

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.01. – МР.2223 «С». 2023.12.07. 041. ПЗ

**ГЛИБОВЕЦЬ ВАДИМ РОМАНОВИЧ**

**2024**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Механіко-технологічний факультет**

УДК 629.3.012:631.333

**ПОГОДЖЕНО**  
Декан механіко-  
технологічного факультету  
\_\_\_\_\_ **В'ячеслав БРАТІШКО**  
(підпис)

«    » листопада 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
сільськогосподарських  
машин та системотехніки імені  
академіка П.М. Василенка  
\_\_\_\_\_ **Юрій ГУМЕНЮК**

(підпис)  
«    » листопада 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему: «**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЛИЦІ**  
**КОМБІНОВАНОГО КОРПУСУ ПЛУГА**»  
**01.01. – МР.2223 «С». 2023.12.07. 041. ПЗ**

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми:**

доктор технічних наук, професор

\_\_\_\_\_ **Братішко В.В.**  
(підпис)

**Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:**

канд. іст. наук, доцент

\_\_\_\_\_ **Деркач О.П.**  
(підпис)

**Виконав:**

\_\_\_\_\_ **Глибовець В.Р.**  
(підпис)

**Київ-2024**



4. Розрахунок економічної ефективності плуга з комбінованими корпусами.

Перелік графічних матеріалів:

Лист 1. Класифікація робочих органів комбінованих плугів.

Лист 2. Плуг з роторами начіпний. Складальне креслення.

Лист 3. Плуг з роторами начіпний. Схема кінематична.

Лист 4. Плуг з роторами начіпний. Схема функціональна.

Лист 5. Корпус плуга з активною полицею (ротором). Складальне креслення.

Лист 6. Розрахункова схема та математичні залежності для розрахунку основних параметрів ротора корпусу плуга.

Лист 7. Залежність радіуса ротора  $R_n$  від глибини обробітку  $a$  і висоти ротора  $h_p$ .

Лист 8. Залежність довжини різання стружки від поступальної швидкості агрегату при заданій величині і глибині обробітку.

Лист 9. Залежність степеня і глибини заробки рослинної маси від поступальної швидкості агрегата.

Лист 10. Техніко-економічні показники комбінованого плуга з активними полицями.

**Дата видачі завдання:** 14.09.2023 р.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:**

канд. іст. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Деркач О.П.  
(підпис)

**Завдання прийняв до виконання:**

\_\_\_\_\_ Глибовець В.Р.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Обґрунтування параметрів полиці комбінованого плуга» складається зі змісту, реферату, вступу, 4 основних розділів, 21 підрозділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Перший розділ є описовий і характеризує стан науки у питанні технологій обробітку ґрунту та розробок різних видів агрегатів та сільськогосподарських машин для вдосконалення цих технологій; розгляд машин та знарядь . Другий розділ розглядає питання математичного та теоретичного обґрунтування параметрів роботи робочого органа плуга – ротора, та взаємодії скиби ґрунту з поверхнею укороченого корпусу плуга та елементів ротора з ґрунтом. Третій розділ розглядає агротехнічні вимоги щодо виконання технологічної операції роторним плугом та результати проведених досліджень і параметри, які були отримані в ході обробки ґрунту новим плугом, будову та конструкцію плуга та ротора, охорону праці під час застосування плуга з активною полицею. Четвертий розділ характеризує економічну ефективність та доцільність використання комбінованого плуга.

У магістерській кваліфікаційній роботі є 2 додатки, кількість ілюстрацій – 50, 4 таблиці та 21 використане джерело. Обсяг даної роботи складає 81 сторінка.

Ключові слова – плуг, ротор, ніж, корпус, вал, привід, передача, агрегат.

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	5
<b>ЗМІСТ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1. ВИДИ І ТИПИ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА АГРЕГАТИ ДЛЯ ЙОГО ВИКОНАННЯ</b> .....	11
1.1. Види і типи обробітку ґрунту та тенденції їх вдосконалення .....	11
1.2. Аналіз сільськогосподарських агрегатів, робочі органи яких приводяться від валу відбору потужності .....	14
1.3. Технологічні передумови зі створення плуга з активною полицею .....	16
1.4. Агротехнічні вимоги до плугів з активними полицями .....	17
1.5. Історичний аналіз конструкцій плугів з активними полицями .....	18
1.6. Аналіз досліджень по обґрунтуванню параметрів і режимів роботи комбінованого робочого органа плуга .....	25
1.7. Висновки до розділу .....	25
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ КОРПУСУ ПЛУГА З АКТИВНИМИ ПОЛИЦЯМИ</b> .....	27
2.1. Агротехнічні вимоги, що пред'являються до виконання технологічного процесу оранки комбінованим плугом .....	27
2.2. Дослідження руху скиби ґрунту по лемішно-полицевій поверхні вкороченого корпусу плуга .....	28
2.3. Обґрунтування параметрів розташування активного ротора відносно пасивного корпусу плуга .....	31
2.4. Математичні залежності для розрахунку конструктивних параметрів ротора з ножами .....	36
2.5. Зусилля подрібнення ґрунту робочими елементами ротора .....	41
2.6. Довжина шляху різання стружки .....	43
2.7. Питома робота і потужність .....	47
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЛУГА</b> .....	49
3.1. Обґрунтування загальної схеми комбінованого плуга з корпусами, що мають активні полиці .....	49
3.2. Агротехнічні показники експериментальних досліджень .....	53
3.3. Енергетичні показники роботи плуга з корпусами, що мають активні полиці .....	55

3.4. Дослідження впливу режимів роботи комбінованого плуга на якість обробітку ґрунту .....	57
3.5. Експлуатаційно-технічні показники .....	59
3.6. Охорона праці при роботі з плугом.....	60
3.7. Висновки до розділу .....	61
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПЛУГА.....</b>	<b>63</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>72</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>74</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>76</b>

## ВСТУП

Актуальність теми полягає у тому, що сільське господарство є надважливою складовою для забезпечення населення харчовими продуктами. Кожному відомі такі сільськогосподарські культури як пшениця, гречка, просо, кукурудза, соя і т.п., проте слід зауважити, що можливість їх вирощувати забезпечується низкою технологічних операцій. Серед таких операцій головну частину займає передпосівний обробіток та обробіток після збору врожаю.

