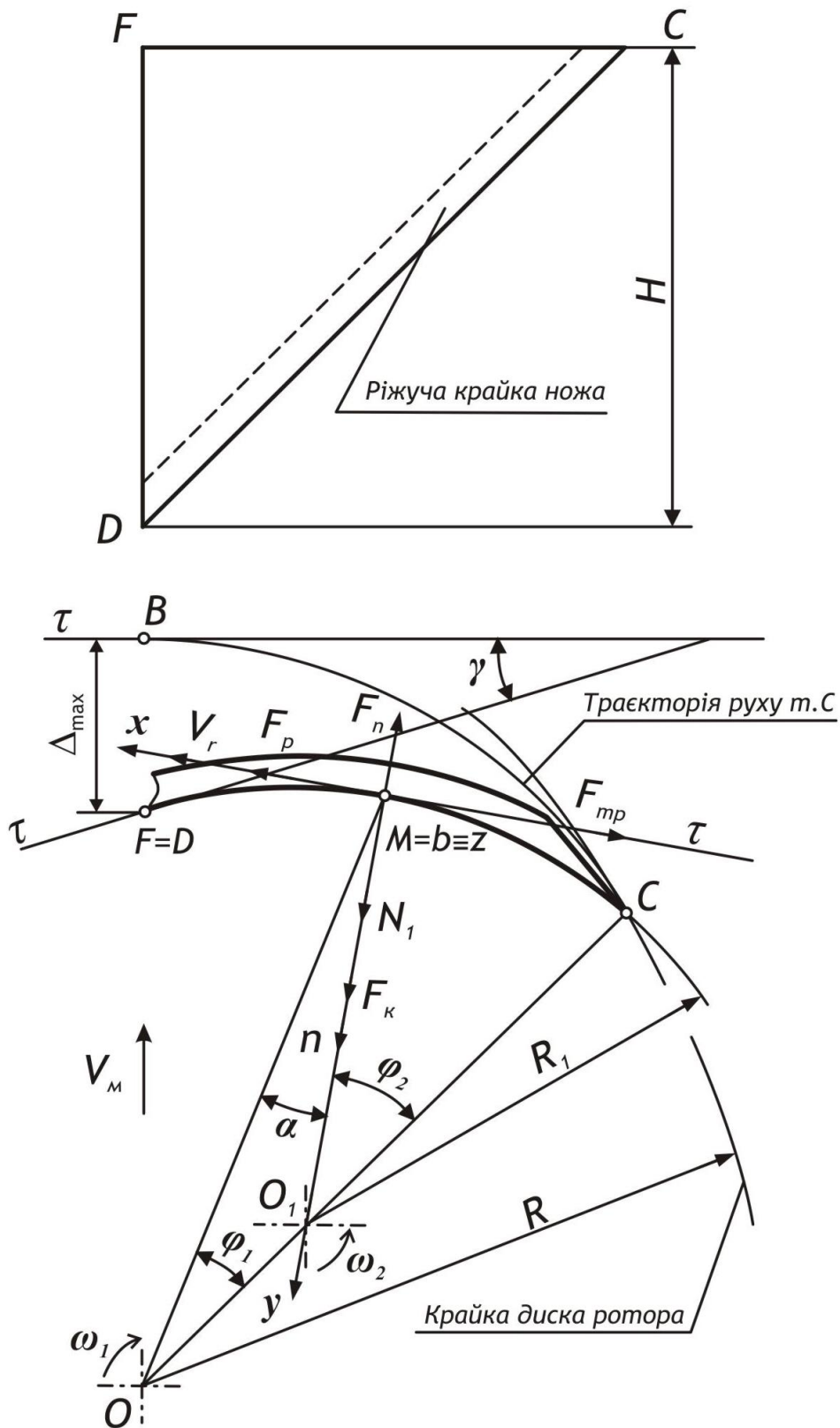


Рис.2.5. Розрахункова схема щодо визначення відносної швидкості руху ґрунту по поверхні ножа.

$N_1$  - 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 перміщення т. М по поверхні ножа.

Приймаючи до уваги те, що відхилена ножем скиба ґрунту під дією рухомої сили  $F$  переміщується по циліндричній поверхні ножа у сторону денної поверхні поля вважаємо, що кожна частка ґрунту скиби буде рухатись по траєкторії, яка не є плоскою кривою, а буде гвинтовою лінією. Тоді для визначення швидкостей руху часток ґрунту по ножу згідно з рисунком 2.5 побудуємо прямокутну систему координат з началом в точці М, спрямував ось абціс  $M\tau$  по дотичній, ось ординат  $Mn$  по головній нормалі і ось аплікват  $Mb$  по бінормалі. Прийнята система координат є правою, а проєкції сил в т.М на її осі будуть мати такі рівняння:

- на нормаль  $n$

$$N_1 = F_n \cos \varphi - F_k,$$

- на бінормаль  $b$

$$F_2 = N_2 + F_v - mg,$$

- на дотичну  $\tau$ , яке є диференціальним рівнянням відносного руху ґрунту по поверхні ножа

$$ma_n = m \frac{dV_r}{dt} \cdot \frac{d\tilde{S}}{d\tilde{S}} = m \frac{d\tilde{S}}{dt} \cdot \frac{dV_r}{d\tilde{S}} = m V_r \frac{dV_r}{d\tilde{S}} = F_p - F_n \sin \alpha - F_{тр},$$

або

$$mV_r \frac{dV_r}{d\check{s}} = F_p - F_n \sin \alpha - \mu F_{\text{тр}} \cos \alpha + \mu 2m \omega_1 V_r, \quad (2.6)$$

де  $F_n = m \omega_1^2 OM$  ( де  $OM = R - \Delta$  ( $\Delta$  - відстань від трохіди до ріжучої крайки ножа;

$$\check{s} = \varphi_2 R \text{ (де } \varphi_2^{\max} = 2 \arcsin \frac{CFR}{2} \text{ )};$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N_1 \text{ (де } \mu \text{ - коефіцієнт тертя);}$$

$$F_k = 2m \omega_1 V_r;$$

$m$  - маса ґрунту на ножі.

З урахуванням того, що  $m = \rho V$ ,

де  $V = \frac{\check{s}H}{2} d$  (де  $H$  - висота ножа;  $d$  - товщина скиби ґрунту на ножі);

$$\rho \text{ - щільність ґрунту маємо } m = \rho \frac{\check{s}Hd}{2}.$$

Силу  $F_p$  визначаємо із закону збереження імпульсів

$$mV_r = F_p \cdot t,$$

де  $t$  - час знаходження ґрунту на ножі  $t = \frac{\check{s}}{V_r}$

Тоді

$$m\check{s} = F_p t^2.$$

Звідкіля сила

$$F_p = \frac{m\check{s}}{t^2}.$$

З іншого боку  $\omega_2 = \frac{\varphi_2}{t}$  ( де  $\omega_2$  - кутова швидкість ґрунту по ножу) і якщо врахувати те, що час повертання т.М по ножу дорівнює часу повертання ножа, тоді

$$\frac{\varphi_2}{\omega_2} = \frac{\varphi_1}{\omega_1} \quad (2.7)$$

Якщо врахувати те, що  $\check{s} = \varphi_2 R_1$ , то сила

$$F_\delta = m \varphi_2 R_1 \left( \frac{\omega_2}{\varphi_2} \right)^2 = m \frac{\omega_2^2 R_1}{\varphi_2}$$

В рівняння (2.6) підставляємо значення усіх сил і скорочуємо на масу.

Тоді маємо

$$\frac{Vr dVr}{dS} = 2\mu\omega_1 V_r + \frac{R_1}{\varphi_2} \omega_2^2 - \omega_1^2 (R - \Delta)(\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \quad (2.8)$$

Для спрощення обчислення введемо такі позначення:

$$a = 2\mu\omega_1 = const,$$

$$b = \frac{R_1 \omega_2^2}{\varphi_2} - \omega_1^2 (R - \Delta)(\sin \alpha + \mu \cos \alpha).$$

Знайдемо  $\omega_2$  з урахуванням рівності (2.7) та рівності  $\varphi_1 + \alpha = \varphi_2$  у трикутнику  $OO_1M$  ( рис. 2.5):

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 \varphi_2}{\varphi_2 - \alpha}$$

Величини  $S$  і  $V_r$  є функціями ( $\varphi_2, \Delta, \alpha$ ).

Розділяє змінні у рівнянні (2.8) маємо



$$\frac{V_r dV_r}{aV_r + b} = dS$$

Інтегруємо в межах:

$$\begin{aligned} V_r &= (0, V_r') \\ \check{s} &= (0, \check{s}'), \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\int_0^{V_r'} \frac{V_r dV_r}{aV_r + b} = \int_0^{\check{s}'} dS.$$

З урахуванням табличного значення даного інтеграла

$$\int \frac{x dx}{ax + b} = \frac{1}{a^2} (ax + b - b \ln|ax + b|) + C$$

маємо:

$$\frac{1}{a^2} (aV_r + b - b \ln|aV_r + b|)_0^{V_r'} = \check{S}'_0.$$

Підставимо межі інтегрування (2.9)

$$\frac{1}{a^2} (aV_r' + b - b \ln|aV_r' + b| - b + b \ln b) = \check{S}'$$

і розділяє змінні отримуємо рівняння

$$aV_r' - b \ln|aV_r' + b| = \check{S}' a^2 - b \ln b, \quad (2.10)$$

яке є нелінійним і може бути вирішено наближеними методами аналізу.

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

Для виконання розрахунків відносних швидкостей часток ґрунту по поверхні ножа і динамічних характеристик їх руху було розроблено комп'ютерну програму за допомогою програмної оболонки Embarcadero RAD Studio 2009. Програма складається з трьох форм:

- головна форма призначена для введення вихідної інформації, проведення розрахунків та виведення інформації о значеннях швидкостей у текстовому вигляді. Зовнішній вигляд головної форми наведено на рисунку 2.6:

- форма графіків відносних швидкостей руху часток ґрунту по поверхні ножа;

- форма графіків сукупної дії сил на частку ґрунту під час її руху по поверхні ножа.

Опис програми та її лістинг наведено у додатку А.

Для обчислення по рівнянню (2.10) значення швидкості руху т. М у чотирьох її положеннях на напрямній CF поверхні ножа маємо такі вхідні дані.

f12	delta	alpha	S	Variant
0,867	0,014	0,2262	0,144	1

Обчислити      Графіки залежностей швидкості      Графіки сил

Omega1 R = 2,7 Mu = 0,2 variant 1  
швидкість 4,5400390625  
Omega1 R = 2,7 Mu = 0,4 variant 1  
швидкість 5,1513671875  
Omega1 R = 2,7 Mu = 0,6 variant 1  
швидкість 5,8095703125  
Omega1 R = 2,7 Mu = 0,8 variant 1  
швидкість 6,5009765625

Рис. 2.6. Головна форма програми.

Константи руху:

$$\omega_1 = 15,8 \text{ рад/с}; R = 0,176 \text{ м};$$

$$R_1 = 0,107 \text{ м}; 0,097 \text{ м}; 0,087 \text{ м}$$

$$\mu = 0,2; 0,5; 0,6; 0,8; a = 2\mu\omega_2;$$

$$b = \frac{R\omega_2^2}{\varphi_2} - \omega_1^2 (R - \Delta)(\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha);$$

Змінні руху:

$$\varphi_2 = 1,742 \text{ рад}; \tilde{S} = 0,169 \text{ мм}; \Delta = 62 \text{ мм}; \alpha = 0,7501 \text{ рад}.$$

Підставляємо визначені вхідні данні в рівняння 2.10, маємо значення відносної швидкості т. М по поверхні з напрямною CF, на підставі яких побудовано графік змін швидкості руху т.М в залежності від лінійної швидкості ножа при  $R_1 = 0,097$  різних значеннях коефіцієнту тертя (рис.2.7).

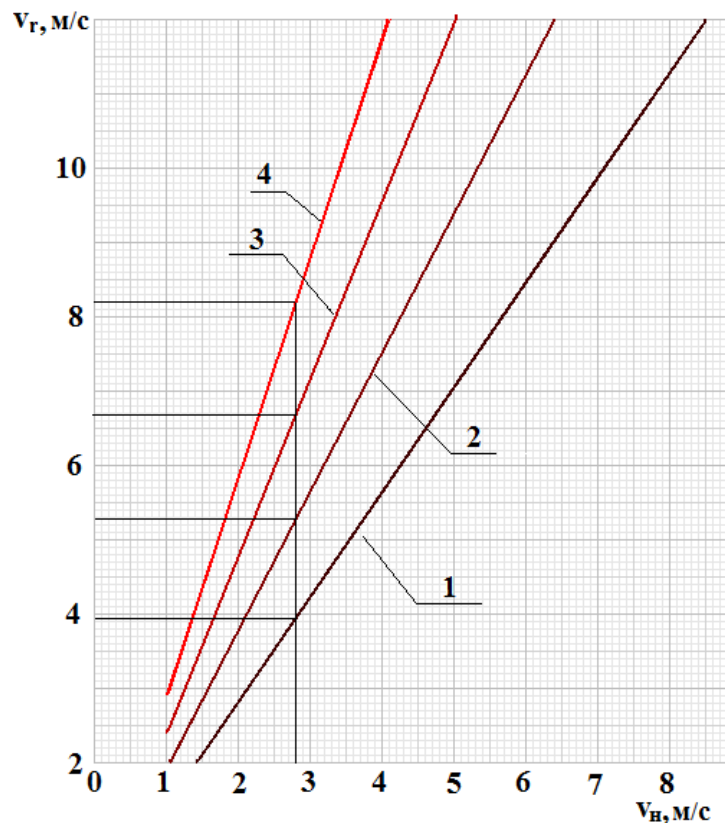


Рис.2.7. Зміни відносної швидкості  $V_r$  руху т.М в залежності від лінійної швидкості ножа  $V_n$  при таких значеннях коефіцієнту тертя: 1 - коефіцієнт тертя  $\mu = 0,2$ ; 2 - коефіцієнт тертя  $\mu = 0,4$ ; 3 - коефіцієнт тертя  $\mu = 0,6$ ; 4 - коефіцієнт тертя  $\mu = 0,8$ .

Для виявлення впливу радіусу ножа  $R_1$  на відносну швидкість  $v_r$  т.М по його поверхні побудуємо проведено розрахунки для різних радіусів ножа. Результати обчислень наведено 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, $\mu$	Постійна $b$ , м/с <sup>2</sup>	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

Із даних табл. 2.2 видно, що при зменшенні радіусу ножа значення відносної швидкості т. М і коефіцієнту дії сил зменшуються не суттєво. Але, зміна радіуса ножа в сторону збільшення від значення 0,097 м зменшує задній кут різання, а в сторону зменшення призводить до накопичення ґрунту в середині полоси, що обробляється. Таке явище є не бажаним, тому для експериментальних досліджень з урахуванням результатів обґрунтування параметрів прямої лінії поверхні ножа і його радіус приймаємо рівним 0,097 м. Визначення значень кінематичних параметрів фрези, а саме частоти

обертання роторів для досягнення такої швидкості часток ґрунту, при якій забезпечується оптимальна якість обробітку ґрунту і мінімізується потужність роботи фрези можливо за рахунок проведення планованого експерименту.

Для розробки плану експерименту необхідно визначити граничні межі варіювання частотою обертання роторів. Для чого побудуємо графік змін швидкості  $V_r$  від різних значень коефіцієнту тертя при лінійній швидкості ножа  $V_n = 2,7$  м/с, яка була прийнята при обґрунтуванні напрямної ножа (рис. 2.8) .

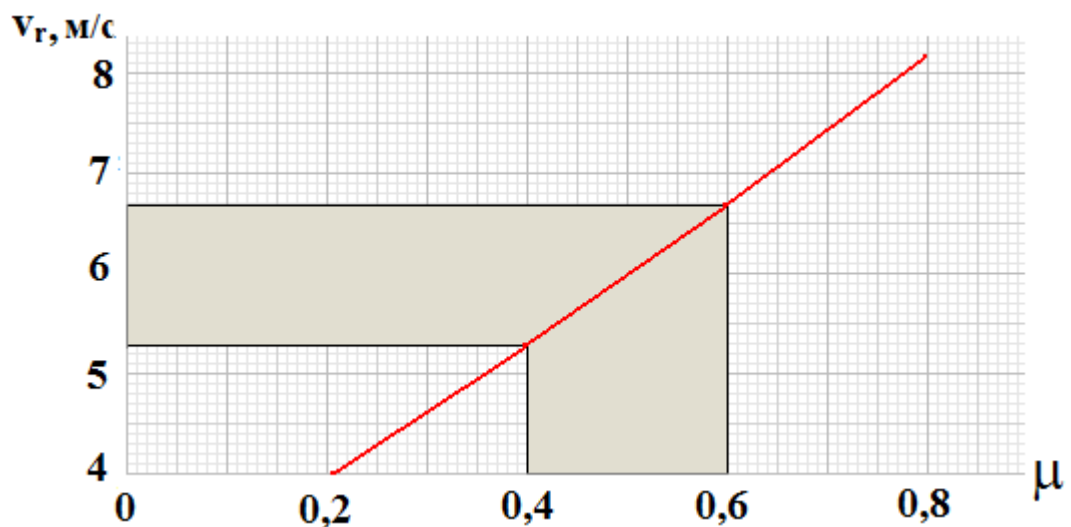


Рис. 2.8. Зміни швидкості  $V_r$  руху т. М по поверхні ножа від різних значень коефіцієнту тертя при лінійній швидкості ножа  $V_n = 2,7$  м/с і радіусі ножа  $R_1 = 0,097$  м.

З таблиці 2.2 і наведених залежностей (рис. 2.7 і 2.8) виходить, що при середніх значеннях коефіцієнту тертя ( від 0,4 до 0,6) відносна швидкість  $V_r$  руху т.М змінюється таким чином:

- при  $\mu=0,4$   $V_r = 5,26$  м/с ( $V_r$  збільшується в 2,4раза);
- при  $\mu=0,5$   $V_r = 5,96$  м/с ( $V_r$  збільшується в 2раза);
- при  $\mu=0,6$   $V_r = 6,68$  м/с ( $V_r$  збільшується в 1,8раза).

Враховуючи те, що відносна швидкість  $V_r$  руху т. М на виході з ножа збільшується в середньому у 2 рази, то для планування дослідів частоту

обертання роторів слід приймати в межах від  $2 \text{ с}^{-1}$  до  $3 \text{ с}^{-1}$  з інтервалом варіювання 0,5.

Тобто, при значеннях коефіцієнту тертя від 0,4 до 0,6 відносна швидкість  $V_r$  руху т. М (далі – частки ґрунту) на виході з ножа збільшується в середньому у 2 рази від початкового значення, яке дорівнює лінійній швидкості ножа  $V_n = 2,8 \text{ м/с}$ . Набута часткою ґрунту швидкість буде впливати як на розпушення ґрунту, так і на його розкидання ножем. Для визначення впливу відносної швидкості частки ґрунту на його розкидання ножем обчислимо дальність польоту окремої частки ґрунту.

#### 2.2.4. Визначення дальності відкидання частки ґрунту ножем

Будемо вважати, що кут нахилу до горизонталі вектора початкової швидкості руху ґрунту рівномірно розподілений на інтервалі  $[0, 0,5\text{рад}]$ . Без врахування впливу опору повітря на вертикальну складову швидкості час польоту частки ґрунту можна обчислити за формулою:

$$\tau = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}, \quad (2.11)$$

де  $v_0$  – початкова швидкість частки ґрунту;

$\alpha$  – кут нахилу вектора польоту частки ґрунту до горизонталі;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Введемо наступні припущення: стикання між частками будемо вважати не пружним; горизонтальна складова вектора початкової швидкості руху ґрунту розподілена рівномірно по куту відносно деякого орту.

Враховуючи симетричність задачі, для знаходження математичного очікування величини горизонтальної проекції швидкості після стикання часток, вектори можна розглядати тільки в першій координатній чверті, тобто вважати вектор горизонтальної проекції швидкості випадковою величиною рівномірно розподіленою в інтервалі  $0 < \beta < \frac{\pi}{2}$  (рис. 2.9) [70].