У агровиробництві існує низка технологій обробітку ґрунту, проте сучасні кліматичні умови, які включають в себе опади, температуру повітря; стан родючого шару ґрунту (гумусу); вологість ґрунту та інші, потребують вдосконалення та створення нових підходів і способів для обробітку ґрунту. Для цього інженери і науковці розробляють нові технології обробітку та нові види комбінованих агрегатів, використання яких дає можливість обробляти ґрунт згідно агротехнічних вимог, які сформувалися в сучасній агросфері.

Поверхня ґрунту кожної окремо взятої природної зони має свої особливості. Насамперед обробіток ґрунту дозволяє знищити бур'ян, який буде заважати та глушити с.г. культури, та подрібнити його; створити передпосівне ложе для насінин, подрібнити та перемішати шари ґрунту з необхідними добривами. У передпосівному обробітку ґрунту головною і основною частиною є оранка. За традицією оранка виконувалася плугом з лемішно-відвальним корпусом, який підрізав та перевертав скибу ґрунту, проте було застосовано нову конструкцію плуга, який ефективно виконував оранку. В конструкції даного плуга застосували традиційний лемішний корпус разом із роторами. Це дозволило якісно подрібнювати ґрунт.

Даний плуг мав виконувати всі задачі, які ставилися перед звичайним плугом, тому проводилася низка дослідів, щодо повноти перевертання скиби ґрунту, подрібнення ґрунту та якість заробки рослинних решток в ґрунт. Конструкція плуга передбачала використання універсальних робочих елементів, які могли б обробити різні види ґрунтів, враховуючи вологість та твердість.

При традиційному передпосівному обробітку застосовувався певна кількість сільськогосподарських машин, що потребувало додаткового часу на встановлення обладнання на енергетичний засіб. Це потребувало витрат палива, що в свою чергу впливало на вартість вирощування продукції, що в свою чергу впливало на ціну продажу населенню.

Особливістю застосування комбінованого плуга є зменшення витрат та ефективне виконання технологічних операцій без застосування додаткової техніки для обробки ґрунту.

Особливості обробки ґрунту роторним плугом є об'єктом дослідження.

Форма вкороченого лемішного корпусу та конструкція роторів плуга є предметом досліджень.

Обґрунтувати режими роботи і конструкційні та технологічні параметри плуга, робочими органами якого є ротор з ножами – є метою цього дослідження.

Для обґрунтування режимів і параметрів комбінованого плуга необхідно:

- встановити усі відомі технології обробітку ґрунту, визначити переваги та недоліки кожної, та прослідкувати історію вдосконалення цих технологій з детальним аналізом того, що саме було вдосконалено;
- встановити, які застосовувалися агрегати для кожної технології, з урахуванням їх вдосконалення;
- провести аналіз агрегатів, робочі органи яких отримували енергію від вала відбору потужності;
- визначити тенденції створення та вдосконалення плугів з активними роторами;
- дослідити взаємодію скиби ґрунту з робочими органами комбінованого плуга;
- математично визначити залежності пов'язані з роботою ротора та його елементів (ножів);
- дослідити вплив режимів роботи плуга на якість оранки;
- провести лабораторно-полові дослідження з метою визначення енергетичних та експлуатаційно-технологічних показників;

- встановити агротехнічні вимоги щодо використання плуга з активними полицями;
- провести економічний розрахунок з метою визначення доцільності використання даної розробки та визначення економічного ефекту від її застосування;

Створення та використання плуга з роторами має забезпечити якісну оранку та зменшити енергоємність процесу обробки ґрунту.

## РОЗДІЛ 1. ВИДИ І ТИПИ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА АГРЕГАТИ ДЛЯ ЙОГО ВИКОНАННЯ

### 1.1. Види і типи обробітку ґрунту і тенденції їх удосконалення

Найважливішою функцією ґрунту є можливість отримувати продукти харчування, що в свою чергу забезпечує життєдіяльність людей та тварин. В більших масштабах забезпечує продовольчу безпеку держави. Гіппократ вважав: *«Підтримка родючості ґрунту має важливе значення для гармонійного розвитку людини, тварин і рослин»*. В більших масштабах родючість ґрунту впливає на продовольчу безпеку держави. Про це наголошував німецький вчений Юстус Лібіх: *«Причина виникнення і падіння націй пояснюється одним і тим же. Втрата родючості ґрунту обумовлює їх загибель, підтримка родючості – їх життя, багатство і могутність»*.

Для забезпечення родючості, високої якості ґрунту, насичення повітрям та поживними речовинами ґрунту, з метою знищення бур'янів та подальшого вирощування сільськогосподарських культур та отримання врожаю необхідна обробка ґрунту. Вона дозволяє створити сприятливі умови для висіву культур, створення умов для збереження вологи, створення необхідних параметрів поверхні поля та створити умови для більш ефективного використання с.г. техніки.

Для обробітку ґрунту в сільському господарстві наявна необхідна кількість технологій. В сучасних умовах землеробства необхідно звернути увагу на вдосконалення технологій обробітку ґрунту, а саме вдосконалення передпосівного обробітку, зменшення кількості обробок та її глибини, застосування комбінованих знарядь.

Основними технологіями обробітку ґрунту є обробка ґрунтообробними знаряддями, в конструкції яких передбачена лемішно-полицева та дискова поверхня робочого органу; мінімальна обробка та обробка для запобігання ерозії (рис.1.1).

Форма полиці корпусу плуга дозволяє перевернути підрізаний пласт ґрунту, що дає можливість знищити бур'ян.

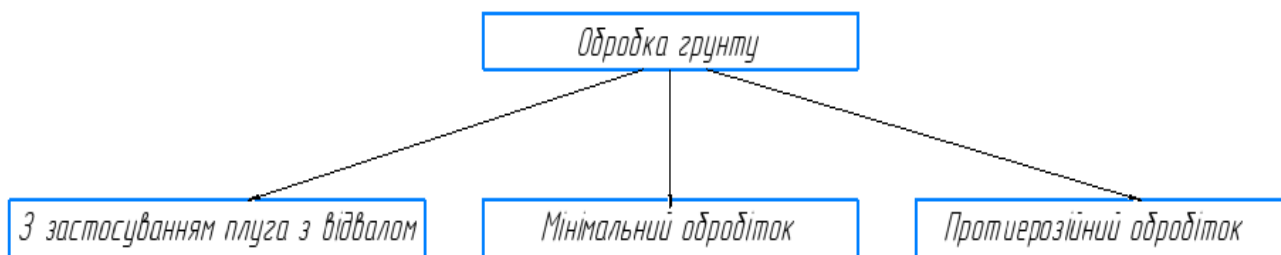


Рис.1.1 Технології обробітку ґрунту

Використання плуга з відвалом, яке представлено на рис.1.2, дає можливість перемішувати шари ґрунту. При цьому рослинні рештки потрапляють на дно борозни, що забезпечить поживними речовинами вирощувані культури.