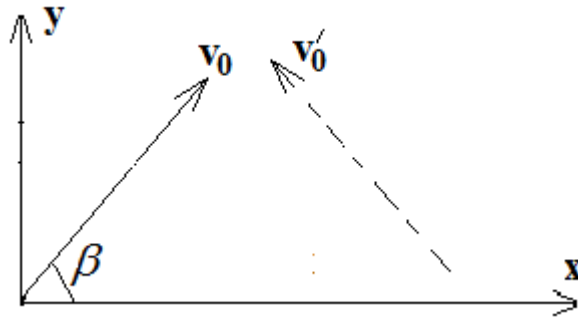


Рис.2.9 Горизонтальні проекції векторів швидкостей часток ґрунту.

Беручи до уваги те, що рухається потік часток і з урахуванням другого припущення, кохний потік часток з кутами в діапазоні  $[\beta; \beta+d\beta]$  є потік такої же щільності з діапазоном кутів  $[-\beta; -\beta-d\beta]$ , тобто після стикання часток проекція швидкості на ось  $X$  буде дорівнювати нулю. Таким чином частки після стикання будуть мати тільки складову швидкості  $v_y$ , а модуль горизонтальної складової швидкості буде дорівнювати  $v_0 \cos \alpha$ . Тоді результуюче математичне очікування горизонтальної складової  $v'_{0y}$  дорівнюватиме

$$v'_{0y} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} v_0 \cos \alpha \sin \beta d\beta = \frac{2}{\pi} v_0 \cos \alpha. \quad (2.12)$$

де  $\beta$  – змінна інтегрування, фізичний зміст якої - кут відхилення вектору руху частки ґрунту від деякого орту.

Для визначення впливу сили опору повітря на рух частки ґрунту виходимо з того, що опір повітря буде дорівнювати добутку площі міделя та динамічного тиску потоку повітря на коефіцієнт обтікання  $C_x$ . Тоді силу опору повітря можна визначити за таким рівнянням

$$F = C_x S P_{din} = C_x S \frac{\rho_1 v^2}{2} = C_x \frac{\pi d^2}{4} \frac{\rho_1 v^2}{2} = C_x \frac{\pi \rho_1 d^2 v^2}{8}, \quad (2.14)$$

де  $C_x$  – коефіцієнт обтікання частки ґрунту повітрям (для шару  $C_x$  дорівнює 0,4, а для частки ґрунту, яка не є шаром, приймаємо 0,8) [71];

$S$  – площа міделя;

$\rho_1$  – щільність повітря;

$P_{din}$  – динамічний тиск потоку повітря;

$V$  – швидкість вільного польоту частки ґрунту.

З урахуванням другого закону Ньютона швидкості вільного польоту частки ґрунту буде задовольняти таке диференціальне рівняння:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{F}{m} = -\frac{C_x \frac{\pi \rho_1 d^2 v^2}{8}}{\frac{\pi}{6} \rho_2 d^3} = -\frac{0.75 C_x \rho_1}{\rho_2 d} v^2 = -C v^2, \quad (2.15)$$

де  $C = \frac{0.75 C_x \rho_1}{\rho_2 d} \approx 0,1;$

$m$  – маса частки ґрунту (приймаючи припущення про шароподібну форму частки ґрунту маємо  $m = \frac{\pi}{6} \rho_2 d^3$ , де  $d$  є діаметр шару;

$\rho_2$  – щільність ґрунту .

Загальний інтеграл рівняння (3) буде мати вигляд

$$\int \frac{dv}{v^2} = -C \int dt, \quad (2.16)$$

звідси загальний розв'язок  $v = \frac{1}{C_0 + Ct}$

з урахуванням того, що  $v_0 = v'_{0y}$  маємо  $C_0 = \frac{1}{v'_{0y}}$ .

Тоді дальність польоту частки ґрунту по горизонталі описується виразом



$$\begin{aligned}
 y(\tau, \alpha) &= \int_0^{\tau} v_y(t) dt = \int_0^{\tau} \frac{dt}{\frac{1}{v_{0,y}} + Ct} = \frac{1}{C} \ln(1 + Cv_{0,y}'\tau) = \\
 &= \frac{1}{C} \ln\left(1 + C \frac{2v_0 \cos \alpha}{\pi} \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}\right) = \frac{1}{C} \ln\left(1 + C \frac{2v_0^2 \sin 2\alpha}{\pi g}\right).
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

Беручи до уваги те, що нахил кута  $\alpha$  до горизонталі розподілений рівномірно на інтервалі  $[0, 0,5\text{рад}]$ , а поверхня поля суттєво відрізняється від площини, то виникає вірогідність стикання частки ґрунту з нерівностями поверхня поля. Для врахування такого явища введемо поправочний коефіцієнт 0,5. Тоді вираз математичного очікування середньої дальності відкидання частки ґрунту ножем буде мати такий вигляд

$$L = 0,5 \frac{6}{\pi C} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \ln(1 + Cv_{0,x}'\tau) d\alpha = \frac{3}{\pi C} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \ln\left(1 + C \frac{2v_0^2 \sin 2\alpha}{\pi g}\right) d\alpha, \tag{2.18}$$

Середню дальність відкидання частки ґрунту ножем з радіусом напрямної ножа  $R_1 = 0,097\text{м}$  і відносних швидкостей  $v_r$  ( $v_r = v_0$ ) при значеннях коефіцієнту тертя  $\mu$  від 0,4 до 0,6, обчислимо за рівнянням (2.18) і такими вхідними даними:

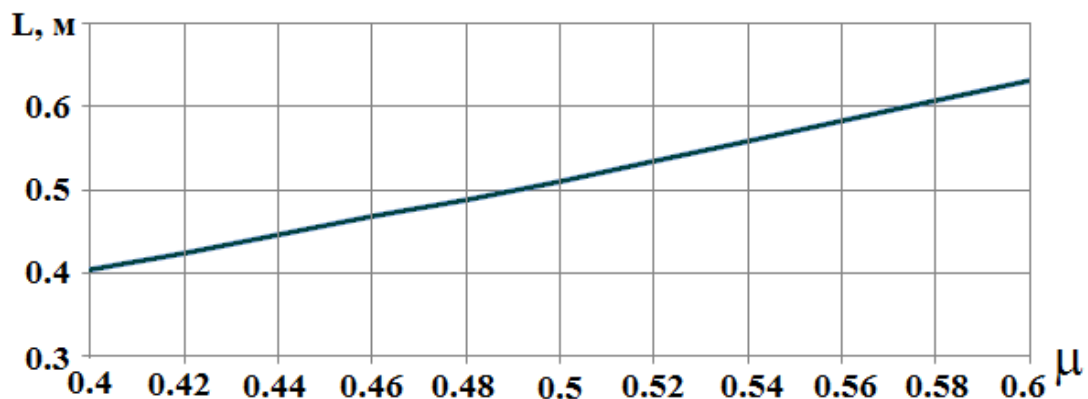
- щільність повітря  $\rho_1 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ ;
- щільність ґрунту  $\rho_2 = 1500 \text{ кг/м}^3$ ;
- середній діаметр частки ґрунту  $d = 0,005 \text{ м}$ .

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

Таблиця 2.3

Середня дальність відкидання частки ґрунту ножом фрези

Коефіцієнт тертя $\mu$	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

Рис.2.10. Залежність середньої дальності відкидання частки ґрунту ножом від коефіцієнту тертя  $\mu$ .

З таблиці 1 і рис. 2.10 виходить, що при коефіцієнті тертя  $\mu = 0,5$  відносна швидкість частки ґрунту  $v_r$  дорівнює 5,91 м/с, а середня дальність відкидання частки ґрунту ножом складає 0,51 м. З урахуванням того, що ніж ротора з радіусом  $R = 0,176$  м рухається по трохойді, а в точці С трохойди (рис. 2.3) закінчується процес різання ґрунту ножом і напрямок руху часток ґрунту при виході з ножа займає перпендикулярне положення відносно напрямку руху фрези, то можна прогнозувати, що розкидання ґрунту за межі ширини захвату фрези не буде перевищувати 0,16 м з кожної сторони обробленої полоси пристовбурної смуги.

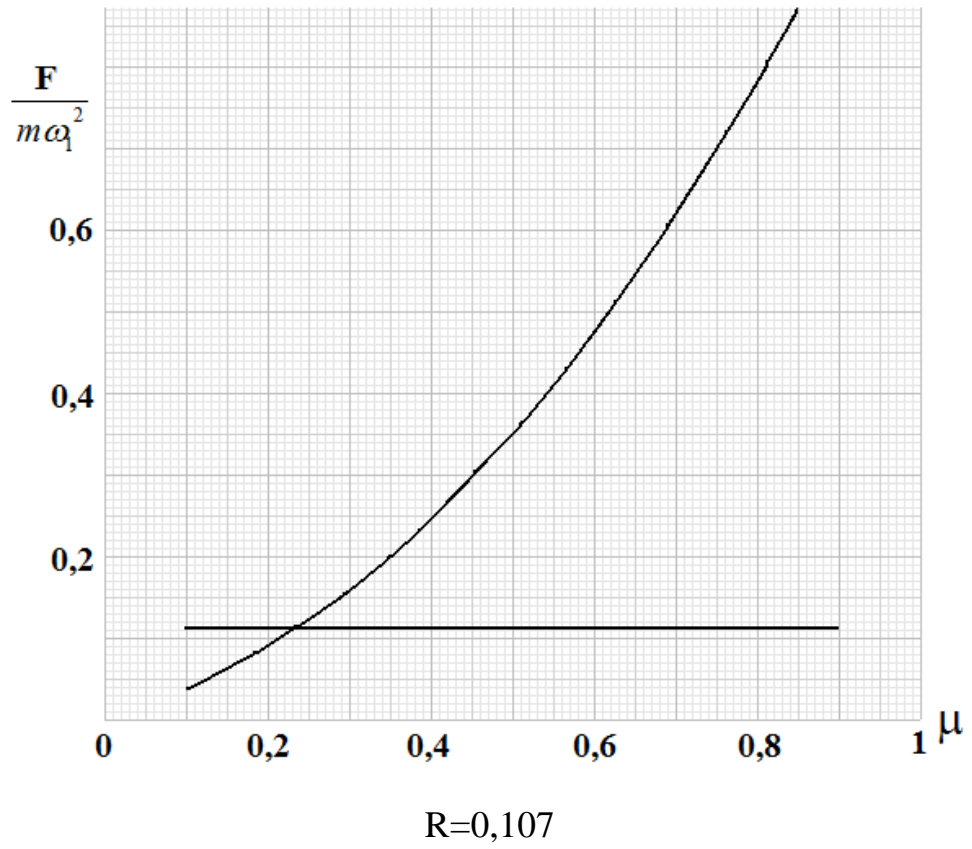
## 2.2.5 Аналіз динамічних характеристик взаємодії ґрунту з поверхнею робочого органу

З метою визначення за рахунок чого збільшується відносна швидкість  $V_r$  руху при збільшенні значень коефіцієнту тертя із рівняння 2.10 отримуємо вираз

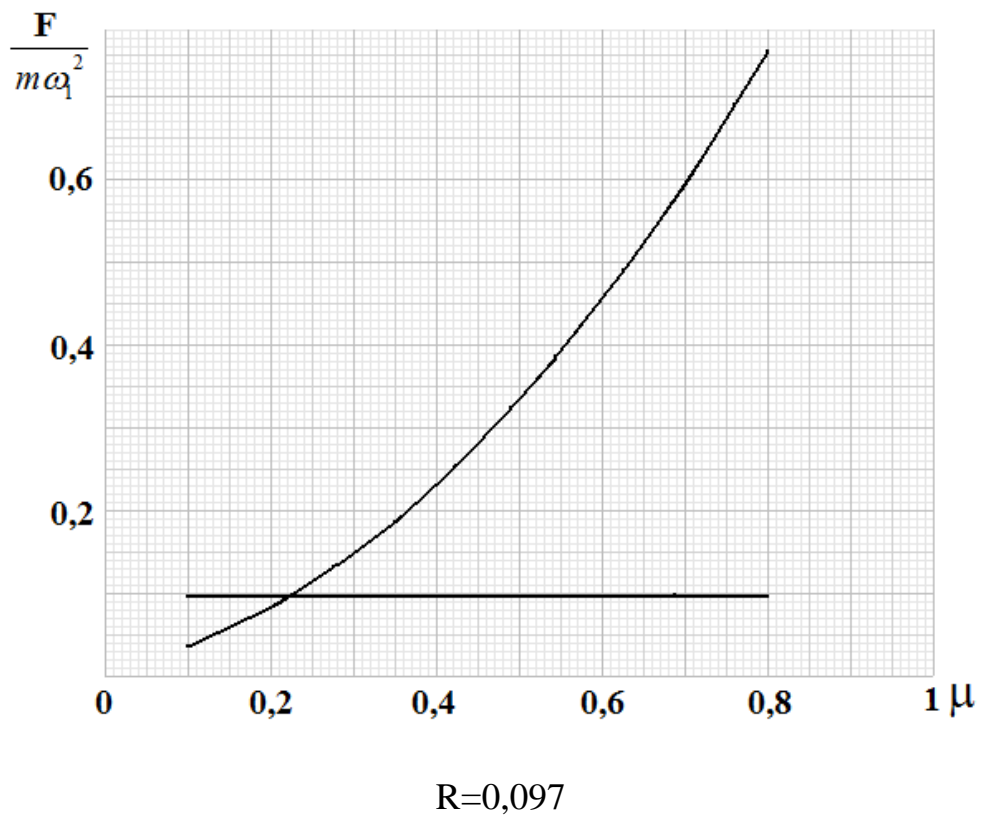
$$ma = m\omega_1^2 \left[ \mu \left( \frac{2v_r}{\omega_1} - (R - \Delta) \cos \alpha \right) + \left( \frac{R_1 \varphi_2}{(\varphi_2 - \alpha)^2} - (R - \Delta) \sin \alpha \right) \right] \quad (2.19)$$

Права складова виразу (2.19) характеризує сили, які сприяють руху частки ґрунту по поверхні ножа [72, 73]. Ліва частина виразу характеризує сили, які сприяють руху частки ґрунту по поверхні ножа і збільшенню відносних швидкостей. Підставляємо визначені вхідні данні в рівняння (2.19) і маємо значення коефіцієнтів  $\xi$  стримуючих і рухомих сил при різних  $R_l$  в залежності від  $\mu$ .

На рисунку 2.11 наведено графіки зміни стримуючих і рухомих сил для радіусів ножа  $R_1$ : 0,107; 0,097; 0,087. З наведених на рисунку 2.11 залежностей виходить, що стримуючі сили є постійними і від коефіцієнту тертя не залежать. Для значень радіусів ножа, що аналізуються існують точки рівноваги, в яких величини стримуючих і рухомих сил є однаковими. Так для радіусу ножа  $R_1 = 0,107$  точка рівноваги настає при значенні коефіцієнту тертя 0,24 (рис. 2.11 а)), для радіусу ножа  $R_1 = 0,097$  м точка рівноваги настає при значенні коефіцієнту тертя 0,22 (рис. 2.11 б)), а для радіусу ножа  $R_1 = 0,087$  м при значенні коефіцієнту тертя 0,2 (рис. 2.11 в)).



a)



б)

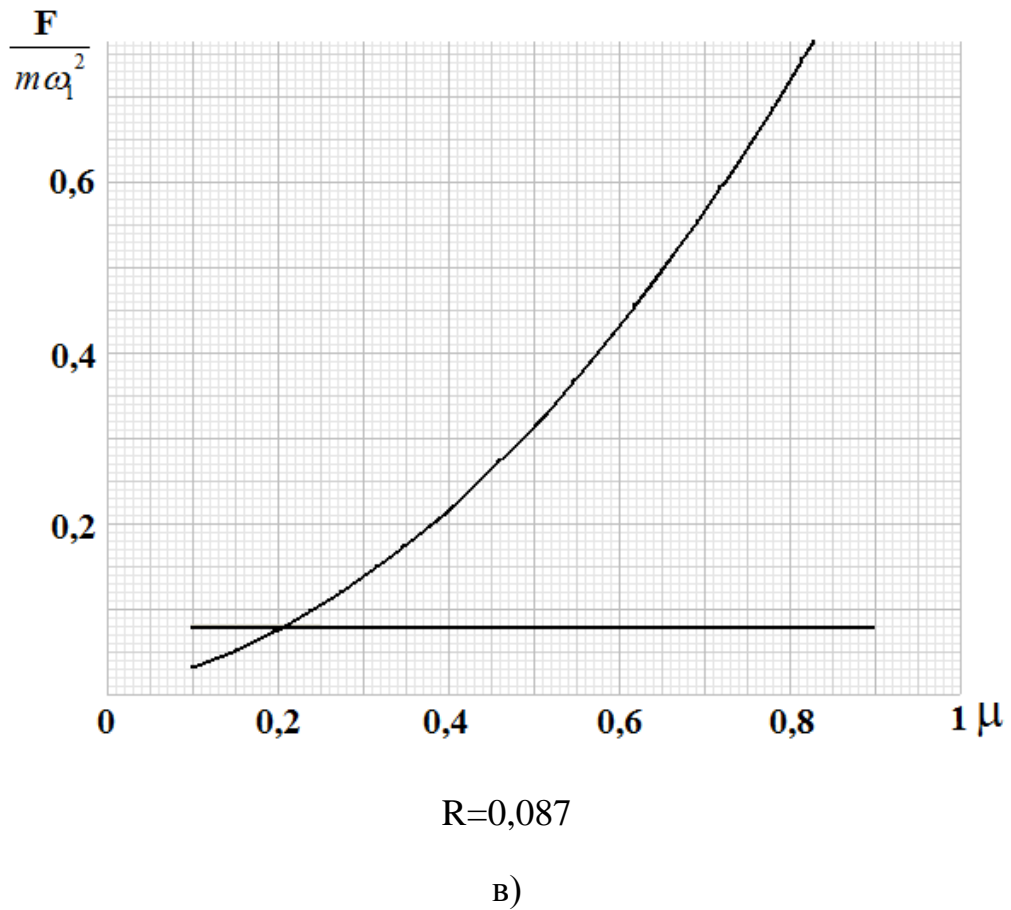


Рис. 2.11. Графіки залежностей коефіцієнту сил від коефіцієнту тертя для радіусів ножа  $R_1$ : 0,107; 0,097; 0,087:

- 1 - сили, які сприяють рух частки ґрунту;
- 2 - сили, які сприяють руху частки ґрунту.

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

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнту дії сил  $\xi$  і відносної швидкості частки ґрунту  $v_r$ , при різних  $R_1$  і фіксованому значенні  $\mu = 0,5$

Радіус ножа $R_1$ , м	Коефіцієнт дії сил $\xi$		Відносна швидкість частки ґрунту $v_r$ , 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

Із даних табл. 2.3 видно, що при зменшенні радіусу ножа значення відносної швидкості частки ґрунту і коефіцієнту дії сил зменшуються не суттєво. Але, зміна радіуса ножа в сторону збільшення від значення 0,097м зменшує задній кут різання, а в сторону зменшення призводить до накопичення ґрунту в середині полоси, що обробляється.

Таке явище є не бажаним, тому для експериментальних досліджень з урахуванням результатів обґрунтування параметрів напрямної лінії поверхні ножа його радіус має бути рівним 0,097м.

### 2.3. Висновки до другого розділу

1. Існуючий експериментальний зразок фрези з вертикальною віссю обертання робочих органів забезпечує обробіток ґрунту з коефіцієнтом збереження його структури 0,82, що не сприяє створенню оптимальних умов для проходження біологічних процесів у ґрунті, і, як наслідок, для росту і розвитку плодкових дерев.

2. Для підвищення коефіцієнту структурно – агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах саду необхідно визначити граничні значення показників його фракційного складу та їх оптимальне співвідношення для різних типів ґрунтів з урахуванням застосування зрошення.

3. Досягти оптимальної структури ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень можна за рахунок застосування робочих органів фрези, параметри форми і положення яких сприятимуть підвищенню кількості агрегатів в обробленому ґрунті з розміром від 0,25мм до 7мм .

4. На підставі математичного моделювання процесу взаємодії робочої поверхні ножа з ґрунтом доведено, що для утворення оптимального структурно – агрегатного стану ґрунту (коефіцієнт 0,6 –

0,8) необхідно застосовувати робочі органи фрези у вигляді ножів, які мають криволінійну поверхню, а також встановлено, що:

- робоча поверхня ножа має бути лінійчатою у вигляді прямого кругового циліндра з радіусом 0,097 м і максимальною довжиною дуги CF рівною 0,114 м при радіусі роторів 0,176 м, їх кутовій швидкості 15,8 рад/с і поступовій швидкості машини 0,88 м/с;

- відстань напрямної CF від траєкторії руху ріжучої крайки ножа має збільшуватись за лінійним законом і встановлюється величиною заднього кута різання  $\gamma = 10$ , починаючи з точки С на ріжучій крайки ножа.