В залежності від типу ґрунтів оранка має негативні і позитивні наслідки. Використання плуга з відвалом дає можливість перемішувати шари ґрунту. При перевертанні скиби ґрунту вивільняється волога та поживні речовини.



Рис.1.2 Обробіток ґрунту плугом

Проте на перезволожених ґрунтах обробка ґрунту плугом дозволяє швидше просушити та прогріти ґрунт для подальших робіт. При проходженні плуга залишається плужна підшва. При цьому необхідно застосувати додатково чизельний плуг.

Для покращення властивостей ґрунту, умов для висіву рослин та рівномірного розподілу добрив застосовують дискування або лушення. Дискування, виконання якого зображено на рис.1.3, дозволяє покрити велику

грудки ґрунту після оранки та сприяє кращому заробленню решток рослин та добрив.



Рис.1.3 Обробіток ґрунту – дискування

Мінімальна обробка ґрунту передбачає безвідвальну обробку, обробку плоскорізами, чизелями, що зображено на рис.1.4. Шар ґрунту залишається цілим, що дає можливість зберегти вологу.

Але ґрунти бідні на гумус потребують обробки ґрунту з оборотом пласта ґрунту для забезпечення переміщення та перемішування його шарів.

Для запобігання вітровій та водній ерозії в посушливих районах, застосовують обробіток ґрунту, який передбачає мінімальну кількість обробок або взагалі виключає оборот пласта ґрунту.



Рис.1.4 Обробіток ґрунту культиватором з стрільчастими лапами

В сільському господарстві набуває популярності такі технології як NO-Till та STRIP-Till. Обробіток ґрунту при використанні технологій NO-Till та STRIP-Till застосовується для збереження вологи та поживних решток в ґрунті.

При використанні даних технологій обробляється лише та частина ґрунту, в яку буде висіватися насіння с.г. культури. На рис.1.5 представлений обробіток ґрунту - STRIP-Till.



Рис.1.5 Технологія STRIP-Till

Для розпушування та рівномірної обробки ґрунту можна застосувати фрезерування. Застосування фрези дозволяє якісно подрібнити рослинні рештки та добрива, покращити повітрообмін в ґрунті.

Розглянувши існуючі технології обробітку ґрунту, можливо застосувати таку, яка б поєднувала в собі переваги всіх можливих технологій, а саме комбіновану обробку ґрунту.

## **1.2. Аналіз сільськогосподарських агрегатів, робочі органи яких приводяться від валу відбору потужності**

Більшість сучасних тракторів оснащені валами відбору потужності. ВВП є важливим механізмом для приводу багатьох сільськогосподарських агрегатів, починаючи від ґрунтообробних агрегатів, таких як культиватори, косарки, фрези, борони, пневматичні сівалки, розкидачі мінеральних та органічних добрив,

змішувачі та розкидачі кормів, та продовжуючи агрегатами для подрібнення соломи, гілок, листя тощо.



Рис.1.6 Розкидач мінеральних добрив з приводом від ВВП

Ґрунтообробними машинами виконуються різноманітні види обробітку ґрунту. Розглянемо ґрунтообробний агрегат - активну фрезу, яка представлена на рис.1.7.

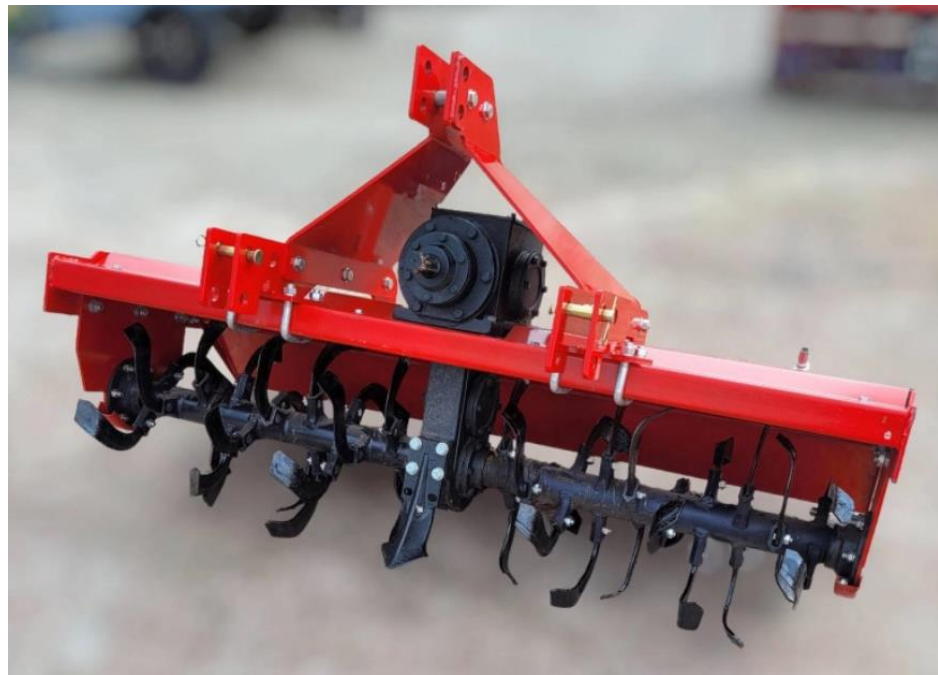


Рис. 1.7 Фреза з приводом від ВВП

Для забезпечення якісного обробітку верхніх шарів ґрунту з одночасним подрібненням рослинних решток та мінеральних чи органічних добрив на глибину 15-20см та перемішуванням ґрунту з добривами. Принцип роботи простий: від двигуна через вал відбору потужності передається крутний момент

через редуктор на активні ротори, елементами яких можуть бути лопатки або ножі. Ротори розташовані горизонтально до поверхні поля. Ножі (лопатки), обертаючись з певною частотою, подрібнюють ґрунт та бур'ян. Активною фрезою готують посівний шар ґрунту. В результаті поверхня поля відповідає агротехнічним вимогам.

Проте обробіток ґрунту можливий тільки на 10-20 см, враховуючи і те, що після обробітку ґрунту по полю буде проходити трактор з сівалкою, що додатково ущільнить ґрунт.