- при визначених геометричних параметрах форми і положення ножа і кінематичних параметрах машини відносна швидкість руху скиби ґрунту по поверхні ножа є більшою ніж його кутова швидкість.

5. Встановлено, що відносна швидкість руху  $V_r$  частки ґрунту по поверхні ножа зростає за лінійним законом і на виході з ножа, який має лінійну швидкості  $V_n = 2,7$  м/с (значення було прийнято при обґрунтуванні напрямної ножа) при середніх значеннях коефіцієнту тертя ( від 0,4 до 0,6) змінюється таким чином:

- при  $\mu = 0,4$   $V_r = 5,26$  м/с ( $V_r$  збільшується в 2,4рази);
- при  $\mu = 0,5$   $V_r = 5,96$  м/с ( $V_r$  збільшується в 2рази);
- при  $\mu = 0,6$   $V_r = 6,68$  м/с ( $V_r$  збільшується в 1,8рази),

тобто маємо збільшення часток ґрунту в середньому в 2 рази, що свідчить про наявність розпушуючого ефекту запропонованою формою ножа.

6. Визначено, що для отримання значень кінематичних параметрів фрези, а саме частоти обертання роторів з метою досягнення такої швидкості часток ґрунту, при якій забезпечується оптимальна якість обробітку ґрунту і мінімізується потужність роботи фрези шляхом

проведення планованого дослідження частоту обертання роторів слід приймати в межах від  $2\text{с}^{-1}$  до  $3\text{с}^{-1}$  з інтервалом 0,5.

7. Встановлено, що при відносній швидкості частки ґрунту  $v_r = 5,9$  м/с ( $\mu=0,5$ ) середня дальність відкидання частки ґрунту ножем складає 0,51 м, а для радіусу ротора  $R = 0,176$  м, швидкості руху фрези  $V_m=0,7$  м/с і частоті обертання роторів  $\omega = 15,8$  рад/с можна прогнозувати, що розкидання ґрунту за межі обробленої фрезою полоси пристовбурної смуги, яка складає 0,7 м не буде перевищувати 0,16 м з кожної сторони полоси.



## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Лабораторні дослідження з визначення змін агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень під дією води із систем штучного зрошення

При поливі плодових насаджень, вода із систем краплинного зрошення потрапляє в пристовбурні смуги. Поливи здійснюються протягом вегетаційного періоду, а їх кількість досягає десяти. Під дією води відбуваються відповідні зміни у ґрунті [74 - 78], а саме в його агрегатному складі, динаміка яких невідома. Оскільки, основним призначенням фрези є обробіток ґрунту в пристовбурних смугах з метою збереження його якісних властивостей, то час прийняття рішень щодо здійснення коригувальних дій механічного впливу на ґрунт є необхідною умовою для досягнення максимального ефекту від застосування фрези.

Згідно ДСТУ 4362 [36] родючість ґрунту може бути визначена такими агрофізичними показниками:

- агрегатний склад;
- щільність ґрунту;
- найменша вологоємність (НВ);
- запаси продуктивної вологи ґрунту.

Значення показника агрегатного стану визначено шкалою оцінювання структурно-агрегатному стану ґрунту, за якою наявність агрегатів з розмірами від 0,25 мм до 7 (10) мм більш 80% характеризує стан ґрунту як «відмінний». Данні агрегати є мезоагрегатами і відносяться до середньої фракції  $m_{II}$ . Агрегати більш 10 мм є макроагрегатами і відносяться до крупної фракції  $m_{II}$ , а агрегати менші за 0,25 мм відносяться до мікроагрегатів – фракція  $m_I$ . Тому, для своєчасного впливу на ґрунт фрезою з метою забезпечення 80% агрегатів з розмірами від 0,25 мм до 7 (10) мм необхідно

провести дослідження з вивчення змін в структурно-агрегатному стані ґрунту під дією води.

### 3.1.1. Методика лабораторного досліду

Назва дослід: «Дослідити динаміку змін в агрегатному складі ґрунту під дією води».

Мета дослід: встановити закономірності змін в структурно-агрегатному стані ґрунту під дією води із систем штучного зрошення плодкових насаджень протягом вегетаційного періоду.

Об'єкт дослідження – процес зміни агрегатного стану ґрунту «чорнозем південний» під дією води.

Умови проведення дослід: дослід є лабораторними проведено в умовах зовнішнього навколишнього середовища.

Засоби вимірювання: ваги лабораторні, сита лабораторні, вологомір

Схема досліду. Об'єм ґрунту, який підлягав дослідженню, поділявся ситовим методом згідно з ГОСТ 12536 [79] на такі фракції:

I фракція - розмір частинок ґрунту менше 0,25 мм;

II фракція - розмір частинок ґрунту від 0,25 мм до 10 мм;

III фракція - розмір частинок ґрунту більше 10 мм.

З наведених фракцій, формувався початковий структурно-агрегатний стан ґрунту, який було представлено коефіцієнтом структурності в п'яти варіантах:

1 – коефіцієнт структурності 0,2;

2 – коефіцієнт структурності 0,4;

3 – коефіцієнт структурності 0,6;

4 – коефіцієнт структурності 0,8;

5 – коефіцієнт структурності 1,0.

По кожному варіанту було підготовлено ґрунт з відповідним коефіцієнтом структурності об'ємом 20 дм<sup>3</sup> в трьох повтореннях в окремих судинах. Загальна кількість судин в досліді складала 150 шт.

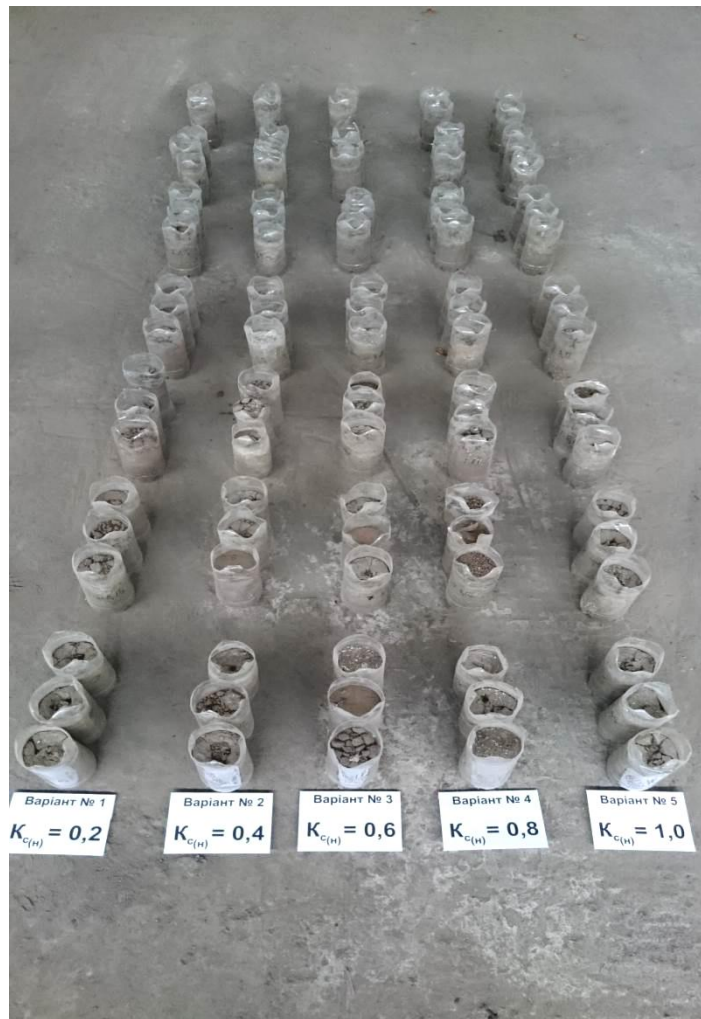


Рис.3.1. Загальний вигляд судин лабораторного дослідження з визначення змін в агрегатному складі ґрунту під дією води.

Вологість ґрунту в судинах кожним поливом доводилась до 70% НВ. Після чого ґрунт із судин кожної повторності висушувався в сушильній шафі з наступним визначенням гранулометричного складу ситовим методом згідно з ГОСТ 12536, а коефіцієнт структурності визначався в нормованому вигляді в шкалі від 0 до 1 за формулою:

$$K_{C(H)} = \frac{m_{II}}{m_I + m_{II} + m_{III}} = \frac{K_C(m_I + m_{III})}{m_I + m_{III} + K_C(m_I + m_{III})} = \frac{K_C}{1 + K_C}. \quad (3.1)$$

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

$$K_C = \frac{m_2}{m_1 + m_3}.$$

Результати обчислень заносяться до таблиці 3.1. (зразок форми).

Таблиця 3.1

Значення коефіцієнту структурності ґрунту  $K_{C(H)}$  ( $K_0$  – початковий коефіцієнт структурності,  $j$  – номер поливу,  $r$  – номер стрічки повторності)

j	r	Початковий коефіцієнт структурності $K_0$				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1
1	1					
	2					
	3					
2	1					
	2					
	3					
...						
10	1					
	2					
	3					

### 3.1.2. Результати дослідження

Після обробки результатів 10-і поливів по кожному варіанту побудовані залежності змін коефіцієнта структурності, які представлені на рисунках 1 - 5. На наведених залежностях точками перетину прямих  $L$  з кривими лініями визначені інтервали 10% відхилень коефіцієнта структурності ґрунту від максимальних значень. Аналіз характеру змін стану твердої фази ґрунту під дією води показав наступне.

В першому варіанті (початкове значення коефіцієнта структурності ґрунту 0,2) після першого поливи в значенні коефіцієнта відбулися незначні збільшення і досягли максимального значення на шостому поливі, а потім на десятому поливі відбулося зниження до 0,1 (рис.3.2).

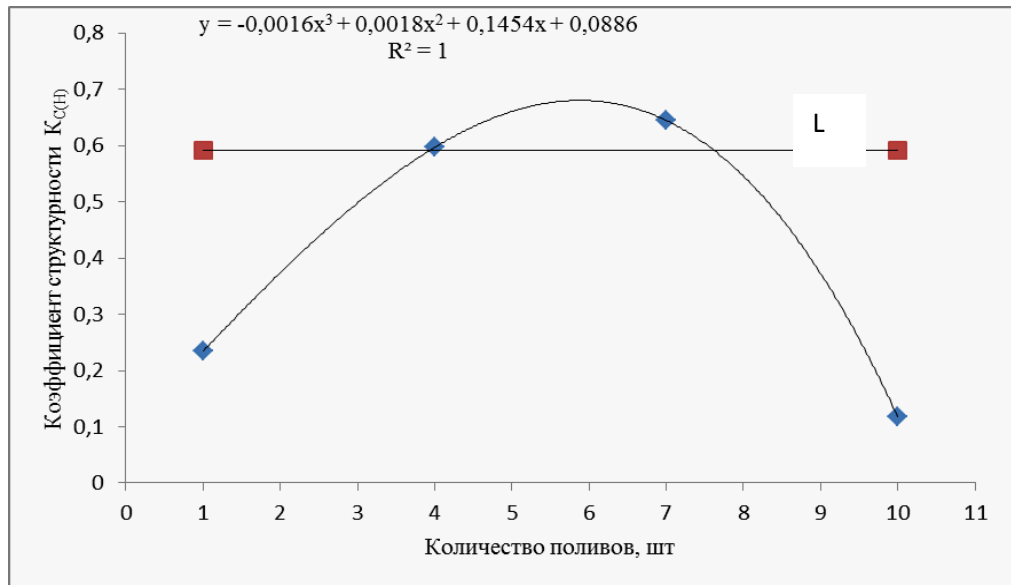


Рис.3. 2. Зміни коефіцієнта структурності ґрунту в залежності від кількості поливів при початковому значенні коефіцієнта 0,2.

В другому варіанті (початкове значення коефіцієнта структурності ґрунту 0,4) після першого поливу значення коефіцієнта збільшилося на 0,15 і досягли максимального значення на четвертому поливі, а потім на десятому поливі відбулося зниження до 0,56, тобто до значення першого поливу (рис. 3.3).

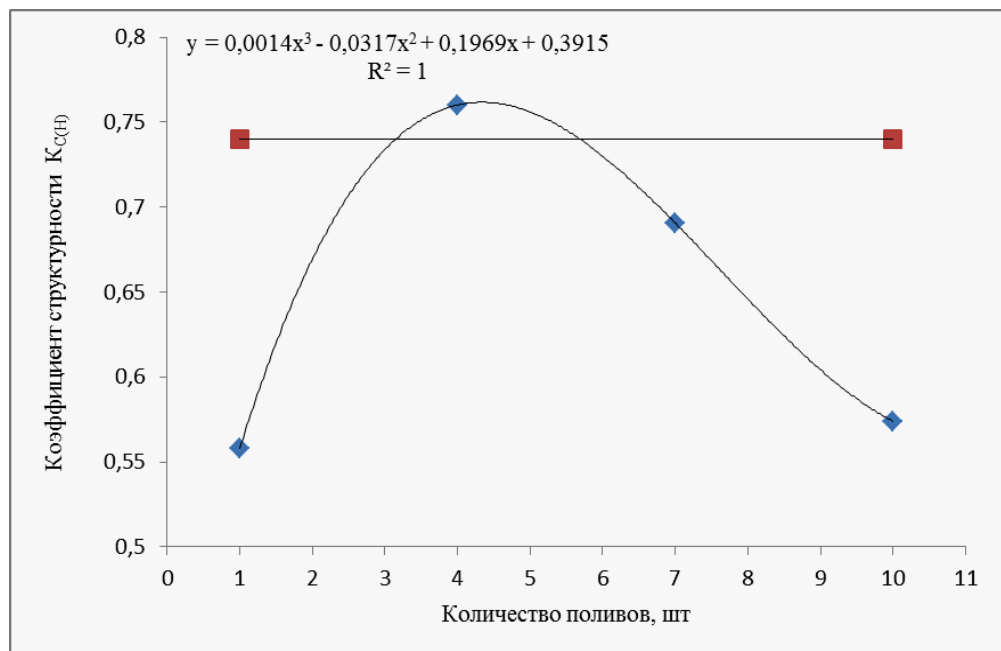


Рис. 3.3. Зміни коефіцієнта структурності ґрунту в залежності від кількості поливів при початковому значенні коефіцієнта 0,4.

В третьому варіанті (початкове значення коефіцієнта структурності ґрунту 0,6) після першого поливу значення коефіцієнта збільшилося на 0,10 і

досягли максимального значення на восьмому поливі, а потім на десятому поливі відбулося зниження до 0,63, тобто до початкового значення (рис. 3.4).

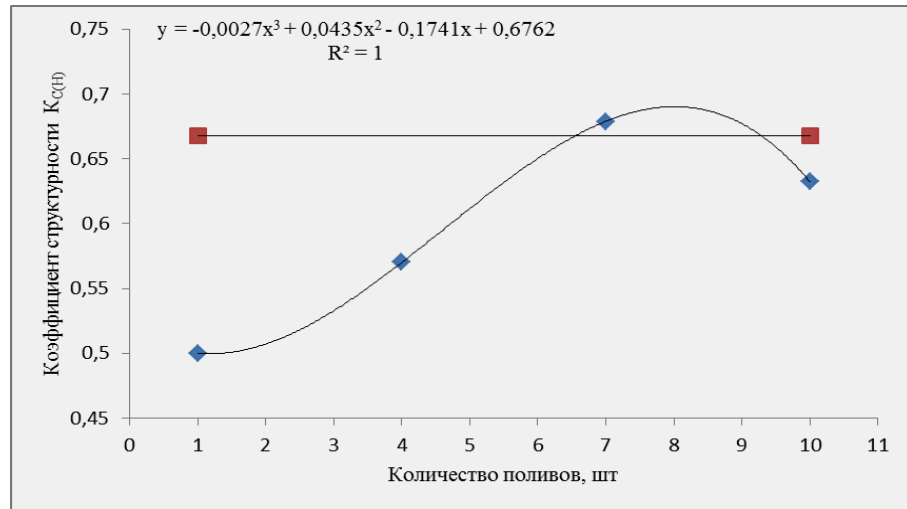


Рис.3.4. Зміни коефіцієнта структурності ґрунту в залежності від кількості поливів при початковому значенні коефіцієнта 0,6.

В четвертому варіанті (початкове значення коефіцієнта структурності ґрунту 0,8) після першого поливу значення коефіцієнта знизилось на 0,085 і досягло максимального значення на четвертому поливі, а потім на десятому поливі відбулося зниження до 0,7, що нижче початкового (рис.3.5).

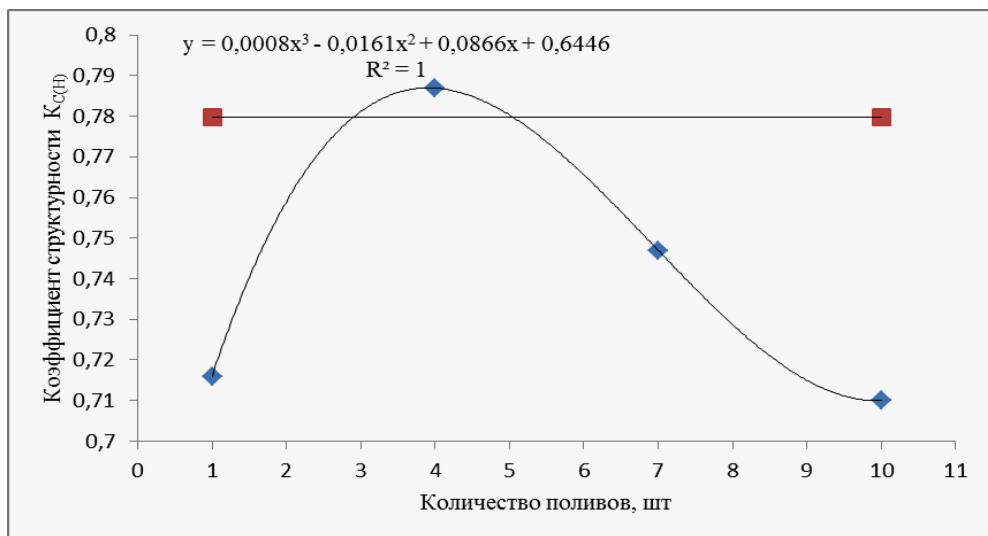


Рис. 3.5. Зміни коефіцієнта структурності ґрунту в залежності від кількості поливів при початковому значенні коефіцієнта 0,8.

В п'ятому варіанті (початкове значення коефіцієнта структурності ґрунту 1,0) після першого поливу відбулося значне зниження значення коефіцієнта знизилось (на 0,45) і досягло максимального значення на поливі,

п'ятому, а потім на десятому поливі відбулося зниження до 0,45, що нижче початкового значення на 0,55 (рис.3.6).

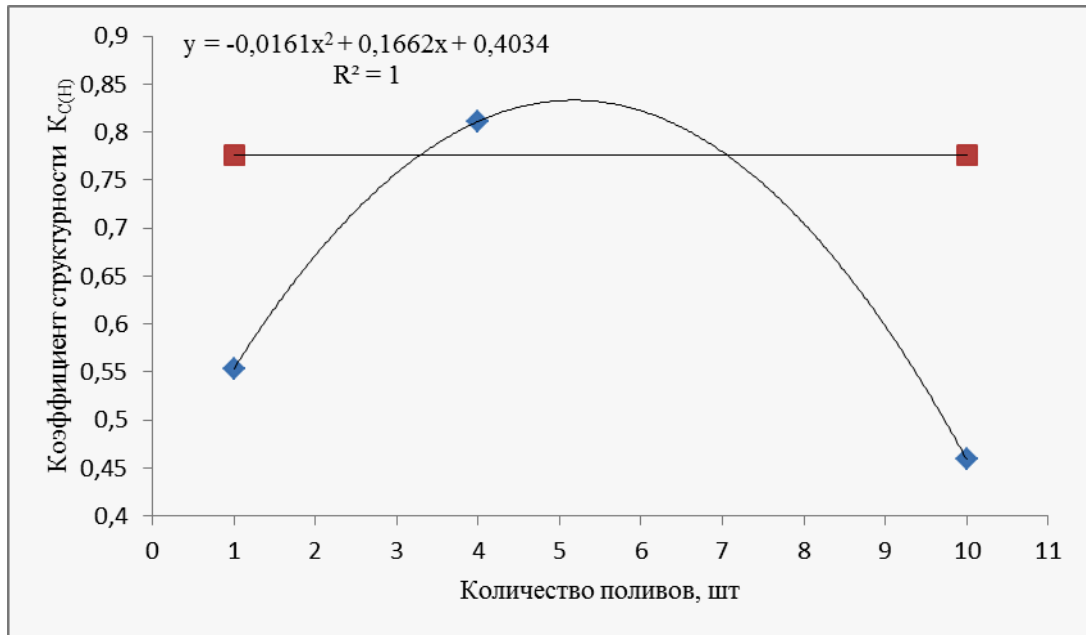


Рис. 3.6. Зміни коефіцієнта структурності ґрунту в залежності від кількості поливів при початковому значенні коефіцієнта 1.