### **1.3. Технологічні передумови зі створення плуга з активною полицею**

Традиційно в сільському господарстві основним обробітком ґрунту є оранка, після якої додатково застосовують дискування та культивуацію.

При виконанні оранки застосовують плуг з лемішно-полицевими корпусом або дисковий плуг. Після проведення оранки важливо звернути увагу на вологість ґрунту, яка зменшується через короткотривалий проміжок часу, а міцність грудок ґрунту збільшується.

І відповідно після використання плуга застосовують дискові борони та культиватори для кришення грудок ґрунту, створення передпосівного шару ґрунту, а саме необхідної для висіву консистенції ґрунту.

Застосування комбінованого агрегату дає можливість покрити ґрунт в свіжому стані.

Застосування агрегату, в якому можна поєднати такі технологічні операції як оранка, дискування, культивуація також дає можливість ефективно використати час виконання операцій та потужність трактора.

При збільшенні кількості проходів технікою по полю та при виборі трактора з більшим тяговим класом вага трактора збільшується, що негативно впливає на властивості ґрунту, а саме ущільненість ґрунту, що в свою чергу негативно впливає на якість пророщення культур, а відповідно і врожайність.

При виконанні оранки, польова дошка плуга залишає підшву – ущільнений шар ґрунту, що змушує використовувати додаткові ґрунтообробні

знаряддя, що збільшує енергомісткість технологічної операції та затрати для обробітку ґрунту. Варто зазначити, що оптимальна щільність ґрунту для нормального пророщення рослин –  $1,45 \text{ г/см}^3$ .

Для ефективного використання потужності трактора та ефективного виконання технологічних операцій можна застосувати плуг з активним ротором, який приводиться в рух від валу відбору потужності.

Плуг з активним ротором дає можливість не виконувати додаткові технологічні операції – боронування, дискування, що в свою чергу зменшує кількість проходів трактора по поверхні ґрунту та менше його ущільнює.

#### **1.4. Агротехнічні вимоги до плугів з активними полицям**

Для отримання високих врожаїв і, як результат, високоякісної сільськогосподарської продукції необхідно якісно підходити до питання обробітку ґрунту.

Для забезпечення необхідного стану ґрунту до корпусів плугів навішують ротори, які дозволяють перемішувати підрізаний корпусом пласт ґрунту та подрібнювати бур'ян. Поверхня ґрунту має сприятливий стан для подальшої сівби.

Застосування плугів з активними роторами створює сприятливі умови для ощадливого використання енергоресурсів та термінів виконання технологічних операцій. Плугом з активним ротором забезпечується подрібненість ґрунту, збереження вологи та вирівнювання поверхні ґрунту.

Однією з основних характеристик плуга є тяговий опір, який в свою чергу зумовлений конструкцією плуга, вагою плуга, кількістю корпусів, станом ґрунту, глибиною обробітку тощо. Чим більше тяговий опір ґрунтообробного знаряддя, тим більший тяговий клас трактора має бути обраний для забезпечення переміщення агрегату. Тяговий опір плуга з активним ротором майже на третину менший, ніж тяговий опір плуга з відвалом.

Розробка та обґрунтування параметрів плуга з активними полицями є актуальною.

### 1.5. Історичний аналіз конструкцій плугів з активними полицями

Протягом багатьох років інженери намагаються замінити пасивний відвал плуга активним ротором, для зменшення втрат потужності на переміщення плуга, а саме сили тертя скиби ґрунту по корпусу.

Застосування плуга з активним ротором дає можливість подрібнювати ґрунт, який погано піддається подрібненню звичайним плугом.

Одна з перших розробок комбінованого плуга була конструкція пластоподрібнювача фірми «Форд». Конструкція складалася з плужного корпусу з рядами плоских ножів, які додатково подрібнювали ґрунт (рис.1.8).

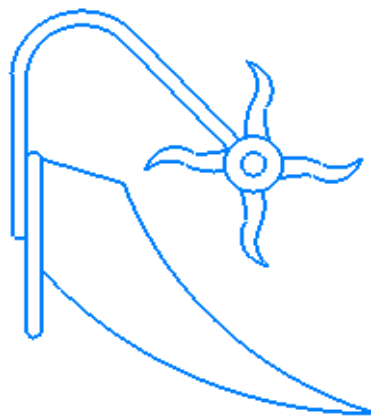


Рис.1.8 Плуг з ротором фірми «Форд»

Фірмою «М.Гаріс» був розроблений плуг, в якому застосували нову конструкцію комбінованого плуга, а саме застосування обертаючого ротора замість відвала плуга (рис.1.9).



Рис.1.9 Плуг з ротором фірми «М.Гаріс»

Одними з перших конструкторів, які сконструювали комбінований плуг нового покоління Ганс Раусендорф та Рейнгольц застосували в конструкції плуга

вертикальний шпindel, нижня частина представлена у вигляді дискового ножа (рис. 1.10). На шпинделі встановлений відвал сферичної форми. На поверхні ротора встановлюються ножі. Привід роторів відбувається від ВВП через клинопасову передачу.

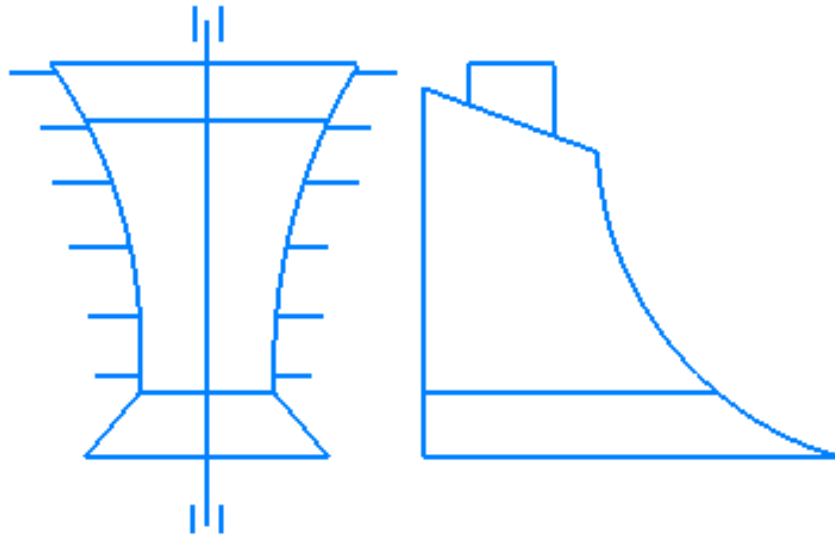


Рис.1.10 Плуг «Комбінус»

Також був розроблений плуг з активним робочим органом PF-3-35 в Польщі (рис.1.11).