3.2. Лабораторно - польові дослідження розроблених робочих органів у складі експериментального зразка машини МФ-1М

### 3.2.1. Програма і методика лабораторно – польових досліджень

Метою польових досліджень було визначення ефективності роботи розроблених робочих органів у складі експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М.

Програмою польових досліджень було передбачено:

- виготовлення опитних зразків роторів для експериментальної фрези МФ-1 з робочими органами (ножами), параметри яких обґрунтовані в теоретичних дослідженнях;

- вивчення впливу конструктивних параметрів робочих органів і режимів роботи фрезерної машини на структурно – агрегатний стан ґрунту в пристовбурних смугах;

- вивчення впливу конструктивних параметрів робочих органів і режимів роботи фрезерної машини на енергоємність, яка витрачається на привід роторів від ВВП;

Для виконання поставлених задач на підставі проведених розрахунків виготовлено ножі ( рис.3.7) і два ротори фрезерної машини на заводі з виробництва сільськогосподарської техніки науково - виробничої компанії «Роста» м. Мелітополь ( рис.3.8).



Рис. 3.7 Ніж фрезерної машини.

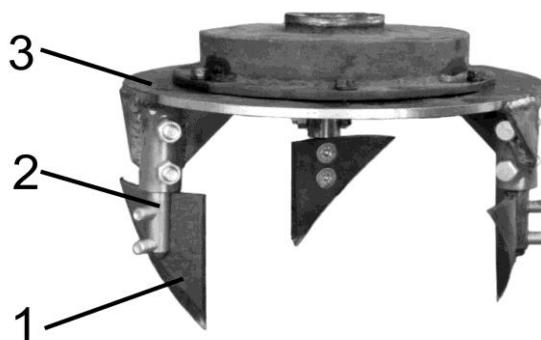


Рис. 3.8. Ножовий ротор фрезерної машини:

1 - ніж; 2 - стійка ножа; 3- диск.



Ротори з розробленими ножами було встановлено на експериментальний зразок фрезерної машини МФ-1М, загальний вигляд якої наведено на рисунках 3.9, 3.10.



Рис.3.9. Експериментальний зразок фрезерної машини МФ-1М.



Рис.3.10. Загальний вигляд експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М з трактором ЮМЗ-6.

Фрезерна машина містить два ротори 1 і 2 з ножами 3 (рис. 3.11), які обертаються в різних напрямках, обробляють смугу шириною 70 см і розташовані від осі трактора на відстані 200 см, що дає можливість застосування фрези в насадженнях інтенсивних типу.

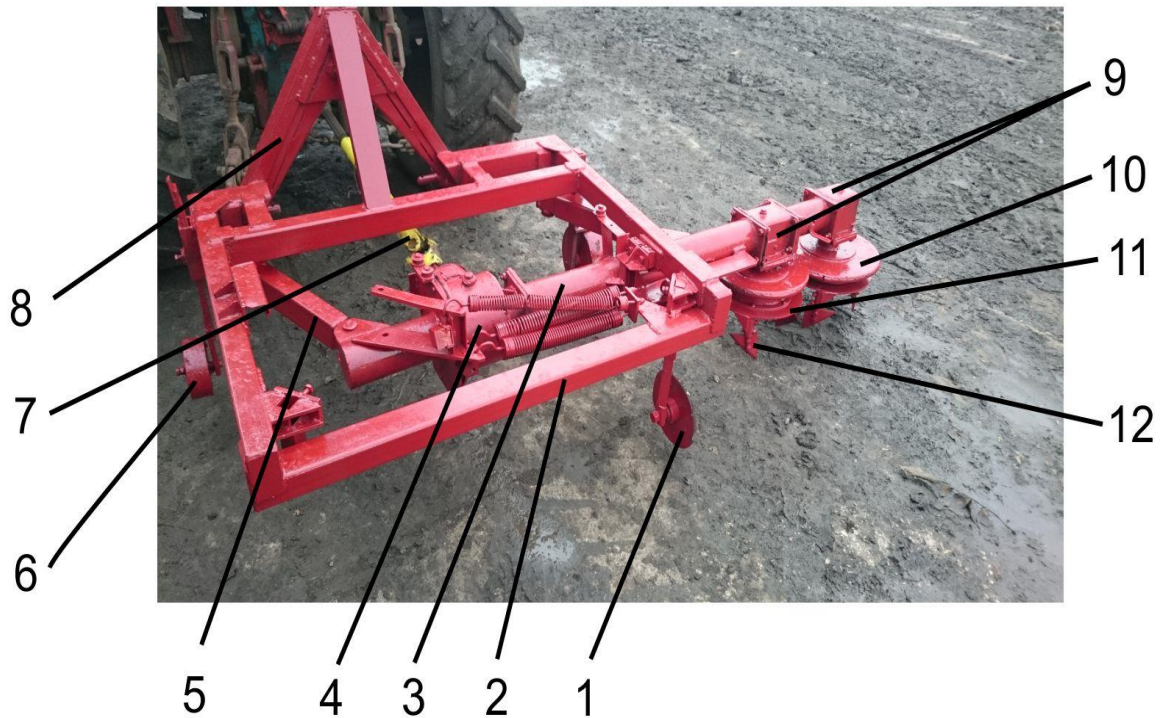


Рис.3.11. Загальний вигляд експериментальний зразок фрезерної машини МФ-1М з переду і з заду:

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

Кожний ротор фрези має диск 1 зі стойками 2, на яких в шаховому порядку розташовані по три ножа 3. Між диском і редуктором встановлені фрикційні муфти 4 для запобігання аварійних поломок при влученні в зону розпушування каміння, дроту та інших перешкод. Фрезерні ротори

впливають на ґрунт ножами, які мають циліндричну поверхню. Фрезерна машина працює в такий спосіб.

Ножі роторів занурюються на глибину до 8 см ( $2/3$  довжини ножа  $H$ ). Поступово рухаючись фрезерна машина розрізає ґрунт пристовбурної смуги ножами по троходам. Відділена ножем від масиву ґрунту скиба взаємодіє з його внутрішньою поверхнею і під впливом сил набуває відносну швидкість  $V_A$ , яка спрямована в сторону денної поверхні ґрунту, а її величина більша окружної швидкості ножа, що має сприяти збільшенню середньої фракції ґрунту до 80%.

### 3.2.2. Математичне планування опитів з визначення оптимальних режимів роботи фрези

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень та визначення раціональних технологічних параметрів роботи експериментальних робочих органів фрезерної машини були проведені польові дослідження з використанням елементів математичного планування.

Вибір факторів і критерію оптимізації. Попередній аналіз науково-технічної літератури і патентної документації дозволив відібрати фактори, які найбільше впливають на якість виконання технологічного процесу обробки ґрунту в пристовбурній смузі багаторічних насаджень. На підставі аналізу апріорної інформації були обрані наступні фактори:

- $X_1$  – швидкість руху агрегату;
- $X_2$  – частота обертання робочих органів (ножів) фрези;
- $X_3$  – глибина обробки ґрунту;
- $X_4$  – щільність ґрунту;
- $X_5$  – абсолютна вологість ґрунту;
- $X_6$  – радіус обертання робочих органів фрези;
- $X_7$  – кількість ножів на одному диску фрези;

- $X_8$  – висота стояків ножів;
- $X_9$  – ступінь задерніння ґрунту (маса рослин на  $m^2$ ).

Вказані фактори є найбільш впливові при плануванні експерименту з елементами математичного планування і задовольняють вимогам [80, 81]. Рішення задач з визначення раціональних технологічних параметрів роботи фрезерної машини розбивається на ряд етапів.

Спочатку при попередньому вивченні об'єкту виконується апріорне ранжування факторів, або, так званий, «психологічний експеримент». Він необхідний для того, щоб скоротити об'єм експериментальної роботи через те, що несуттєві фактори можна виключити з подальшого розгляду. Процес ранжування факторів формалізує розрізнені відомості про об'єкт, що дозволяє порівняти фактори між собою. Це сприяє вирішенню проблеми на подальших етапах досліджень. Також різними спеціалістами можуть бути внесені необхідні додаткові відомості про об'єкт дослідження [82].

Суть цього методу полягає в тому, що кожному спеціалісту надається анкета, в якій вказані обрані фактори і припустимі рівні їх значень з інтервалами варіювання. Спеціаліст повинен визначити місце кожного фактора з урахуванням критерію оптимізації, по якому можливо оцінити ефективність використання машини занести до таблиці.

В дослідженнях з оптимізації механізованого впливу на якість і енергоємність обробітку ґрунту критерієм може служити коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту. Цей показник є важливою оцінкою виконання технологічного процесу обробки ґрунту, тому що він надає комплексну характеризує якості ґрунту.

Для оцінки визначених факторів впливу на роботу фрези було проведено опитування 10 спеціалістів з обробітку ґрунту. Результати опитування оброблено відповідно до методики [82] і наведено в таблиці 3.3.

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

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

За даними таблиці 1 розраховано коефіцієнт конкордації W (узгодженості), який визначає ступінь узгодженості думок спеціалістів, який дорівнює W=0,67.

Значення коефіцієнта конкордації змінюється в межах від 0 до 1 і чим більше його значення, тим більше узгодженість думок спеціалістів. Після розрахунку величини коефіцієнту визначаємо його значимість за критерієм Кохрена  $\chi^2$ . Розрахункове значення розподілу  $\chi^2$  визначається за формулою [83]:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot k \cdot (k + 1)} = \frac{12 \cdot 4018}{10 \cdot 9 \cdot (9 + 1)} = 53,57 \quad (3.2)$$

Згідно таблиць [59] знаходимо, що для 5% рівня значимості при

$f = 9 - 1 = 8$  ступеней вільності величина  $\chi^2_{\text{табл.}} = 15,507 < 53,57$ .

Виходячи з того, що табличне значення  $\chi^2$  менше розрахункового, можна з 95% вірогідності стверджувати, що думки спеціалістів відносно ступеня впливу факторів оцінюється коефіцієнтом конкордації  $W = 0,67$  і узгодженість дослідників не є випадковою [84,85].

На підставі апріорного дослідження було побудовано діаграму рангів, що показує вплив факторів на критерій оптимізації (рис. 3.12)

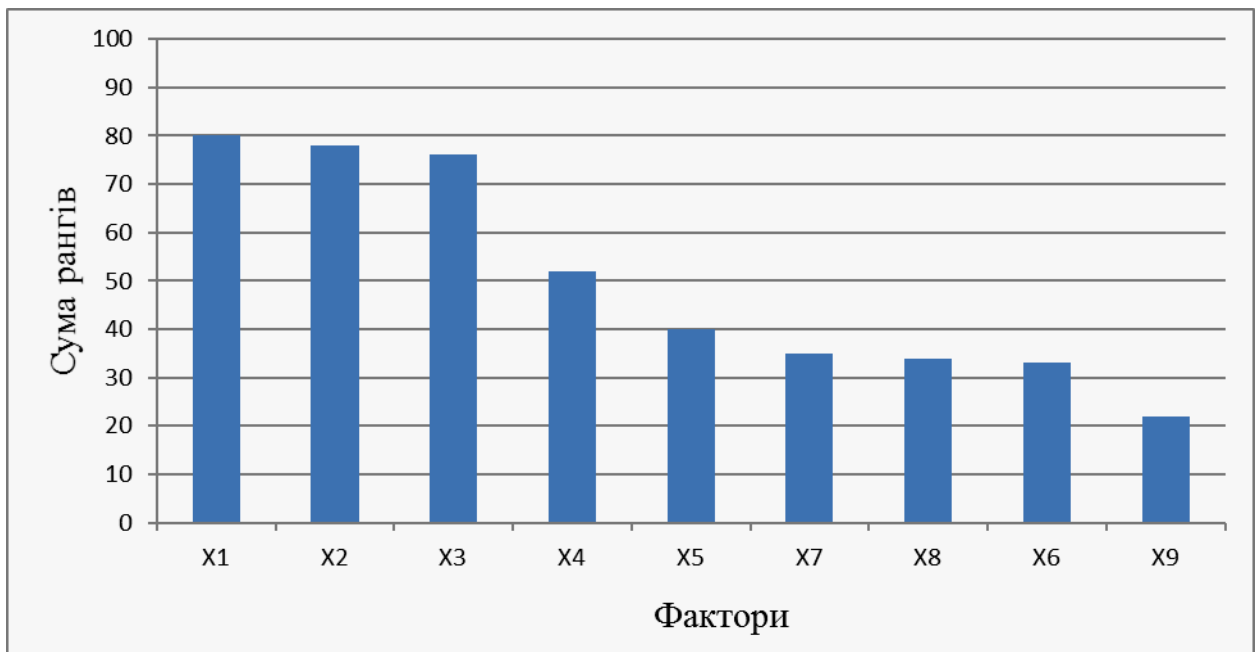


Рис. 3.12. Апріорна діаграма рангів впливу факторів на параметр оптимізації.

Таким чином за результатами обробітку психологічного дослідження для проведення польових досліджень з оптимізації параметрів роботи фрези було обрано такі основні фактори впливу на роботу фрези:  $X_1$  – швидкість руху агрегату;  $X_2$  – частота обертання диска фрези;  $X_3$  – глибина обробки ґрунту.

#### Обґрунтування рівнів варіювання основних факторів.

Швидкість руху агрегату  $X_1$  змінюється від 4 км/год до 5 км/год (1,1 - 1,5 м/с). Межі даного фактора обрано згідно технічних даних трактора ЮМЗ-6 і відповідає значенню швидкості руху трактора на першій і другій передачах.



Частота обертання диска фрези  $X_2$  повинна змінюватися від  $2\text{c}^{-1}$  до  $3\text{c}^{-1}$ . Межі даного фактору були визначені проведеними нами теоретичними дослідженнями ( розділ 2). Подальше підвищення значення цього фактора не доцільне через збільшення відносної швидкості часток ґрунту, які перевищують лінійну швидкість ножа більше ніж в два рази, що сприяє зниженню якості обробки ґрунту (розкидання ґрунту).

При проведенні обробітку ґрунту необхідно не тільки забезпечити одержання необхідної якості його кришення і вирівняності поверхні, але і правильно вибрати ширину зони обробки і глибину розпушування, виходячи з мінімального ушкодження коренів.

Характерною рисою кореневої системи плодкових дерев є значне поширення коренів у міжряддях. Відгалужуючись від штамба, вони ідуть у ґрунт під визначеним кутом. При обробці ґрунту не можна допускати ушкодження коренів діаметром від 8 до 10 мм і більш. Закономірність залягання кореневої системи залежить від багатьох факторів, з яких основними є біологічні особливості сорту, тип ґрунту, її вологість та інші.

Вивчення, впливу підрізання кореневої системи на розвиток дерева і його плодоносіння показав, що підрізання коренів діаметром від 8 до 10 мм і більш приводить до зниження врожайності плодів на 10%, можливості захворювання дерева і навіть його усиханню [86].

Кісточкові культури, як правило, вирощуються на насінневих підщепах. Вони в порівнянні з вегетативними характеризуються більшою силою росту дерев, меншою вимогливістю до родючості ґрунтів та підвищеною посухостійкістю. Коренева система цих саджанців має стрижневий тип коренів. В цьому випадку в пристовбурній смузі, де обробляється ґрунт, глибина залягання коренів становить від 15 до 20 см. Таким чином, для забезпечення запобігання пошкодження коренів дерева максимальна глибина обробки ґрунту становить 10 см. (рис. 3.13)

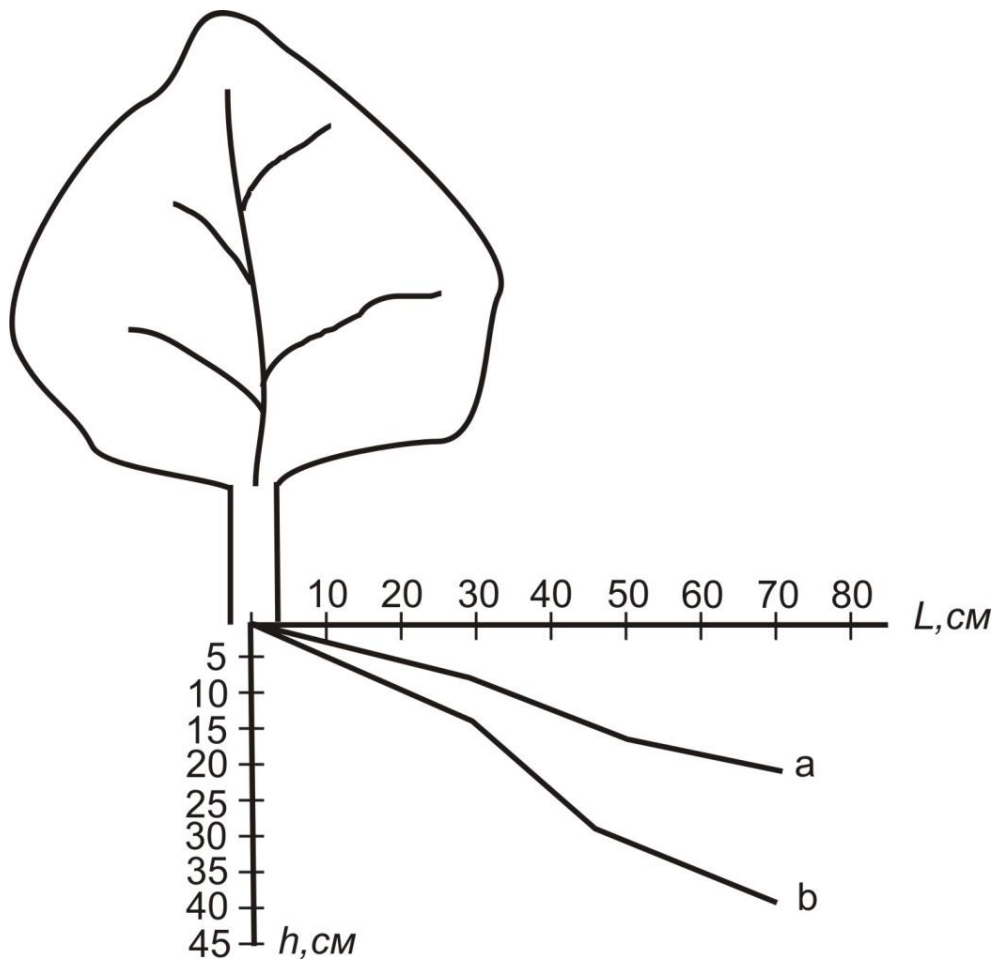


Рис. 3.13. Розташування кореневої системи високорослих (b) і пальметних (a) дерев.

Насіннєві культури, особливо яблуня, в більшості випадків вирощується на вегетативних підщепах. Біологічні властивості цих коренів зумовлюють їх здатність утворювати пагони коренів. В цьому випадку при сприятливих умовах (зволоження, наявність живильних речовин) глибина розташування коренів становить від 5 до 10 см. Через це глибина обробки ґрунту в пристовбурній смузї біля штамба дерева (на відстані від 20 до 25 см) повинна становити 3 см, щоб не пошкодити кореневу систему.

Ця обставина зумовлює необхідність здійснення обробки ґрунту в пристовбурній смузї механізованим способом вже з першого року посадки для формування кореневої системи дерева і запобігання їх утворення в зоні обробки. Якщо цього не робити за рік-два корені поздоровшають і взагалі мала глибина їх залягання не дасть можливості застосування будь-яких робочих органів сільгоспмашин для обробки ґрунту.



Таким чином, діапазон глибини обробки ґрунту  $X_3$  в пристовбурній смугі може змінюватися в межах від 5 до 8 см. Цей діапазон змінювання глибини обробки ґрунту не може істотно впливати на витрати потужності під час виконання цього технологічного процесу.