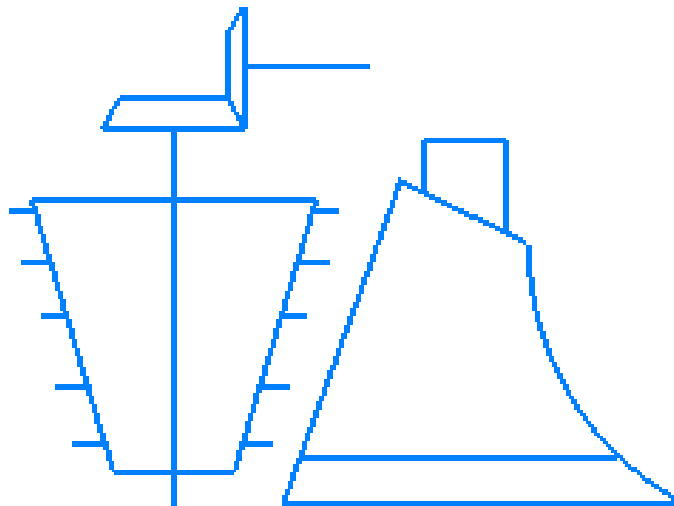


Рис.1.11 Плуг PF-3-35

Прикладом другого типу плугів з активним ротором є плуг японської фірми «Такакіта» (рис.1.12). Поєднання оранки з боронуванням в плугах «Такакіта» здійснюється при комбінуванні звичайних плужних корпусів і роторів з чотирма гвинтовими ножами, які мають привід від ВВП.

Для створення сприятливих умов застосування плугів з активними роторами варто врахувати конструкцію ротора. Конструкція ротора має бути сконструйована таким чином, щоб оброблювана поверхня ґрунту і сам ґрунт відповідали агротехнічним вимогам.

В залежності від взаємодії поверхні ротора з ґрунтом, плуги забезпечуються роторами з різними формами поверхні. А саме ротори з циліндричними, конічними та у вигляді кривих формами.

Елементами роторів можуть бути дискові або пруткові ножі, лопатки та зубила різної форми. Враховуючи те, що кожна ділянка ґрунту має свої агрофізичні властивості, і в залежності від напрямлення руху агрегату, ротори на плугу можна встановлювати під заданим кутом. Для забезпечення підрізання пласта ґрунту на плуг встановлюють вкорочений корпус з відвалом.

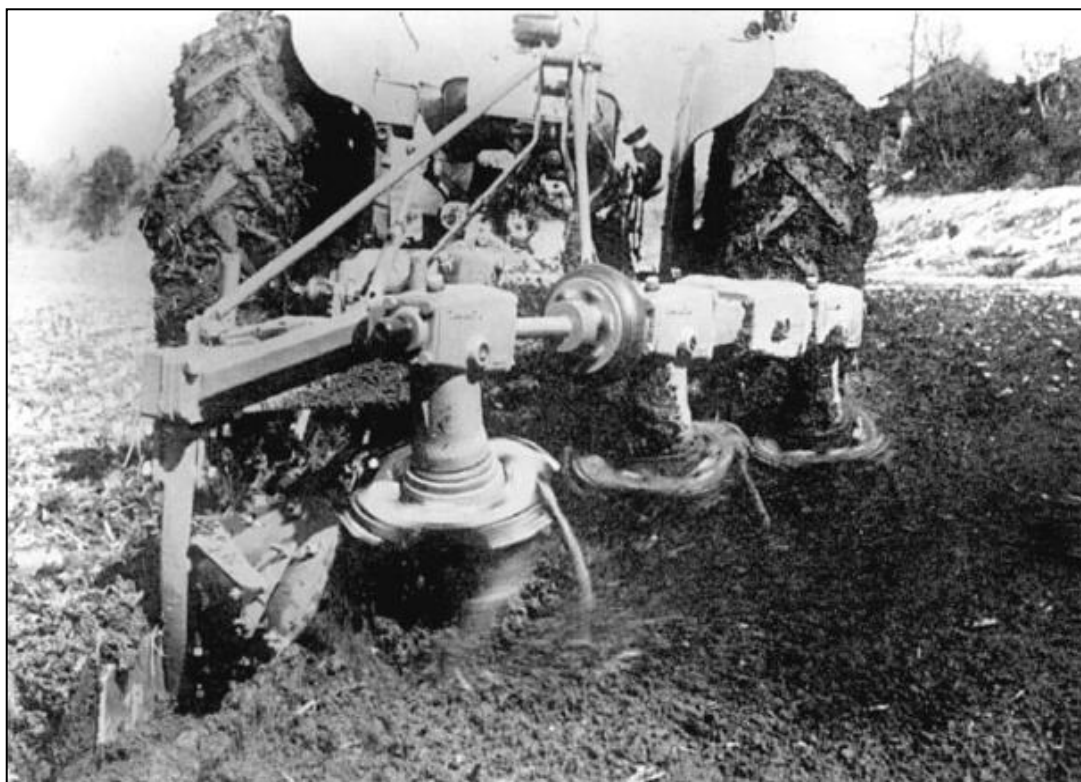


Рис.1.12 Плуг «Такакіта»

Низка досліджень плугів з роторами знайшла відображення в роботі науковців та інженерів-конструкторів, які розробили плуг, корпуси будова якого представляла ротор зі спіраллю. Ротор має форму конуса, спіраль якого має вигляд гвинтової і звужується доверху. Даний ротор зображено на рис.1.13.

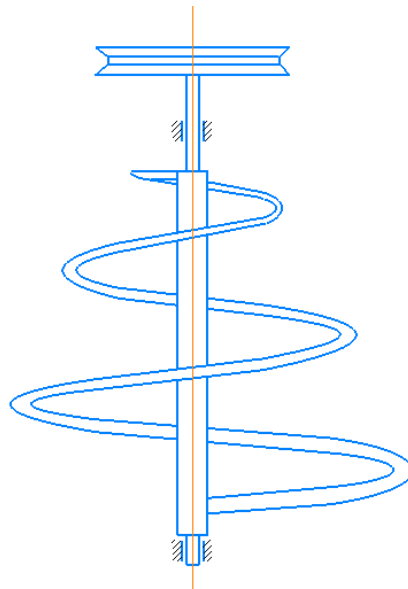


Рис.1.13 Ротор з жорстко закріпленою спіраллю

При використанні плуга з такими роторами заробка рослинних решток мала дуже малий відсоток та наднизький рівень подрібненості.

Тому для забезпечення виконання даних умов інженерами було створено нову конструкцію ротора, яка мала робочі елементи у вигляді ножів. Це дало можливість задовольнити вимоги, які ставилися до даного виду плугів.

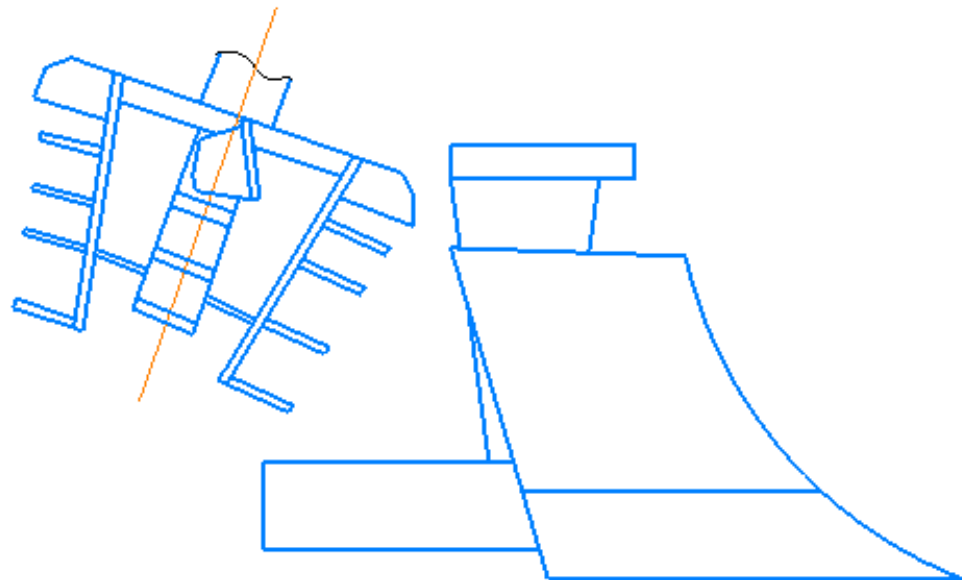


Рис.1.14 Корпус плуга з ножами

На рис.1.14 представлено ескіз плуга, ротори якого мають ножі. В даній конструкції також було застосовано спеціальну деталь, якою подрібнений бур'ян перекидався на дно борозни.

Для обробітку ґрунту був розроблений плуг з подвійним ротором. Конструкція даного ротора складалася з двох валів, розміщених один в одному. Для забезпечення обертання одного вала в іншому були встановлені підшипники. На зовнішньому валу розташований верхні робочі органи, на внутрішньому валу – нижні. Зверху встановлені шківви. На рис. 1.15 представлено даний ротор. Даний механізм приводиться в рух через вал відбору потужності. Потужність та крутний момент передається через пасову передачу.

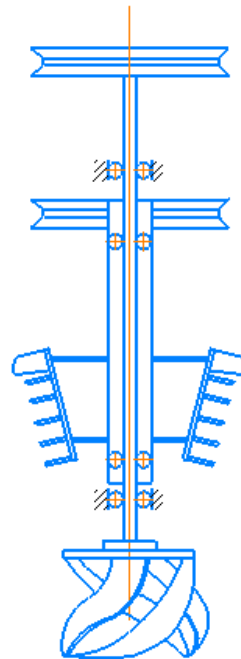


Рис.1.15 Корпус плуга з двома роторами

Плуг з даними роторами забезпечує перемішування шарів ґрунту та подрібнення із заробкою бур'яну в ґрунт.

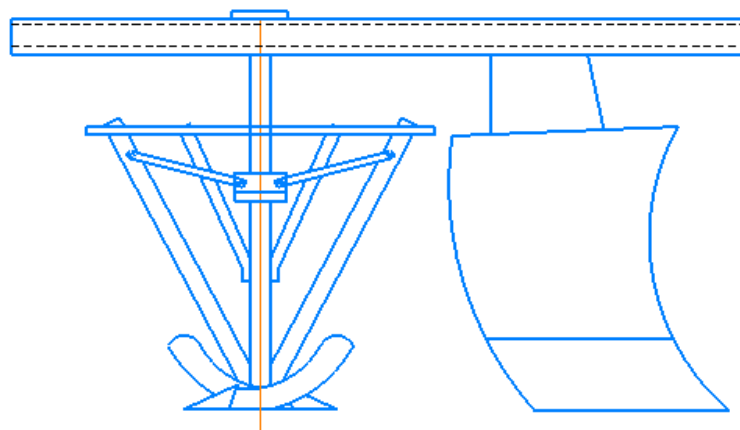


Рис.1.16 Ротор з ножами та лопатками

З метою забезпечення більш якісної та ефективної обробки ґрунту було розроблено ротор з лопатками та ножами, які закріплені в нижній частині ротора. На рис. 1.16 зображено плуг з такими роторами.

Для забезпечення відповідності агротехнічним вимогам конструкторами було створено конструкцію ротора, яка ефективно подрібнює ґрунт та просіює його з одночасною подрібненням і заробкою бур'яну. Новим елементом робочих органів стала планка з загостреними прутками у вигляді граблів з можливістю регулювати кут нахилу. За рахунок цієї розробки відкрилася можливість виконувати технологічні операції з меншими затратами енергії та потужності. Дана розробка представлена на рис.1.17.

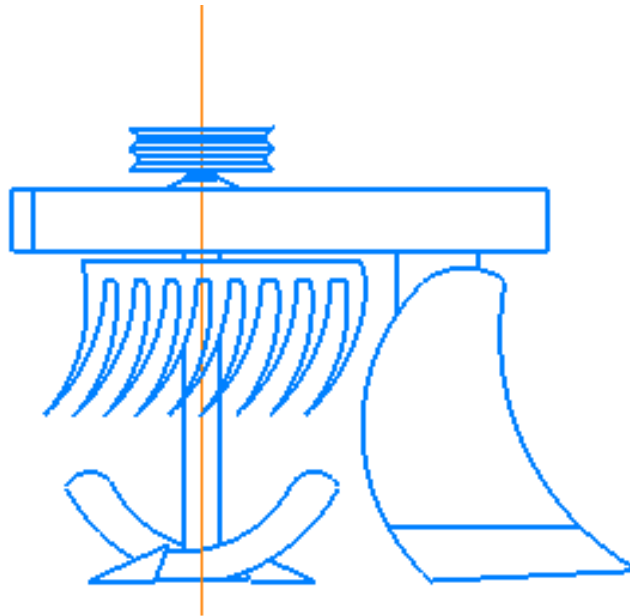


Рис.1.17 Робочий орган з граблями

Для забезпечення родючості ґрунту та найкращого перемішування шарів ґрунту інженерами розроблено на основі плуга з активними роторами, зображеного на рис.1.18, і вдосконалено новий ротор, який складається з вала зі шківом зверху, клиноподібними загорнутими ножами знизу та клиноподібні планки приєднані вздовж всієї довжини вала. Принцип роботи даного плуга наступний: скиба ґрунту, яка підрізається і направляється лемішно-відвальним корпусом до ротора. В свою чергу ротор підриваючи нижній шар ґрунту ножами направляє грудочки ґрунту до планок, які додатково подрібнюють ґрунт.