Обґрунтування рівнів варіювання допоміжних конструктивних факторів.

Кількість ножів на диску фрези  $X_7$  може змінюватися від 2 до 4. Виходячи з конструктивних міркувань та забезпечення необхідної подачі на робочий орган при проведенні польових досліджень кількість ножів на кожному диску прийнято 3.

Висота стояків робочих органів фрезерної машини  $X_8$ . Виходячи з умов роботи робочих органів та конструктивних міркувань, може змінюватися в межах від 5 см до 10 см. На підставі результатів попередніх польових досліджень (за умови не забивання диска фрези ґрунтом) висота стояків робочих органів становить 6 см.

Радіус обертання робочих органів фрези  $X_6$  обирається виходячи з конструктивних міркувань. Виходячи з технологій утримання ґрунту під багаторічними насадженнями ширина пристовбурної смуги, де не проходять робочі органи сільськогосподарських машин під час міжрядного обробітку ґрунту, становить від 130 до 120 см. На висувній секції фрезерної машини розташовано два диска, де розташовано робочі органи. Для забезпечення однакових умов роботи робочих органів радіус їх обертання на обох дисках однаковий і становить  $R = 0,176$  мм.

Фактори, що характеризують умови роботи фрези.

Такі фактори, як вологість ґрунту  $X_5$  і щільність  $X_4$  не відповідають всім вимогам, котрі до них пред'являються [80, 85]. Однак, вони суттєво впливають на величину параметра оптимізації.

Ступінь задерніння ґрунту  $X_9$  є некерованим фактором. Значення цього показника носить випадковий характер як в природних умовах, так і в штучних.

Методика та апаратура для проведення польових досліджень. На підставі аналізу матеріалів науково-технічної літератури і апріорної інформації було обрано впливові фактори на параметр оптимізації [80, 82, 85].

В якості параметра оптимізації обрано коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту. Приведення цього показника стану ґрунту до оптимальних параметрів створює сприятливі умови для розвинення кореневої системи багаторічних насаджень, тобто приводить до збільшення врожайності.

Другим параметром оптимізації обрано крутний момент, як такий показник, котрий характеризує енергоємність процесу обробки ґрунту фрезерною машиною. Цей параметр надає змогу порівняти показники енергоємності фрезерної машини з розпушувальними пальцями та експериментальними робочими органами.

Для здійснення експерименту з елементами математичного планування і з метою зменшення кількості варіантів дослідів вибираємо планового проведення та рівні варіювання обраних факторів.

В якості плану обираємо центральне композиційне планування другого порядку. Згідно цього плану встановлюємо рівні варіювання обраних факторів (таблиця 3.4) [80, 85].

Таблиця 3.4

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 згідно з [80, 85] розроблено план-матрицю ротатабельного центрального композиційного планування другого порядку (таблиця 3.5).

План-матриця проведення експерименту і його результати

№ досліджу	Кодифіковані значення факторів			Результати досліджу	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Коефіцієнт структурності ґрунту, У <sub>1</sub> , %	Величина крутного моменту, У <sub>2</sub> , Нм
1	-	-	-	0,35	260
2	+	-	-	0,35	310
3	-	+	-	0,28	245
4	+	+	-	0,18	250
5	-	-	+	0,24	335
6	+	-	+	0,21	370
7	-	+	+	0,75	232
8	+	+	+	0,4	285
9	-1,68	0	0	0,25	140
10	1,68	0	0	0,24	234
11	0	-1,68	0	0,18	290
12	0	1,68	0	0,14	210
13	0	0	-1,68	0,25	115
14	0	0	1,68	0,39	260
15	0	0	0	0,65	190
16	0	0	0	0,68	210
17	0	0	0	0,64	215
18	0	0	0	0,69	180
19	0	0	0	0,7	192
20	0	0	0	0,68	203

Визначення енергоємності процесу обробітку ґрунту в пристовбурних смугах виконувалися згідно ОСТ 70.2.2 – 73 «Испытание сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки» [87].

Під час проведення досліджень реєструвалися:

- крутний момент, який передавався через ВВП трактора, Нм;
- частота обертання ВВП трактора, с<sup>-1</sup>;
- швидкість руху агрегату, м/с.

Перші два показники реєструвалися методом тензометрування та записувалися на комп'ютер через АЦП [88].

В якості апаратури використалися:

- посилювач ТОПАЗ-2:
- вимірювач крутного моменту ( рис. 3.13 );
- тахометр.



Рис. 3.13. Приєднання вимірювача крутного моменту на ВВП трактора.

Для визначення часу проходження агрегатом облікової ділянки на записах виконувались відмітки часу. Швидкість руху агрегату визначалася загально прийнятими методами при проходженні облікової ділянки. Все тензометричне устаткування при проведенні дослідів налагоджувалося та використалося згідно вимог і рекомендацій [87 - 90].

Обробка отриманих результатів досліджень проводилася згідно рекомендацій [83, 84, 91].

Результати польових досліджень. Польові дослідження фрезерної машини з експериментальними робочими органами проводилися в ТОВ «Лана» Михайлівського району Запорізької області в насадженнях абрикосу. Схема посадки 6 x 5 м. Фрезерна машина МФ-1М під час досліджень агрегувалася з трактором ЮМЗ-6. Тип ґрунту чорнозем-південний. Умови при проведенні досліджень визначалися згідно загально прийнятих методик [89]. Фізичний стан ґрунту наведено в таблиці 3.6.

## Фізичний стан ґрунту

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

В результаті реалізації матриці планування дослідів були отримані величини, які характеризували якість виконання технологічного процесу розпушення ґрунту в пристовбурній смузі багаторічних насаджень. В якості оцінюючого фактора було обрано коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту. Паралельно з цим для оцінки енергоємності процесу обробки ґрунту експериментальними робочими органами фрезерної машини проводилися замірювання крутного моменту на ВВП трактора під час проведення досліджень.

Результати, які були отримані під час проведення досліджень наведено в таблиці 3.5.

Після реалізації план-матриці проведення експерименту і розрахунку по отриманим результатам середньої величини критерію оптимізації для кожного дослідів з'ясувалася можливість застосування методу регресійного аналізу. Для цього перевірялася гіпотеза однорідності дисперсій [83]. Підтвердивши гіпотезу про однорідність дисперсій і, приймаючи гіпотезу про нормальний закон розподілу їхньої величини з урахування строгої фіксації розглянутих факторів на обумовлених рівнях, в подальшому для обробки результатів експерименту був прийнятий регресійний аналіз [83].

Розрахунок коефіцієнтів регресії виконувався згідно методики [80]. Для оцінки однорідності дисперсій середнього арифметичного по кожному дослідів використовувався критерій Кохрена на рівні значущості 0,05.

Рівняння математичної моделі факторів другого рівня технологічного процесу обробітку ґрунту в загальному вигляді записується так:

$$Y = b_0 + b_1 X_{10} + b_2 X_7 + b_3 X_{10}^2 + b_4 X_7^2 + b_5 X_{10} X_7 \quad (3.3)$$

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

$$b_0 = 0,2 \cdot \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u - 0,1 \cdot \sum_1^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot \bar{Y}_u \quad (3.4)$$

$$b_i = 0,125 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot \bar{Y}_u \quad (3.5)$$

$$b_{ii} = 0,1251 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot \bar{Y}_u + 0,0187 \cdot \sum_1^k x_{iu}^2 \cdot \bar{Y}_u - 0,1 \cdot \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u \quad (3.6)$$

$$b_{ij} = 0,25 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot \bar{Y}_u, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (3.7)$$

Розрахунки згідно наведених формул виконувалися за допомогою програми Excel. На підставі розрахунків визначені коефіцієнти регресії. Значущість коефіцієнтів регресії визначалася за критерієм Стюдента, адекватність отриманих математичних моделей за критерієм Фішера [83].

Рівняння регресії, що описують залежності коефіцієнта структурно-агрегатного стану ґрунту  $Y_1$  і енергоємності процесу розпушення ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень  $Y_2$  мають відповідно наступний вигляд:

$$Y_1 = 0,669 - 0,036X_1 + 0,029X_2 + 0,05X_3 - 0,124X_1^2 - 0,154X_2^2 - 0,098X_3^2 - 0,0525X_1X_2 + 0,118X_2X_3 - 0,035X_1X_3 \quad (3.8)$$

$$Y_2 = 195,53 + 22,04X_1 - 29,10X_2 + 29,35X_3 + 12,35X_1^2 + 34,62X_2^2 + 12,53X_3^2 - 3,38X_1X_2 - 14,13X_2X_3 + 4,13X_1X_3 \quad (3.9)$$

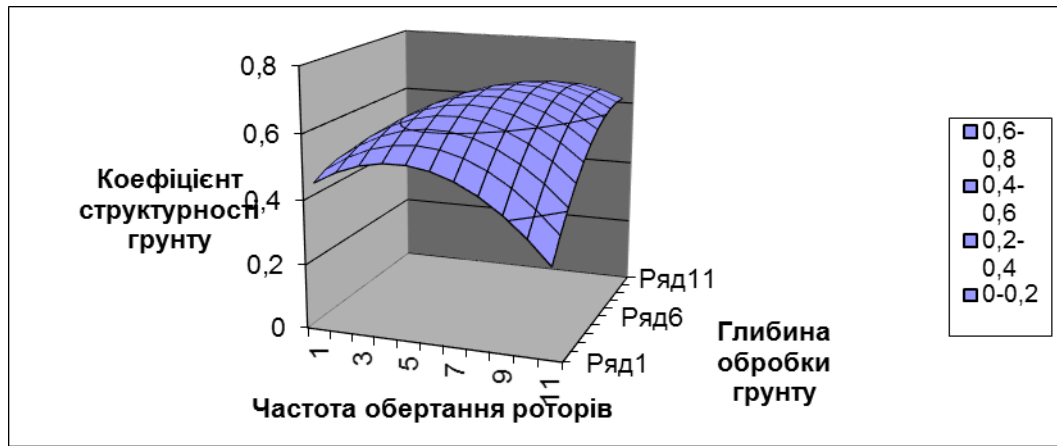
Отримані рівняння характеризують залежність оцінюючих параметрів від обраних факторів і дозволяють визначити ступінь і характер самостійного впливу кожного фактора окремо та при їх взаємодії.

Аналізуючи отримані рівняння 3.8 можна констатувати, що найбільший вплив на коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту  $Y_1$  має глибина обробки ґрунту  $X_3$ .

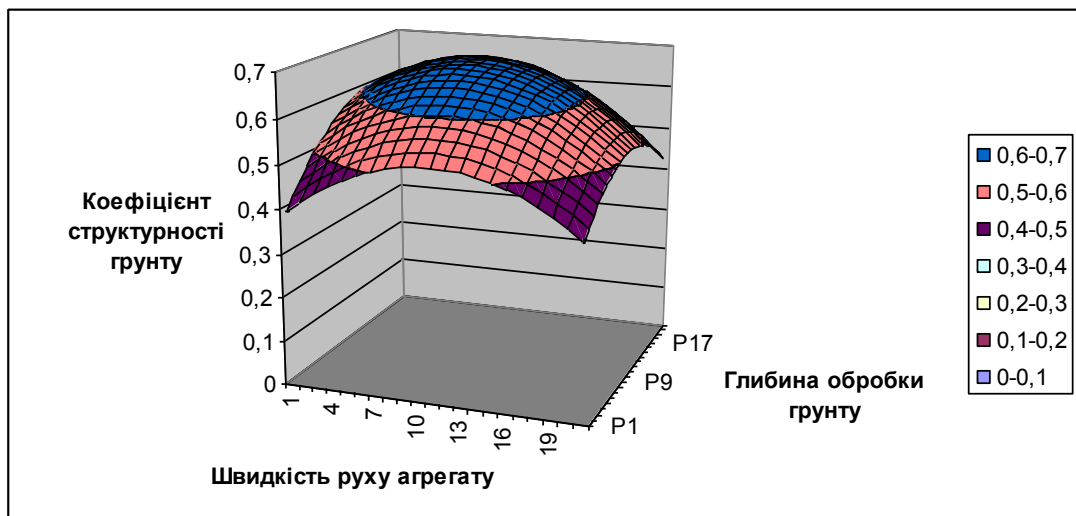
На енергоємність процесу обробітку ґрунту в пристовбурних експериментальними робочими органами фрези обрані фактори приблизно мають однаковий вплив, але більший вплив мають частота обертання роторів фрези  $X_2$  і глибина обробітку ґрунту  $X_3$ .

Для аналізу отриманого рівняння регресії були побудовані дворівнені перетини поверхонь відгуку в області експерименту на нульовому рівні залежностей коефіцієнта структурно-агрегатного стану ґрунту від обраних факторів (рис. 3.14) та енергоємності процесу розпушення ґрунту експериментальними робочими органами (рис. 3.15).

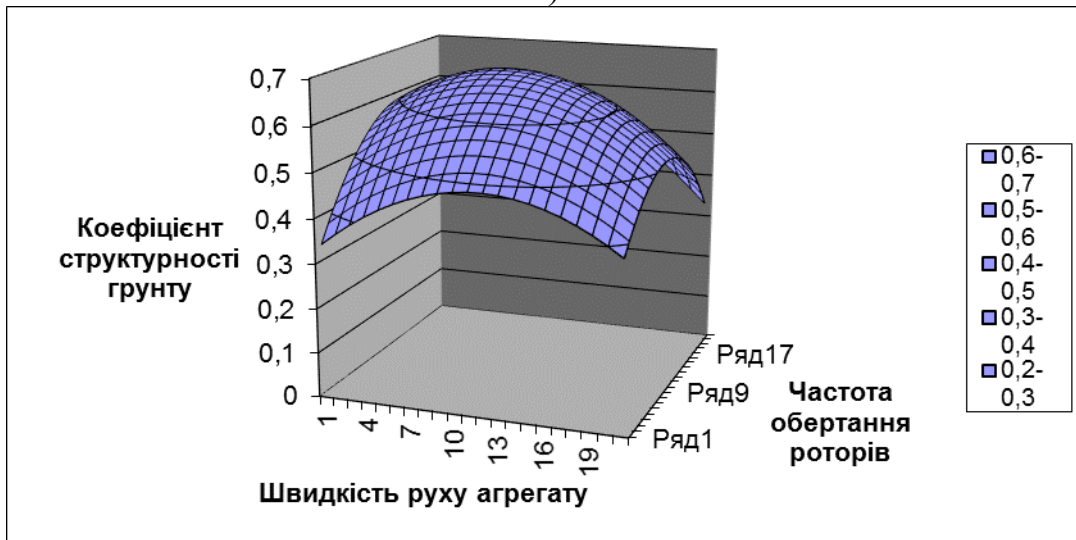
Для визначення показників значень факторів, при яких коефіцієнт структурності ґрунту має оптимальні значення, було досліджене отримано рівняння регресії за допомогою програми Excel. В результаті цього було визначено значення показників незалежних факторів, при яких коефіцієнт структурності ґрунту має максимальне значення в даних умовах роботи фрезерної машини  $Y_{1\max} = 0,693$ .



а)



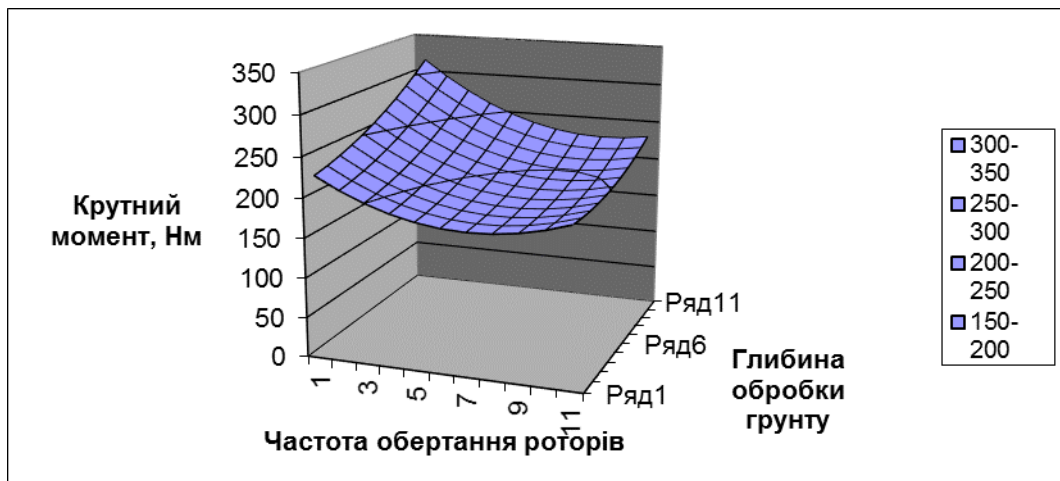
б)



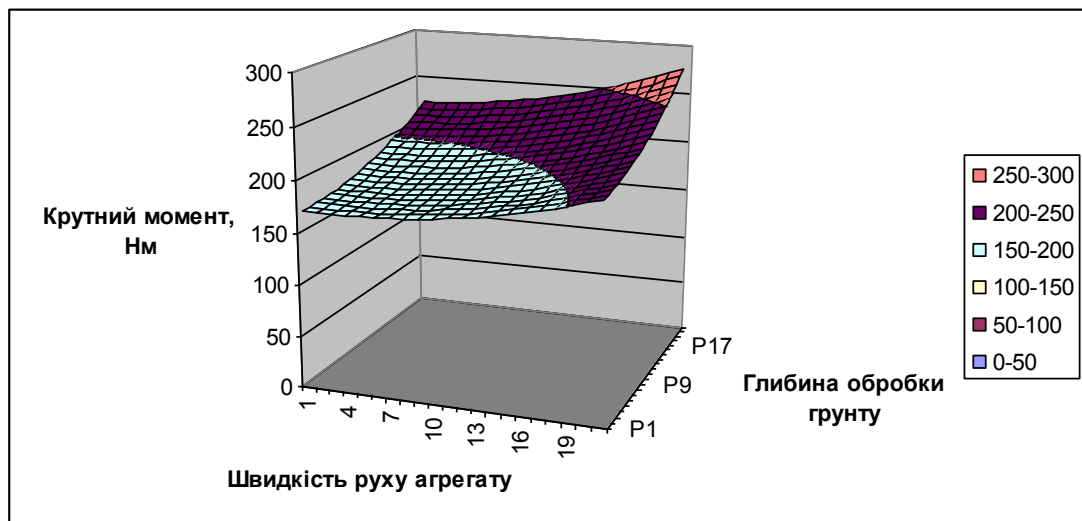
в)

Рис.3.14. Двомірні перетини поверхні відгуків в області експерименту дослідження впливу технологічних і кінематичних параметрів робочих органів фрезерної машини на коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту при: а)  $X_1=0$ ; б)  $X_2=0$ ; в)  $X_3=0$ .

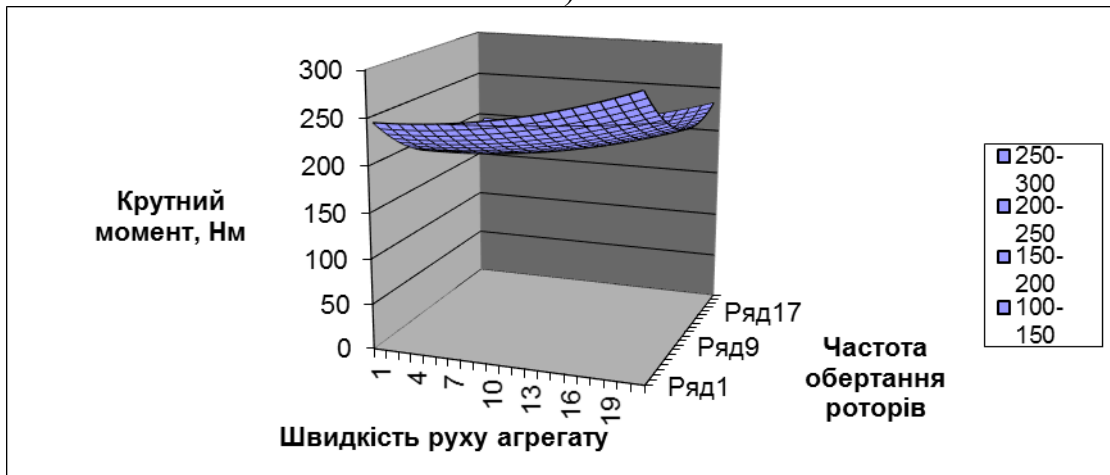




а)



б)



в)

Рис.3.15 Двомірні поверхні відгуків в області експерименту дослідження впливу технологічних і кінематичних параметрів робочих органів фрезерної машини на енергоємність технологічного процесу обробки ґрунту при: а)  $X_1=0$ ; б)  $X_2=0$ ; в)  $X_3=0$ .

При цьому значення незалежних факторів в кодованому вигляді мають наступні значення:

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

В натуральному вигляді вони мають наступні значення:

- швидкість руху агрегату,  $X_1 = 0,61$  м/с;
- частота обертання ротора,  $X_2 = 2,7$  с<sup>-1</sup>;
- глибина обробки ґрунту,  $X_3 = 9,1$  см.

Аналіз отриманого рівняння 3.9 енергоємності процесу обробітку ґрунту експериментальними робочими органами фрезерної машини дозволило визначити технологічні та кінематичні параметри роботи машини, при яких мінімальне значення крутного моменту на ВВП трактора  $U_{2min} = 171,84$  Нм.

При цьому значення незалежних факторів в кодованому вигляді мають наступні значення:

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

В натуральному вигляді вони мають наступні значення:

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

При розгляданні процесу вирощування сільськогосподарських культур, в тому числі і плодових, надважливим аспектом є врожайність. Високу врожайність можливо отримати якщо створити оптимальні умови для його розвитку. Створення оптимального агрегатного стану ґрунту створює сприятливі умови для кореневої системи рослини, розвиток якої забезпечує отримання високих врожаїв.

Таким чином, питання якості обробки ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень має велике значення. В цьому випадку з двох параметрів оптимізації головним є коефіцієнт структурно-агрегатного стану ґрунту. На підставі цього обираємо технологічний і кінематичний режим роботи агрегату, який обґрунтовано при вирішенні першого регресійного рівняння. Отримане друге регресійне рівняння дозволяє отримати значення крутного моменту на валу ВВП трактора на обраному режимі роботи. З цією метою в рівняння (3.9) підставляємо значення незалежних факторів в кодованому вигляді, при яких отримано максимальне значення коефіцієнта структурності ґрунту. В результаті вирішення цього рівняння отримано наступне значення крутного моменту  $M = 175,8$  Нм на обраному режимі роботи фрезерної машини з експериментальними робочими органами.

### 3.3. Висновки до третього розділу

1. Встановлено, що зміни в твердій фазі ґрунту під дією води десяти поливів змінюється таким чином: при початковому значенні 1,0 відбулося зниження коефіцієнта структурності на 50%, при 0,8 – на 11,3%, при 0,4 – на 45%, при 0,2 – на 50%, а при 0,6 коефіцієнт залишився не змінним.

2. Із отриманих залежностей виходить, що при усіх значеннях початкового коефіцієнта структурності для збереження структурно – агрегатного стану необхідно для усіх початкових значень коефіцієнту структурності слід застосовувати механізований обробіток ґрунту після проведення третього або четвертого поливу, а для коефіцієнту із значенням 0,6 після першого поливу або після сьомого.

3. Лабораторно – польовими дослідженнями модернізованого експериментального зразка фрезерної машини МФ-1М, які були проведені протягом вегетаційного періоду в насадженнях абрикосу, черешні і яблуні насадженнях абрикосу, черешні і яблуні на темно – каштанових ґрунтах при їх середній вологості 23,7% встановлено, що:

- потужність на привід машини МФ-1М з робочими органами у вигляді ножів при глибині обробітку 8 см становила 4,8 кВт, що в 5 раз менше ніж у фрези МФ-1. Це сприяло збільшенню середнього напрацювання на технічну відмову до 500 год., що відповідає вимогам ТЗ;

- максимальне значення коефіцієнта структурності ґрунту досягається при частоті обертання роторів  $2,7 \text{ с}^{-1}$ , швидкості руху агрегату 0,61 м/с та глибині обробітку 9,1 см і дорівнювало 0,693.

## РОЗДІЛ 4

НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА І ЕКОНОМІЧНА  
ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ

4.1. Науково – виробнича перевірка технології комбінованого способу утримання ґрунту в плодкових насадженнях і впровадження фрезерної машини для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах

Науково – виробничу перевірку фрезерної машини з розробленими робочими органами МФ-1М у складі з тракторам ЮМЗ-6 було проведено в насадженнях абрикосу, черешні і яблуні в листопаді 2014 року та у період вегетації дерев 2015 року на площі 250 га. Було застосовано комбінований спосіб утримання ґрунту в плодкових насадженнях, при якому ґрунт в пристовбурних смугах оброблявся фрезою.

Перевіркою було передбачено надати агротехнічну оцінку роботи фрези МФ-1М за такими методикам:

- умови оцінки визначались відповідно до КНД 46.16.02.08 -95 [89];
- оцінка якості роботи фрези визначались відповідно до ОСТ 70.4.1. [92]

Вимірюванню підлягали параметри пристовбурних смуг до обробітку фрезерної машини і після, а також параметри машини в процесі обробітку.

Пристовбурні смуги плодового саду характеризувались за такими показниками:

а) ґрунт характеризувався агрофізичними показниками згідно з ДСТУ4362 [27], а саме:

- щільністю - згідно з ДСТУ ISO 11272 [93];
- агрегатним складом ( в орному шарі) [94];
- вологістю [95, 96];

- б) попереднім способом утримання ґрунту в пристовбурних смугах;
- в) наявністю і ступенем подрібнення рослинних решток;
- г) ступенем заселення міжрядь гризунами;
- д) параметрами машини - згідно з КД 46.16. [97]:
  - швидкістю руху;
  - шириною і глибиною обробітку пристовбурних смуг,

Перевірка в листопаді 2014 року. Метою перевірки було виявлення ефективності застосування фрези для захисту насаджень від пошкодження дерев гризунами у зимовий період.

Плодові насадження в зимовий період пошкоджуються гризунами. Щільність заселення гризунами оцінюється кількістю нір на 10 м<sup>2</sup> міжряддя. Оцінювання було проведено в насадження яблуні площею 37 га і черешні площею 28 га. В цих насадженнях заселення гризунами складало біля 6- 7 нір на 10 м<sup>2</sup> (рис. 4.1). Така ступінь заселення гризунами в зиму 2011 року призвела до 80% пошкодження дерев.



Рис.4.1. Загальний вигляд міжряддя насаджень яблуні інтенсивного типу з заселенням гризунами.

Ґрунт в пристовбурних смугах даних насаджень було оброблено фрезою МФ-1М у листопаді 2014 року (рис. 4.2). За результатами спостережень було встановлено, що заселення гризунами насаджень,



пристовбурні смуги в яких були оброблені фрезою МФ-1М знизилось в три рази і не перевищувала 2 нори на 10 м<sup>2</sup>.



Рис.4.2. Оброблення пристовбурних смуг в насадженнях черешні.

Перевірка у період вегетації дерев 2015 року. Метою перевірки було виявлення ефективності застосування фрези для забезпечення оптимального структурно – агрегатного стану ґрунту в пристовбурних смугах на протязі вегетаційного періоду.

Обробіток ґрунту проводився фрезою починаючи з травня 2015року (рис.4.3, 4.4).



Рис.4.3. Виробнича перевірка МТА МФ-1М +ЮМЗ-6 в насадженнях абрикосу ( травень 2015рік).

Під час обробітку ґрунту перелік кінематичних і технологічних параметри фрези і їх значення відповідали тим, які були визначені при проведенні лабораторно – польових випробувань фрези, а саме:

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

Тип ґрунту - чорнозем-південний. Фізичний стан ґрунту наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

## Фізичний стан ґрунту

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



Рис.4.4. Обробіток ґрунту в пристовбурній смузі фрезерною машиною МФ-1М з експериментальними робочими органами.

За результатами випробувань встановлено [98], що кількість середньої фракції ґрунту (розмір агрегатів від 0,25 до 10 мм) до обробітку становила 51%, а після обробітку фрезою знаходилась в межах від 70% - 75%. При цьому, щільність ґрунту зменшилась на 76,4% и становила 0,65 г /см<sup>3</sup>.



Ширина обробленої пристовбурної смуги не перевищувала 0,7м, тобто розкидання ґрунту фрезою не відбувалось, а глибина знаходилась в межах від 8 см до 10 см. Знищення бур'янів дорівнювала 90% при щільності 100 -120 рослин на 1 м<sup>2</sup> . При цьому робочі органи фрези забезпечували видалення бур'янів з кореневою системою (рис. 4.5.).



Рис.4.5. Якість обробітку ґрунту фрезою.

Під час перевірки спостерігалось забивання рослинними рештками і злипання ґрунтом робочих органів. Але, робоча поверхня ножів залишалась чистою, що свідчить про наявність руху ґрунту по поверхні ( рис. 4.6).



Рис.4.6. Забивання рослинними рештками і злипання ґрунтом робочих органів.

Витрати палива за зміну визначали методом контрольованої дозаправки паливом трактора після завершення зміни. Витрати палива знаходились в межах від 6л/год до 7л/год при швидкості руху агрегату 1,8 км/год, що в два рази менше ніж у фрези МФ-1, у якої робочі органи виконані у вигляді стрижень.

#### 4.2. Економічна порівняльна оцінки застосування фрезерної машини

Економічну оцінку агрегату для роботи в саду необхідно робити в порівнянні з існуючими виробничими аналогами сільськогосподарської техніки [99 - 103].

У наш час для обробітку пристовбурних смуг широко застосовується агрегат, до складу якого входить трактор МТЗ-80 та садова фреза ФА-0,76А. Нами запропонований новий агрегат - трактор ЮМЗ-6 та нова фрезерна машина МФ-1М.



Одним із основних показників ефективності використання сільськогосподарської техніки є зведені витрати ( $\Pi$ ) на одиницю виконаної роботи. Вони складаються із суми прямих експлуатаційних витрат ( $E$ ) та помножених на нормативний коефіцієнт ( $E_n$ ) питомих капітальних вкладень ( $K_n$ )

$$\Pi = E + E_n \cdot K_n, \quad (4.1)$$

Згідно з ГОСТ 23729-79 «Методы экономической оценки специализированных машин» прямі експлуатаційні витрати розраховують із виразу:

$$E = Z + A + R + \Gamma, \quad (4.2)$$

де  $Z$  - заробітна платня обслуговуючого персоналу;

$A$  - витрати на реновацію;

$R$  - витрати на ремонти і технічне обслуговування;

$\Gamma$  - витрати на паливно-мастильні матеріали.

Заробітну платню кожного члена обслуговуючого персоналу визначають за формулою:

$$Z = \frac{C_p}{W_{zm}}, \quad (4.3)$$

де  $C_p$  - годинна оплата праці, грн/год;

$W_{zm}$  - продуктивність агрегату за 1 год змінного часу, га.

Витрати на реновацію кожної машини знаходять із виразу:

$$A = \frac{S \cdot A}{T_{zon} \cdot W_{зм}}, \quad (4.4)$$

де  $S$  - балансова ціна нової чи базової машини, грн.;

$A$  - коефіцієнт відрахувань на реновацію машини;

$T_{zon}$  - зональне річне завантаження машини, год;

Зональне річне завантаження машини приймають у відповідності з діючими нормативами. У випадку їх відсутності вказане завантаження визначають за зональними перспективними технологіями за формулою:

$$T_{zon} = D \cdot t, \quad (4.5)$$

де  $D$  – кількість днів роботи машини за агротехнічний строк;

$t$  - число годин роботи машини в день (експлуатаційного часу), год.

Витрати на капітальний, поточний ремонт та планово-технічне обслуговування кожної машини знаходять із виразу:

$$R = \frac{S \cdot B}{T_H} \quad (4.6)$$

де  $B$  - коефіцієнт відрахувань на капітальний і поточний ремонти та технологічне обслуговування. (значення коефіцієнта визначають із нормативно-технічної документації кожної складової агрегату);

$T_H$  – нормативне завантаження машини, год.

Витрати на паливо - мастильні матеріали для конкретного агрегату розраховують за формулою:

$$\Gamma = G \cdot \text{Ц}, \quad (4.7)$$

де  $G$  - витрати паливно-мастильних матеріалів на одиницю продуктивності роботи МТА, кг/га (т);

$\text{Ц}$  – оптова ціна 1 кг палива, грн.

Питомі капіталовкладення на кожну машину (знаряддя) агрегату знаходять із виразу:

$$K_{\Pi} = \frac{S}{T_{zon} \cdot W_{зм}} \quad (4.8)$$

У розгорнутому вигляді аналітичний вираз 4.1 для визначення зведених витрат має наступний вигляд:

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

де  $K$  - кількість розрядів тарифікаційної сітки;

$L_p$  – кількість обслуговуючого персоналу на агрегаті;

$m$  - кількість машин у складі МТА;

Другим важливим показником ефективності того чи іншого агрегату є питомі витрати праці ( $Z_T$ ). Для їх визначення достатньо знати змінну продуктивність та кількість обслуговуючого персоналу агрегату:

$$Z_T = \frac{L_p}{W_{зм}} \quad (4.9)$$

Показники прийняті в якості вихідних даних для розрахунків техніко-економічних показників порівнюваних фрезерних агрегатів заносяться у таблицю 4.2.

Зведені витрати базового агрегату:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\dot{a}} &= \frac{12,5 \cdot 1}{0,2} + \frac{1}{100 \cdot 0,2} \cdot \left( \frac{12,5 \cdot 50000}{1700} + \frac{14,2 \cdot 28000}{350} \right) + \\ &+ \frac{1}{100 \cdot 0,2} \cdot \left( \frac{22 \cdot 50000}{1300} + \frac{18 \cdot 28000}{370} \right) + 33 \cdot 14,6 + \\ &+ \frac{0,15}{0,2} \cdot \left( \frac{50000}{1300} + \frac{28000}{370} \right) = 808,0 \text{ \textit{€} / \textit{€}} \end{aligned}$$

Таблиця 4.2

## Вихідні дані для розрахунку

Назва показник	МТА	
	новий	базовий
Оптова ціна 1 кг палива, грн.	14,6	14,6
Витрати палива агрегатом, кг/га	24,9	33
Продуктивність МТА за 1 годину змінного часу, га/год	0,23	0,2
Погодинна оплата праці, грн./год	12,50	12,50
Ціна трактора , грн.	478000	478000
Ціна фрези, грн.	96000	124000
Реновація (%) : трактора	12,5	12,5
фрези	14,3	14,3
Норми відрахувань (%) на ремонти і обслуговування:		
трактора	22	22
фрези	18	18
Нормативне річне завантаження, год :		
трактора	1300	1300
фрези	370	370
Зональне річне завантаження, год :		
трактора	1700	1700
фрези	350	350
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1

Зведені витрати нового агрегату:

$$\begin{aligned} \ddot{I}_i &= \frac{12,5 \cdot 1}{0,23} + \frac{1}{100 \cdot 0,23} \cdot \left( \frac{12,5 \cdot 50000}{1700} + \frac{14,2 \cdot 17000}{350} \right) + \\ &+ \frac{1}{100 \cdot 0,23} \cdot \left( \frac{22 \cdot 50000}{1300} + \frac{18 \cdot 17000}{370} \right) + 24,9 \cdot 14,6 + \\ &+ \frac{0,15}{0,23} \cdot \left( \frac{50000}{1300} + \frac{17000}{370} \right) = 582,0 \text{ \textit{ãđí} / \textit{ãà}} \end{aligned}$$

Питомі витрати праці базового агрегату:

$$Z_{\sigma} = \frac{1}{0,2} = 5,0 \text{ люд} \cdot \text{год/га}$$

Питомі витрати праці по новому агрегату:

$$Z_{\sigma} = \frac{1}{0,23} = 4,3 \text{ люд} \cdot \text{год/га}$$

#### Визначення річного економічного ефекту від застосування агрегату

Показники техніко-економічної ефективності фрезерних агрегатів занесені в таблицю 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 розрахункових даних таблиці 4.2 показав, що впровадження нового фрезерного агрегату, до складу якого входять трактор ЮМЗ-6 та нова машина МФ-1М дозволяє знизити:

- витрати праці - на 14 %;
- прямі експлуатаційні витрати – на 18,2 %;
- питомі капітальні вкладення - на 14,1 %;
- зведені витрати - на 28 %.

Практична експлуатація нового агрегату дозволяє на кожному гектарі оброблюваної площі заощадити не менше 226 грн.

Визначаємо термін окупності нової машини, років:

$$T = \frac{S}{E_p} \quad (4.10)$$

де  $E_p$  - річна економія коштів, грн.

$$E_p = E_r \cdot T_{zon} \cdot W_{zm}, \quad (4.11)$$

де  $E_r$  – економія коштів з одного гектару, грн..

$$T = \frac{96000}{226 \cdot 350 \cdot 0.23} = 0.93$$

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

#### 4.3. Висновки до четвертого розділу

1. На підставі виконаної науково-виробничої перевірки фрезерної машини з експериментальними робочими органами в умовах ТОВ «Лана» встановлено що:

- кількість середньої фракції ґрунту (розмір агрегатів від 0,25 до 10 мм) до обробітку становила 51%, а після обробітку фрезою знаходилась в межах від 70% до 75%;



- щільність ґрунту зменшилась на 76,4% и становила 0,65 г /см<sup>3</sup>;
- ширина обробленої пристовбурної смуги не перевищувала 0,7 м, тобто розкидання ґрунту фрезою не відбувалось;
- глибина обробітку ґрунту в залежності від типу плодкових насаджень знаходилась в межах від 8 до 10см.
- знищення бур'янів дорівнювала 95% при щільності 100 -120 рослин на 1м<sup>2</sup> ;
- заселення гризунами насаджень після обробітку ґрунту фрезою МФ-1М знизилось в три рази і не перевищувала 2 нори на 10м<sup>2</sup>.

2. Застосування модернізованого зразка фрезерної машини МФ-1М з запропонованими робочими органами надає можливість за рахунок зменшення прямих експлуатаційних витрат заощадити на кожному гектарі площі, що обробляється не менше 226 грн. в порівнянні з базовим зразком, або 36612 грн./рік при сезонному навантаженні 162 га.

## ВИСНОВКИ

На підставі аналізу технологій і засобів механізації обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень, а також проведених теоретичних і експериментальних досліджень процесу обробітку ґрунту обґрунтовано конструктивно - технологічну схему фрези з обертанням робочих органів навколо вертикальної осі, параметри робочих органів і режим роботи фрези, які сприяють поліпшенню якості ґрунту в пристовбурних смугах плодкових насаджень інтенсивного типу і зменшенню енерговитрат.

За результатами досліджень зроблені такі висновки:

1. 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.

2. На підставі даних технічної літератури та інших інформаційних джерел визначено, що експериментальний зразок фрези МФ-1 з вертикальною віссю обертання робочих органів, які виконані у вигляді стрижнів, обробляє ґрунт із забезпеченням коефіцієнта структурно – агрегатного стану 0,53. Це значення за ДСТУ 4362 знаходиться на межі незадовільного стану ґрунту, що не сприяє створенню умов для оптимального проходження біологічних процесів у ґрунті і, як наслідок, відбувається погіршення росту і розвитку плодкових дерев.

3. На підставі математичного моделювання процесу взаємодії робочої поверхні ножа з ґрунтом доведено, що для утворення оптимального структурно – агрегатного стану ґрунту, необхідно застосовувати робочі органи фрези у вигляді ножів, які мають криволінійну поверхню, а також встановлено, що:

- робоча поверхня ножа має бути лінійчатою у вигляді прямого кругового циліндра з радіусом 0,097 м і максимальною довжиною дуги  $CF$  рівною 0,114 м при радіусі роторів 0,176 м їх кутовій швидкості 15,8 рад/с.

- відстань напрямної CF від траєкторії руху ріжучої крайки ножа має збільшуватись за лінійним законом і встановлюється величиною заднього кута різання  $\gamma = 10^\circ$ , починаючи з точки C ріжучої крайки ножа;

- відносна швидкість  $V_r$  руху частки ґрунту по поверхні ножа зростає за лінійним законом і на виході з ножа при його лінійній швидкості  $V_n = 2,8$  м/с у межах зміни коефіцієнта тертя  $\mu$  від 0,4 до 0,6у середньому зростає в 2 рази;

- для забезпечення найкращої якості обробітку ґрунту швидкість руху частинок ґрунту  $V_r$  на виході з ножа не повинна бути більшою ніж в 2 рази за лінійну швидкість ножа, для чого частота обертання роторів має бути в межах від  $2\text{с}^{-1}$  до  $3\text{с}^{-1}$ .