Недоліком даного ротора є швидке забивання і закручування планок і ротора рослинами.

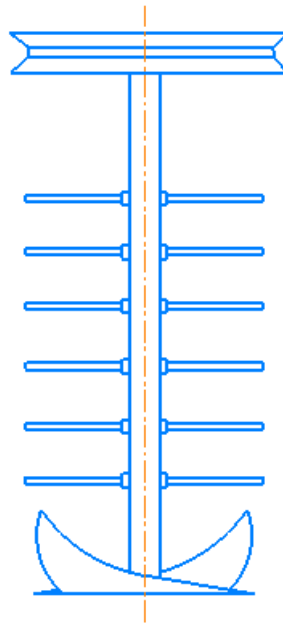


Рис.1.18 Ротор з ножами та планками

Розглянувши конструкції роторів, зробивши висновки щодо удосконалення роторів, конструктори запропонували новий ротор (рис.1.19), який представлений у вигляді конуса, на якому встановлені ножі. Лемішний корпус сконструйовано у вигляді гребінки, яка прилягає до конуса з ножами, що дозволяє подрібнити ґрунту без значних затрат енергії. Проте даний плуг не відповідав агротехнічним вимогам.

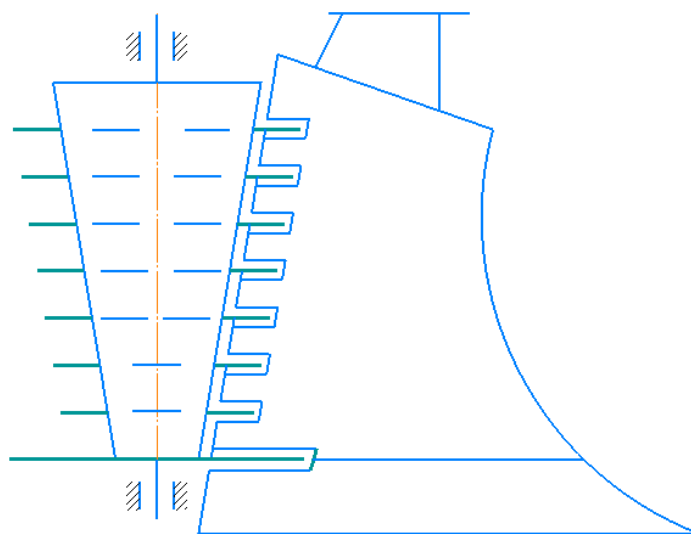


Рис.1.19 Корпус з конусоподібним ротором

## **1.6. Аналіз досліджень по обґрунтуванню параметрів і режимів роботи комбінованого робочого органу плуга**

Аналіз досліджень полягає у вивченні і обґрунтуванні роботи ротора та руху пласта ґрунту по вкороченому відвалу корпусу плуга.

Функцією лемішного корпусу плуга є підрізання пласта та направлення його до ротора. Функцією ротора є подрібнення і перемішування пласта з одночасним подрібненням рослин (бур'яну). Необхідно врахувати ступінь подрібненості пласта, яка залежить від частоти обертання ротора та поступального руху трактора. Тяговий опір плуга з корпусом, у якого вкорочена полиця є меншим, ніж у плуга з звичайним корпусом.

Розглядаючи конструкційну будову ротора, а саме його елементів, слід зауважити, що подрібнення ґрунту може відбуватися ударами лопаток по ґрунту та подрібнення лезами ножів, тобто різанням.

Згідно досліджень вчених можливість подрібнити ґрунт залежить в свою чергу від вологості ґрунту таким чином, що лопатки ротора ударною силою подрібнюють крихкий ґрунт легше через збільшення питомої енергії, яка витрачається на подрібнення ґрунту.

Враховуючи, що використання плуга має відповідати агротехнічним вимогам, слід застосувати робочі елементи у вигляді дискових ножів.

## **1.7. Висновки до розділу**

В сільському господарстві присутня велика кількість думок та ідей щодо вдосконалення традиційних видів обробітку ґрунту та створення нових. Основою для цього стало створення нового типу ґрунтообробних машин. Більшість думок інженерів-конструкторів збігаються у напрямку створення агрегатів, які забезпечать обробіток ґрунту якомога ефективніше та надійніше. Найефективніше використання енергії можливе через додаткові джерела. Існує багато видів ґрунтообробних і промислових знарядь, робочі органи яких приводяться в рух від валів відбору потужності. Висока кількість та якість врожаю забезпечується правильним вибором техніки та технологією обробітку

грунту. Від характеристик техніки та технології обробітку ґрунту залежить стан ґрунту та його властивості.

Від виду і типу обраної техніки та її кількості залежать строки виконання технологічних операцій. Від типу та виду енергетичного засобу та ґрунтообробного агрегату залежить величина витрат на ремонт та ПММ. Застосування плуга з активними роторами дає можливість вирішити ці питання. Також застосування такого плуга дає можливість зберегти вологу, забезпечує якісну заробку рослинних решток та добрив у ґрунт. Якісне подрібнення грудок ґрунту забезпечується підбором різного типу елементами.

## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ КОРПУСУ ПЛУГА З АКТИВНИМИ ПОЛИЦЯМИ**

### **2.1. Агротехнічні вимоги, що пред'являються до виконання технологічного процесу оранки комбінованим плугом**

Обробіток ґрунту є невід'ємною частиною сучасного агровиробництва. Основним і важливим обробітком ґрунту є оранка. Вона є трудомісткою та енерговитратною. Агротехнічні вимоги до оранки враховують оборот пласта, заробку поживних решток та добрив у ґрунт. В залежності від типу та вологості ґрунту, в залежності від ступеня подрібнення великих грудок ґрунту, які утворюються після проходження плуга і підсихання пласта, необхідні додаткові знаряддя для їх кришення.