5. Встановлено 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.

6. Лабораторно – польовими дослідженнями експериментального зразка фрези МФ-1М встановлено, що максимальне значення коефіцієнту структурності ґрунту 0,7, який відповідає оцінки «добрий» запропонованими ножами досягається при частоті обертання роторів  $2,7\text{с}^{-1}$ , швидкості руху машино-тракторного агрегату 0,65 м/с та глибині обробітку до 9 см. При цьому значення крутного моменту дорівнює 175,8 Н м, що у 5 разів менше ніж у фрези МФ-1. Коефіцієнт варіації дослідних даних знаходився в межах від 25% до 45%, а похибка – від 2,5% до 4,5%.

7. За результатами науково – виробничої перевірки фрези МФ-1М, швидкість якої знаходилась в межах від 0,5 м/с до 0,7 м/с встановлено, що:

- кількість середньої фракції ґрунту в пристовбурній смузї (розмір ґрунтових агрегатів від 0,25 мм до 10 мм) до обробітку ґрунту в середньому складала 0,51, а після обробітку фрезою дорівнювало 0,70. При цьому щільність ґрунту зменшилась на 76,4% и становила  $0,65\text{ г/см}^3$ ;

- полоса, яка оброблялась збільшувалась з однієї сторони в середньому на 14 см (за теоретичними розрахунками 16 см), що не перевищує значень нормативних вимог;

- знищення бур'янів досягало 90% при щільності рослин 100 -120 шт. на 1 м<sup>2</sup> з видаленням їх кореневої системи;

- заселення гризунами насаджень, пристовбурні смуги яких були оброблені фрезою знизилось в три рази і не перевищувало 2 нори на 10 м<sup>2</sup>;

- середнє напрацювання фрези на технічну відмову досягало 500 мото-год., що перевищувало вимоги нормативної документації в 3 рази.

8. Застосування модернізованого зразка фрезерної машини МФ-1М з запропонованими робочими органами надає можливість за рахунок зменшення прямих експлуатаційних витрат заощадити на кожному гектарі оброблюваної площі не менше 226 грн. в порівнянні з базовим зразком, або 36612 грн./рік при сезонному навантаженні 162га

## 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. Иванов В.Ф. Почвы и плодовые растения. – М.: Агропромиздат, 1986. – 157с,
4. Канивец И.И. Почвенные условия и рост многолетних насаждений. – Кишинев: Картя молдовеняске, 1960. – 543с.
5. Попович П.Д. Придатність ґрунтів під сади і ягідники/ П.Д. Попович, В.А. Джамаль, Н.Г. Ільчишина та ін. – К.: Урожай 1981. – 166с.
6. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України /редкол.: М.В.Зубець (голова) та ін. – К.: Аграрна наука, 2010. – 986с.
7. Рульєв В. А. Садівництво півдня України / В. А. Рульєв. - Запоріжжя: Дике Поле, 2003.- 240с.
8. Шабанова Л.С. Рекомендации по системе содержания почвы в орошаемых садах юга УССР. Г.Запорожье. «Коммунар» 1988
9. Бублик М.О. Методологічні та технологічні основи підвищення продуктивності сучасного садівництва – К.: Нора-Друк, 2005. \_ 288с.
10. Иванов С.В. Системы содержания и обработки почвы в саду // Садоводство. – 2008. - № 11. – С. 44 - 46
11. Васкан Г.К. Содержание почвы в садах / Г.К. Васкан – Агроуказания по плодоводству. – Кишинев: Картя Молдованяскэ. – 1975
12. Аскеров С.Н. Разработка технологии и технического средства для приствольной-межствольной обработки почвы в садах. Автореф. дисс, работы на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Кировабад, 1983, с. 23.

13. Воробьев. В.Ф. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В.Ф. Воробьев. - Москва : Росинформ-агротех. - 2012. 163 с.

14. Патент RU 2137328 A01B79 Способ обработки почвы в садах/ Манаенков А.Н. Манаенков К.А., Россия, 1999

15. Кирьянов И.Г. Температура почвы при различных способах содержания / И.Г. Кирьянов // Садоводство. - 1989. - №7. - с. 16 – 17

16. Московский В.Б. Исследовать и разработать вертикальную фрезу для борьбы с сорняками в приствольных полосах садов интенсивного типа. Отчет Молдав. НИИП НПО "Кодру", В Гос. рег. 77С73682, Кишинев, №81, с. 291-293.

17. Алыев Р.А., Гасанов М.М. Результаты исследований работы выносной фрезы с вертикальной осью вращения. Сб. тр. молодых ученых АЗНИИМЭСХ, вып. 3, Кировабад, 1976, с. 167-169.

18. Гордеев, Б.С. Механизация работ в плодовых, ягодных и лесных питомниках: учебное пособие / Б.С. Гордеев, В.А. Хандриков, К.А. Грубов; федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего проф. образов. «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ», 2015. – 128 с. ISBN 978-5-94279-241-1.

19. Саньков С.М. Фреза с вертикальной осью вращения для обработки присвольных полос в саду / С.М.Саньков, В.И.Цимбал //Садоводство и виноградарство. – Москва: 2003. –№4.– С.9 -10.

20. Караев А. И. Метод системного анализа механизированных технологий в орошаемом садоводстве/ А. И. Караев // Техника АПК - 2000 р. - №2. – С.6-8.

21. Аниферов Ф. Е. Машины для садоводства/Ф. Е. Аниферов, Л. И. Ерошенко, И. З. Теплинский.- 2-еизд., перераб. и доп.- Л.: Агропромиздат. Ленингр.отд-ние,1990.- 304 с., ил.- (Учебники и учеб. пособия для подготовки кадров массовых профессий). ISBN 5-10-000072-4.

22. Перемет П. Догляд за садом / П. Перемет – К. : Урожай. - 1974, - 200с.
23. Беренштейн А.Б. Садам комплексную механизацию. – Симферополь.; Крым. – 1969, С.25-26.
24. Аниферов Ф.Е. Машины для садоводства. – М.: Колос. 1976. – С. 93-117.
25. Протасов В.Т., Утков В.Л. Работы в садах. - М.: Россельхозиздат, 1975
26. Режим доступа: [www.maschionet.com](http://www.maschionet.com).e-mail:com
27. Рациональная обработка почвы в садах: Справочник-определитель /Пильщиков Ф.Н.- М.: Изд-во МСХА, 1992.
28. Гасанов, Мадат Мамед-Гасан оглы. Фрезерная обработка почвы с обходом кустов в фундучных садах. Автореф. дисс, работы на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Кировобад, 1984.
29. Механізація робіт у садівництві, овочівництві і виноградарстві. Під ред канд. техн. наук Демидко М.О. - К.: Урожай, 1974. - 240 с.
30. Карпенко А.Н., Зеленев А.А., В.М. Халанский Сельскохозяйственные машины.- Изд. 3-е перераб. и доп.- М.: Колос, 1975
31. 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, 1992.
32. Агабейли Т.А. Исследование существующих машин по уходу за садами с целью определения их пригодности к условиям Кубанской зоны Аз. ССР. Отчет заключительный. Кировабад, 1967, с. 49.
33. Режим доступа: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/V15T2.html>.
34. Караев А.И. Обработка почвы в приствольных полосах многолетних насаждений фрезерной машиной /А.И. Караев, С.М.Саньков, А.Ф.Сафонов //Садоводство и виноградарство. – Москва: 1998. –№1.– С.12 -13.
35. Завражнов А.И./ Механизация обработки межствольных полос в слаборослых садах/ А.И. Завражнов, К.А.Манаенков //Садоводство и виноградарство. – Москва: 1997. –№1.– С.10 -11.
36. Якість ґрунтів. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362: 2004.-

[чинний від 2006-01-01].- К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 19с. – (національний стандарт України)

37 А.с 1464913. МКИ5 А 01 В 39/16. Устройство для автоматического управления сельскохозяйственным агрегатом. /Рабинович М.М. СССР/.-4с.

38. А.с 886870. МКИ4 А 01 В 39/16. Устройство для управления рабочими органами при обходе растений./СеребряковВ.В, Хорошовин В.Н. СССР/. - 4с.

39. А.с 82865. МКИ4 А 01 В 39/16. Устройство для обработки приствольных полос в рядах. /Поздняков А.А. СССР/. – 4с.

40. А.с 940672. МКИ4 А 01 В 69/04. Копирующий щуп для автоматического направления движения сельскохозяйственного агрегата. /Тимошенко В.С, Кравченко С.Ф,Файбурд Г.Н. и др. СССР/. – 4с.

41. А.с 1727571. МКИ5 А 01 В 39/16. Устройство для автоматического управления сельскохозяйственным агрегатом.

42. Агабейли Т.А., Гасанов М.М. и др. Почвообрабатывающее орудие для обработки приствольной полосы в рядах плодовых деревьев. Авт. свид. СССР, № 731913. Бюлл. изобр., № 17, М., 1980.

43. Мостовский В.Б. Исследование процесса обработки приствольных полос в интенсивных садах вертикальными фрезами и обоснование типов и параметров их рабочих органов. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. УкрНИИМЭСХ, Киев, 1980, с. 22.

44. Пильщиков А.Д. и др. Фреза для обработки приствольных полос в плодовых садах. Изд. Чувашского межотраслевого территориального центра НТИ и П, информационный листок, № 121-75, Чебоксары, 1975, с. 4.

44. Клочков А.В. Программа выбора почвообрабатывающих орудий на ЭВМ. //Земледелие. - 1989. - №8 .- С. 64 - 65.

45. А.с 1528350. МКИ5 А 01 В 39/16. Устройство для прополки сорняков в рядах сельскохозяйственных культур. /Абрамович И.С. СССР/. – 4с.

46. А.с 1535398. МКИ5 А 01 В 39/16. Устройство для обработки почвы в рядах растений. /Иванов Г.П. СССР/. – 5с.



47. Устройство для прополки межкустового пространства в виноградниках. Заявка Франция. 2630292. МКИ4 А 01G 17/00.

48. А.с 1561850. МКИ5 А 01 В 39/16. Культиватор для обработки почвы в рядах растений. /Худолий А.В. СССР/ . – 4с.

49. Устройство для обработки почвы в рядах многолетних насаждений. Патент Румыния. 2021650. МКИ5 А 01 В 39/16.

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

51. Ротационный культиватор. Заявка Франция. 2630879. МКИ5 А 01 В 33/06.

52. А.с 1482549. МКИ5 А 01 В 59/04. Почвообрабатывающее орудие. /Гергвадзе И.Д. СССР/. – 5с.

53. Ротационная борона. Заявка. ЕПВ. 0307505 МКИ А 01 В 33/06, А 01 В 33/14.

54. А.с 1537153. МКИ5 А 01 В 33/06. Почвообрабатывающее орудие. /Дитра В.П. СССР/. – 4с.

55. Бушуев И.М, Лопарев В.Ф. Фрезерные орудия. //Картофель и овощи. – 1989. - №2. – С. 40-41.

56. 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.

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

58. [http://mathprofi.ru/dlina\\_dugi\\_krivoi.html](http://mathprofi.ru/dlina_dugi_krivoi.html)

59. Юрченко И.К. Профилирование очерка днища ковша роторного траншейного экскаватора. / И.К. Юрченко // Прикладная геометрия и инженерная графика. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 23. Киев, «Будівельник», 1977, С.67-69

60. 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.

61. Гячев Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности /Л.В.Гячев //Труды Азово-черноморского института механизации сельского хозяйства. – зерноград, 1961 - Выпуск 13.

62. Гячев Л.В. Метод проектирования линейчатых поверхностей отвалов // Вопросы деформируемых тел.- Ростов-на-Дону, 1972.-С.3-9.

63. Гячев Л.В. Основы теории и расчета лемешно-отвальных поверхностей / Алтайский политехнический институт им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 1989. – 91с.

64. Гернет М.М. Курс теоретической механики./ М.М.Гернет.- Учебник для вузов.- 4-е изд. перераб. и сокр.- М.: Высшая школа, 1981.-304с

65. Методы оптимизации в химической технологии / под общей ред. чл.-корр. АН СССР В.В. Кафарова. – М.: Химия, 1969. – 564с.

66. 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>

67. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическим способом. – М.: Машиностроение. 1968. – 210с.

68. Оптимизация ротора и транспортирующей поверхности: Научный отчет МИМСХ; руководитель В.М.Найдыш.- № г. Мелітополь, Запорожская обл.- 1989.-53с.

69. Лузин Н.Н. Дифференциальные исчисление / Н.Н.Лузин.- М.; Советская наука, 1955.

70. Колемаев В.А. Теория вероятности и математическая статистика: Учеб. пособие для экон. спец. вузов/ В.А.Колемаев, О.В.Староверов, В.Б.Турундаевский и др.; Под ред В.А. Колемаева.- М.: Высшая школа, 1991.- 400с.
70. Зеленин А.Н. Резание грунтов. – М.: Академкнига, 1959.- 265с.
71. Ачеркан Н.С. Справочник машиностроителя в 6-ти томах. Том 2./ Н.С. Ачеркан -М.: Машиностроение.- 1960.
72. Амелькин Н.И. Кинематика и динамика твердого тела / Н.И. Амелькин.- М.:МФТИ.-2000
73. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Часть II. Динамика.- М.: Высшая школа, - 1966.
74. Томашинський З.М. Поліпшення родючості ґрунтів і підвищення продуктивності сільськогосподарських культур: навч. посіб./ З.М. Томашинський. – Львів: ЛДСГІ, 2015.-149с.
75. Б.Г. Штепа Механизация полива:Справочник /Штепа Б.Г., Носенко В.Ф, Винникова Н.В. и др.- М.: Агропромиздат, 1990.- 336 с.
76. Воронин Н.Г. Орошаемое земледелие / Н.Г.Воронин – М.: Агропромиздат, 1989.- 336 с.
77. Розанов Б. Г. Морфология почв: Учебник для высшей школы./ Б. Г. Розанов— М.: Академический Проект,- 2004
78. Вильямс В. Почвоведение (Земледелие с основами почвоведения) / В. Вильямс – М. – 1949.
79. Грунты. Методы определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536 – 79.- [ переиздан в 1988-01-01].-М.: Издательство стандартов, 1988. – 24 с.
80. Адлер Ю.П., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.-М.:Наука, 1976. – 281 с.
81. Дослідження сільськогосподарської техніки: практикум науковцю / В.І. Кравчук, Г.А. Хайліс, А.С. Кушнар'єв та інш. – Дослідницьке: УкрНДІПІТ ім..Л.Погорілого, 2015. -328 с.

82. Мойсюк Г.М. Элементы теории оптимального эксперимента.-М.: Моск.орд.Ленина энергетический и-т. 1976.- 87 с.
83. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное пособие.- М.: Наука, 1971.- 192 с.
84. Гмурман И.Э. Теория вероятностей и математическая статистика.- М.: Высшая школа, 1977.- 80 с.
- 85.Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процес сов.-2-изд. перераб. и доп.-Л.: Колос, 1980.-167 с.
86. Рубин С.С. Содержание почвы и удобрений в интенсивных садах. М.: Колос. – 1983
87. ОСТ 70.2.2.-73 Испытание сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки.- Введ. 01.01.74.-24с.
88. Васильев А.В. Раппорт Д.М. Тензометрирование и его применение при исследованиях тракторов.-М.: Машгиз. 1963.-338с.
89. КНД 46.16.02.08 – 95 .Техніка сільськогосподарська. Методика визначення умов випробувань.
90. Испытание сельскохозяйственных машин.-М.: Машиностроение, 1964.-281с.
91. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Исследование процессов дерево-обработки.-М.: Лесная промышленность, 1984.-220 с.
92. ОСТ 70.4.1 – 80. Испытание сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для обработки почвы. Программа и методы испытаний.- М.: Машгиз. 1981.-138 с.
93. ДСТУ ISO 11272 Якість ґрунту. Визначення щільності складення на суху масу.
94. Методы исследования физических свойств почв /А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: 1986.

95. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. (Грунти. Методи визначення вологості, максимальної гігроскопічної вологості та вологості тривкого в'янення рослин).

96. Коваленко П.І. Рациональное використання води при зрошенні / П.І. Коваленко, Михайлов Ю.О.. – К.: Аграрна наука, - 2000. – 154 с.

97. КД. 46.16.02.03-93. Техніка сільськогосподарська. Класифікаційні та конструкційні показники. Дослідницьке, - 1993.

98. Минько С.А. Результаты полевых испытаний фрезы для обработки почвы в приствольных полосах плодовых насаждений / С.А. Минько // Информационно-технический вестник. Финансово-технологический университет. – Королев.- № 2 (04) – 2015. – С. 111-114.

99. Чухно Д.Ф. Экономика садоводства. /Д.Ф.Чухно.- К.:Госсельхозиздат УССР.-1961.- 243 с.

100. Шестопись О.М. Відтворення та ефективність продуктивного використання плодкових і ягідних насаджень / О.М. Шестопись.- К.:Сільгоспосвіта.- 1994.- 256с.

101. Шестопись О.М. Промислове садівництво України: Напрямки відродження і подальшого поступу: Зб. наук. пр. Уманської держ. акад. / О.М. Шестопись.- Умань. – 2001.- Вип. 53.- С. 262 – 268.

102. Шестопись О.М. Методика економічної та енергетичної оцінки типів плодоягідних насаджень, помологічних сортів і результатів технологічних досліджень у садівництві. / О.М.Шестопись . – К.:ІАЕ.- 2002. – 133 с.

103. ДСТУ 4397-2005. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Сільськогосподарська техніка. – К. Держстандарт України, 2005.

## ДОДАТКИ

## **ДОДАТОК А**

**Опис і лістинг програми для розрахунку швидкостей руху частки ґрунту по поверхні ножа и визначення динамічних характеристик діючих сил**

## А.1. Опис програми

Для виконання розрахунків швидкостей руху частки ґрунту по поверхні ножа и визначення динамічних характеристик діючих сил за допомогою програмної оболонки Embarcadero RAD Studio 2009 було розроблено комп'ютерну програму. Вона складається з трьох форм.

Головна форма призначена для введення вихідної інформації, проведення розрахунків та виведення інформації о значеннях швидкостей у текстовому вигляді. Зовнішній вигляд головної форми наведено на рисунку А1.

f12	delta	alpha	S	Variant
0,867	0,014	0,2262	0,144	1

Обчислити      Графіки залежностей швидкості      Графіки сил

Omega1 R = 2,7 Mu = 0,2 variant 1  
швидкість 4,5400390625  
Omega1 R = 2,7 Mu = 0,4 variant 1  
швидкість 5,1513671875  
Omega1 R = 2,7 Mu = 0,6 variant 1  
швидкість 5,8095703125  
Omega1 R = 2,7 Mu = 0,8 variant 1  
швидкість 6,5009765625

Рис. А 1. Головна форма програми.



Після запуску програми необхідно заповнити вхідні дані (таблиці для кутової швидкості та коефіцієнту тертя заповнюються автоматично при натисканні кнопки «заповнити») та натиснути кнопку «Обчислити».

Для того, щоб відбулось обчислення коефіцієнтів сил, необхідно поставити галочку «розраховувати сили».

При натисненні на кнопки «Графіки залежностей швидкості» та «Графіки сил» викликаються відповідні форми виведення графічної інформації, зовнішній вигляд яких наведено на рисунках А2, А3. Виведення графіків швидкостей можливо у 2-х режимах: аргументом є швидкість ножа або коефіцієнт тертя.

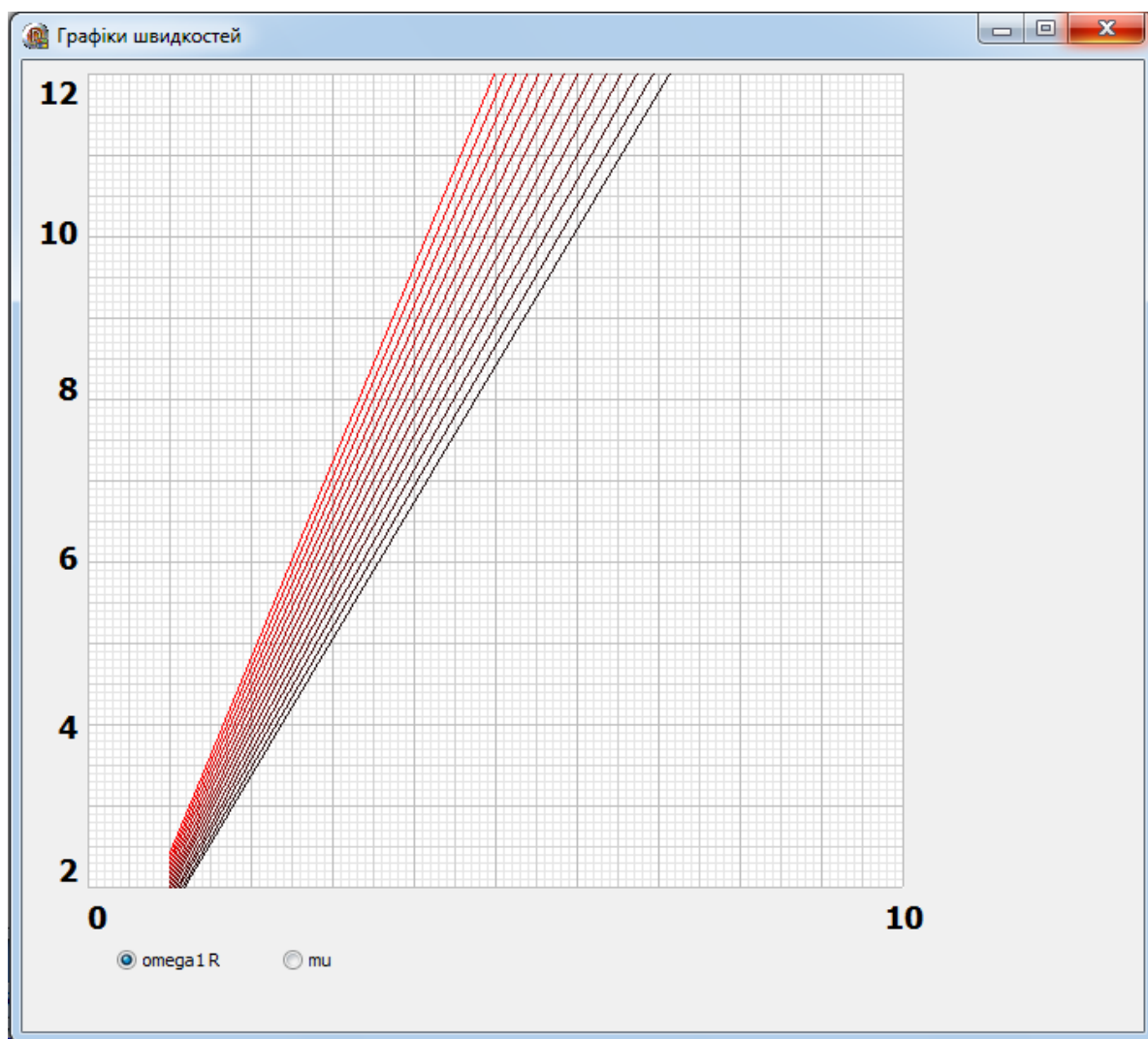


Рис. А 2. Форма графіків швидкостей.

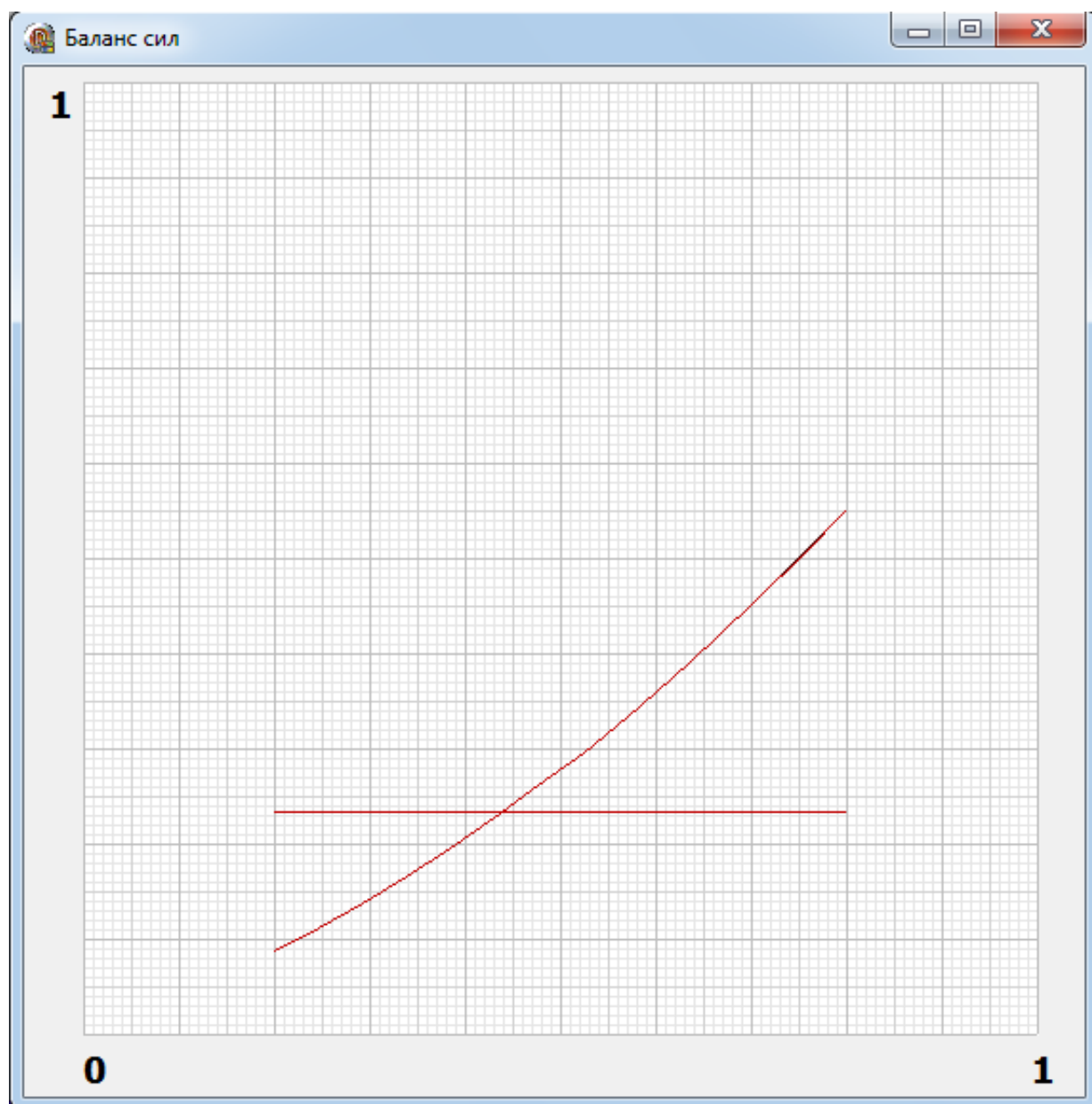


Рис. А. 3 Форма графіків сили

## A.2. Лістинг програми (вихідні коди)

### Unit 1

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, Spin, Grids, StdCtrls;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
  Edit2: TEdit;
```

```
  Edit3: TEdit;
```

```
  Label2: TLabel;
```

```
  Label3: TLabel;
```

```
  Label4: TLabel;
```

```
  StringGrid1: TStringGrid;
```

```
  SpinEdit1: TSpinEdit;
```

```
  SpinEdit2: TSpinEdit;
```

```
  Label5: TLabel;
```

```
  StringGrid2: TStringGrid;
```

```
  Button1: TButton;
```

```
  Memo1: TMemo;
```

```
  Label6: TLabel;
```

```
  StringGrid3: TStringGrid;
```

```
  SpinEdit3: TSpinEdit;
```

```
  Label1: TLabel;
```

```
  Label7: TLabel;
```

```
  Edit1: TEdit;
```

```
  Edit4: TEdit;
```

```
  Button2: TButton;
```

```
  Button3: TButton;
```

```
  Edit5: TEdit;
```

```
  Edit6: TEdit;
```

```
  Button4: TButton;
```

```
  CheckBox1: TCheckBox;
```

```
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
```

```
  procedure SpinEdit1Change(Sender: TObject);
```

```
  procedure SpinEdit2Change(Sender: TObject);
```

```
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
  procedure SpinEdit3Change(Sender: TObject);
```

```
  procedure Button2Click(Sender: TObject);
```

```

    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    Form1: TForm1;
    finishVelocities: array of array of real;
    moveForce: array of real;
    frictionForce:array of array of real;

implementation

uses unit2, unit3;

{$R *.dfm}

function equal(a, b, s,root:real):real;
begin
    result := a * root - b * ln(abs(a * root + b)) - s * sqr(a) + b * ln(abs(b));
end;

function rootOf(a, b, s : real):real;
var root, minroot, maxroot, half:real;
    sign:real;
begin
    root := 0;
    if(equal(a, b, s, root)<0)then sign := 1 else sign := -1;
    while(equal(a, b, s, root) * sign < 0)do
        begin
            root := root + 1;
        end;

    minroot := root - 1;
    maxroot := root;
    while (maxroot-minroot>0.001) do
        begin
            root:=(maxroot + minroot)/2;
            if (equal(a, b, s, root)*sign < 0) then
                begin
                    minroot := root;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

    else
    begin
        maxroot := root;
    end;
end;

result := root;
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var i, j, k      : integer;
    omega1,r,r1,
    a,b, omega2,fi2,s,
    alpha,delta,mu  : real;
begin
    r := strtofloat(Edit2.Text); r1:= strtofloat(Edit3.Text);

    setlength(finishVelocities, SpinEdit1.Value);
    for I := 0 to SpinEdit1.Value - 1 do
    begin
        setlength(finishVelocities[i], SpinEdit3.Value);
    end;

    setlength(frictionForce, SpinEdit3.Value); //moveForce
    for I := 0 to SpinEdit3.Value - 1 do
    begin
        setlength(frictionForce[i], SpinEdit1.Value);
    end;

    setlength(moveForce, SpinEdit3.Value);

    for j := 1 to SpinEdit2.Value do
    begin
        fi2 := strtofloat(StringGrid2.Cells[0,j]);
        delta :=strtofloat(StringGrid2.Cells[1,j]);
        alpha :=strtofloat(StringGrid2.Cells[2,j]);
        s :=strtofloat(StringGrid2.Cells[3,j]);
        for k := 0 to SpinEdit3.Value - 1 do
        begin
            omega1 := strtofloat(StringGrid3.Cells[0, k]) / r;
            moveForce[k] := r1 * fi2/((fi2 - alpha) * (fi2 - alpha)) -
                (r - delta) * sin(alpha);
            for I := 0 to SpinEdit1.Value - 1 do
            begin
                mu:=strtofloat(StringGrid1.Cells[0,i]);

```

```

Memo1.Lines.Add('Omega1 R = ' + StringGrid3.Cells[0, k] +
                ' Mu = ' + StringGrid1.Cells[0,i] +
                ' variant ' + inttostr(j));

    omega2:=fi2 * omega1 / (fi2-alpha);
    a:=2*mu*omega2;
    b:=sqr(omega2)*r1/fi2 - sqr(omega1)*(r-
delta)*(sin(alpha)+mu*cos(alpha));

    finishVelocities[i][k] := rootOf(a, b, s);
    frictionForce[k][i] := (2 * finishVelocities[i][k] / omega1 - (r-
delta)*cos(alpha)) * mu;

    Memo1.Lines.Add('швидкість ' + floattostr(finishVelocities[i][k]));
end;
end;
end;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var min, max : real;
    i : integer;
begin
    min := strtofloat(Edit1.text);
    max := strtofloat(Edit4.text);
    if (SpinEdit3.Value = 1) then
        begin
            StringGrid3.Cells[0,0] := floattostr(min);
        end
    else
        for i := 0 to SpinEdit3.Value - 1 do
            begin
                StringGrid3.Cells[0,i] := floattostr(min + (max - min) * i / (SpinEdit3.Value -
1));
            end;
        end;

    min := strtofloat(Edit5.text);
    max := strtofloat(Edit6.text);
    if (SpinEdit1.Value = 1) then
        begin
            StringGrid1.Cells[0,0] := floattostr(min);
        end
    else
        for i := 0 to SpinEdit1.Value - 1 do

```

```

begin
  StringGrid1.Cells[0,i] := floattostr(min + (max - min) * i / (SpinEdit1.Value -
1));
end;
end;

```

```

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
form2:=tform2.Create(owner);
form2.ShowModal;
end;

```

```

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
form3:=tform3.Create(owner);
form3.ShowModal;
end;

```

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
StringGrid2.Cells[0,0]:='fi2';
StringGrid2.Cells[1,0]:='delta';
StringGrid2.Cells[2,0]:='alpha';
StringGrid2.Cells[3,0]:='S';
StringGrid2.Cells[4,0]:='Variant';

```

```

{
StringGrid2.Cells[0,1] := '0,238';
StringGrid2.Cells[1,1] := '0,001';
StringGrid2.Cells[2,1] := '0,0522';
StringGrid2.Cells[3,1] := '0,031';
StringGrid2.Cells[4,1]:='1';

```

```

StringGrid2.Cells[0,2] := '0,459';
StringGrid2.Cells[1,2] := '0,003';
StringGrid2.Cells[2,2] := '0,1566';
StringGrid2.Cells[3,2] := '0,06';
StringGrid2.Cells[4,2]:='2';

```

```

StringGrid2.Cells[0,3] := '0,714';
StringGrid2.Cells[1,3] := '0,009';
StringGrid2.Cells[2,3] := '0,1914';
StringGrid2.Cells[3,3] := '0,094';
StringGrid2.Cells[4,3]:='3';    }

```

```

StringGrid2.Cells[0,1] := '0,867';
StringGrid2.Cells[1,1] := '0,014';
StringGrid2.Cells[2,1] := '0,2262';
StringGrid2.Cells[3,1] := '0,144';
StringGrid2.Cells[4,1]:='1'; // 4
end;

procedure TForm1.SpinEdit1Change(Sender: TObject);
begin
  StringGrid1.RowCount := SpinEdit1.Value;
end;

procedure TForm1.SpinEdit2Change(Sender: TObject);
var i:integer;
begin
  StringGrid2.RowCount := SpinEdit2.Value + 1;
  for i := 1 to SpinEdit2.Value do StringGrid2.Cells[4,i] := inttostr(i);
end;

procedure TForm1.SpinEdit3Change(Sender: TObject);
begin
  StringGrid3.RowCount := SpinEdit3.Value;
end;

end.

```

## Unit 2

```

unit Unit2;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TForm2 = class(TForm)
    Image1: TImage;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    RadioButton1: TRadioButton;
    RadioButton2: TRadioButton;

```



```

Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form2: TForm2;

implementation
  uses unit1;
  {$R *.dfm}

procedure TForm2.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
  action:=caFree;
end;

procedure TForm2.FormShow(Sender: TObject);
var i , j : integer;
    minx, maxx : real;
begin
  Image1.Picture := nil;
  image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(230,230,230);
  for i := 0 to 100 do
    begin
      Image1.Canvas.MoveTo(0 , 5 * i);
      Image1.Canvas.LineTo(500 , 5 * i);
      Image1.Canvas.MoveTo(5 * i, 0);
      Image1.Canvas.LineTo(5 * i,500);
    end;
  image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(210,210,210);
  for i := 0 to 20 do
    begin
      Image1.Canvas.MoveTo(0 , 25 * i);
      Image1.Canvas.LineTo(500 , 25 * i);
    end;
  end;
end;

```

```

Image1.Canvas.MoveTo(25 * i, 0);
Image1.Canvas.LineTo(25 * i,500);

end;
image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(190,190,190);
for i := 0 to 10 do
begin
Image1.Canvas.MoveTo(0 , 50 * i);
Image1.Canvas.LineTo(500 , 50 * i);
Image1.Canvas.MoveTo(50 * i, 0);
Image1.Canvas.LineTo(50 * i,500);
end;

Label3.Caption:='0';
if (RadioButton1.Checked) then
begin
Label4.Caption:='10';
minx := strtofloat(form1.Edit1.Text);
maxx := strtofloat(form1.Edit4.Text);
for i := 0 to form1.spinedit1.value - 1 do
begin
image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(trunc(255 * (i + 1)/form1.spinedit1.value),0,0);
for j := 0 to form1.spinedit3.value - 2 do
begin
Image1.Canvas.MoveTo( round( 500 * ( (maxx - minx) * j
/(form1.spinedit3.value - 1)/10 +
minx / 10))
, trunc(500 - 500 * (finishVelocities[i][j] - 2)
/ 10
));
Image1.Canvas.LineTo(round(500 * ( (maxx - minx) * (j + 1)
/(form1.spinedit3.value - 1)/10 +
minx / 10) ),
trunc(500 - 500 * (finishVelocities[i][j+1] - 2)
/ 10
));
end;
end;
end
else
begin
Label4.Caption:='1';
minx := strtofloat(form1.Edit5.Text);
maxx := strtofloat(form1.Edit6.Text);
for i := 0 to form1.spinedit3.value - 1 do

```

```

begin
  image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(trunc(255 * (i + 1)/form1.spinedit3.value),0,0);
  for j := 0 to form1.spinedit1.value - 2 do
    begin
      Image1.Canvas.MoveTo( round( 500 * ( (maxx - minx) * j
/(form1.spinedit1.value - 1) + minx))
        , trunc(500 - 500 * (finishVelocities[j][i] - 2) / 10 ));
      Image1.Canvas.LineTo(round(500 * ( (maxx - minx) * (j + 1)
/(form1.spinedit1.value - 1) + minx) ),
        trunc(500 - 500 * (finishVelocities[j+1][i] - 2) / 10 ));
    end;
  end;
end;
end;
end;

procedure TForm2.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
  FormShow(Sender);
end;

procedure TForm2.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
  FormShow(Sender);
end;

end.

```

### Unit 3

```

unit Unit3;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TForm3 = class(TForm)
    Image1: TImage;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
  end;

```

```

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

uses unit1;

{$R *.dfm}

procedure TForm3.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
  action:=caFree;
end;

procedure TForm3.FormShow(Sender: TObject);
var i , j : integer;
    minx, maxx : real;
begin
  Image1.Picture := nil;
  image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(230,230,230);
  for i := 0 to 100 do
    begin
      Image1.Canvas.MoveTo(0 , 5 * i);
      Image1.Canvas.LineTo(500 , 5 * i);
      Image1.Canvas.MoveTo(5 * i, 0);
      Image1.Canvas.LineTo(5 * i,500);
    end;
  image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(210,210,210);
  for i := 0 to 20 do
    begin
      Image1.Canvas.MoveTo(0 , 25 * i);
      Image1.Canvas.LineTo(500 , 25 * i);

      Image1.Canvas.MoveTo(25 * i, 0);
      Image1.Canvas.LineTo(25 * i,500);

    end;
  image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(190,190,190);
  for i := 0 to 10 do

```

```

begin
  Image1.Canvas.MoveTo(0 , 50 * i);
  Image1.Canvas.LineTo(500 , 50 * i);
  Image1.Canvas.MoveTo(50 * i, 0);
  Image1.Canvas.LineTo(50 * i,500);
end;

minx := strtofloat(form1.Edit5.Text);
maxx := strtofloat(form1.Edit6.Text);
for I := 0 to form1.SpinEdit3.Value - 1 do
begin
  Image1.Canvas.Pen.Color:=rgb(trunc(255 * i/form1.SpinEdit3.Value),0,0);
  for j := 0 to form1.spinedit1.value - 2 do
  begin
    Image1.Canvas.MoveTo(round(500 * ((maxx - minx) * j
/(form1.spinedit1.value - 1) + minx))
      , trunc(500 - 500 * moveForce[i]));
    Image1.Canvas.LineTo( round(500 * ((maxx - minx) * (j + 1)
/(form1.spinedit1.value - 1) + minx))
      , trunc(500 - 500 * moveForce[i]));
    Image1.Canvas.MoveTo(round(500 * ((maxx - minx) * j
/(form1.spinedit1.value - 1) + minx))
      , trunc(500 - 500 * frictionForce[i][j] ));
    Image1.Canvas.LineTo(round(500 * ((maxx - minx) * (j + 1)
/(form1.spinedit1.value - 1) + minx) ),
      trunc(500 - 500 * frictionForce[i][j+1] ));
  end;
end;

end;

end.

```

## **ДОДАТОК Б**

**Копії документів впровадження результатів досліджень**