Використання плуга з активним ротором дає можливість проводити обробку різного рівня вологості ґрунту з додатковою заробкою бур'яну та мінеральних чи органічних добрив.

Для забезпечення якісної та ефективної обробки ґрунту необхідно розглянути агротехнічні вимоги до нерухомої частини – вкороченого лемішного корпусу та агротехнічні вимоги до активної частини – ротора.

Агротехнічні вимоги до плуга з активною робочою полицею:

- Дотримання термінів оранки згідно операційних карт ;
- Дотримання конструкційної цілісності без застосування додаткового обладнання;
- Глибина оранки має відповідати нормам з можливим відхиленням не більше 10%;
- Ширина захвату корпусу не має перевищувати 15%;
- Заробка поживних решток рослин не менше 95%;
- Забезпечення повного оберту пласта ґрунту;
- Забезпечення більшої подрібненості верхнього шару ґрунту;
- Забезпечення рівномірного розподілу рослинних решток та добрив по поверхні ґрунту;

Враховуючи велику кількість наукових робіт, досліджень та пояснень щодо плугів за активними роторами, найбільш сприятливим є встановлення на плуги ротори з ножами.

## 2.2. Дослідження руху скиби ґрунту по лемішно-полицевій поверхні укороченого корпусу плуга

При проведенні досліджень плуга з активним ротором, важливо звернути увагу на взаємодію скиби ґрунту з лемішно-полицевою поверхнею вкороченого корпусу плуга. При переміщенні скиби ґрунту по полиці сила тертя направлена в протилежну сторону від відносної швидкості скиби.

Кінематичні властивості скиби зумовлені геометричною формою поверхні полиці та висотою сходження скиби ґрунту з полиці корпусу. Для визначення точок сходження скиби з корпусу необхідно розглянути схему руху скиби. На рис.2.1 визначено траєкторію руху скиби, швидкість сходження та точка сходження частинок ґрунту.

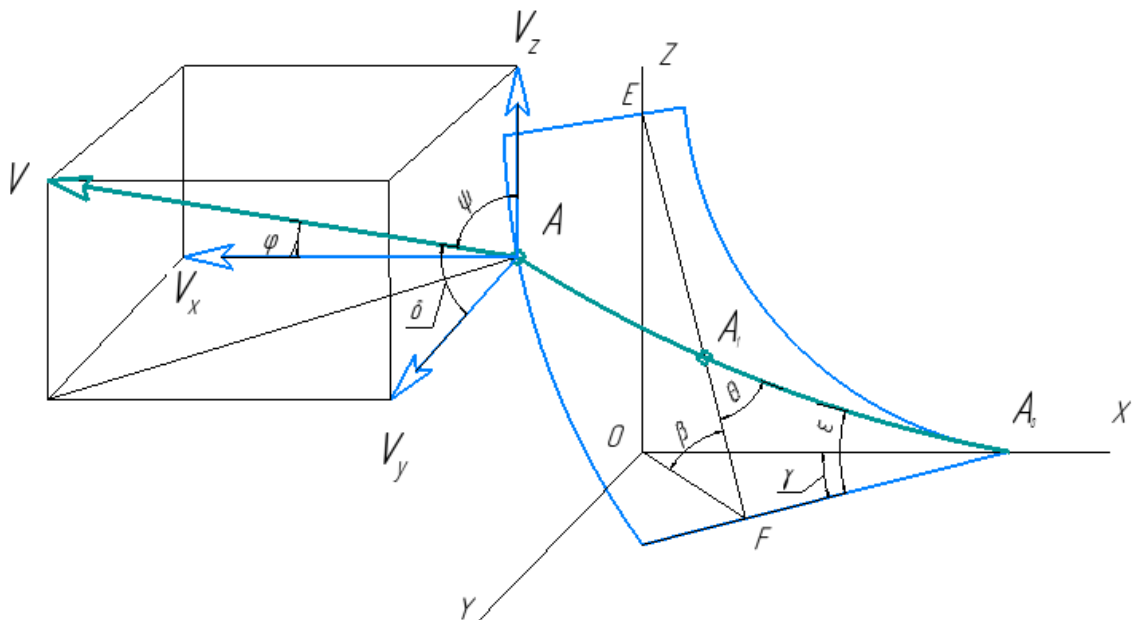


Рис.2.1 Швидкість сходження скиби ґрунту з вкороченого корпусу плуга

На рис.2.1. зображено схему руху скиби ґрунту при сходженні її з укороченої полиці.

В свою чергу,  $V$  – швидкість руху скиби ґрунту в момент сходження с укороченого корпуса, м/с;  $V_x, V_y, V_z$  – проєкції швидкості  $V$  на вісі  $Ox, Oy, Oz$ , м/с;  $\varphi, \delta, \psi$  – кути між векторами швидкості з координатними вісями;  $\gamma$  – кут між горизонтальною проєкцією твірною і напрямком руху;  $\beta$  – кут нахилу дотичної площини до поверхні відвала та до дна борозни;  $\theta$  – кут між перпендикуляром до леза леміша та дотичної до траєкторії руху скиби;  $\varepsilon$  – кут нахилу траєкторії руху пласта та лезо леміша.

Кут  $\varepsilon$  може змінюватися залежно від глибини ходу корпуса та швидкості руху. Це значення коливається в межах 35...39 градусів. Для спрощення проведення розрахунків приймає значення - 37°. Тоді кут між дотичною траєкторією руху пласта та перпендикуляром до леміша встановлюємо кут 57°.

Для визначення проєкцій  $V_x, V_y, V_z$  швидкості  $V$  скористаємося наступними формулами:

$$V_x = V \times (\cos\theta\cos\beta\cos\gamma + \sin\theta\cos\gamma); \quad (2.1)$$

$$V_y = V \times (\cos\theta\cos\beta\cos\gamma - \sin\theta\cos\gamma); \quad (2.2)$$

$$V_z = V \times \cos\theta\sin\beta; \quad (2.3)$$

ли (2.1), (2.2), (2.3) дозволяють визначити значення проєкцій відносної швидкості від положення точки А.

Значення кутів  $\beta$  і  $\gamma$  визначені графічним способом проведеними через 0,05 м твірними, що зафіксовано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Значення кутів  $\beta$  і  $\gamma$

Висота розміщення твірної, м	$\beta$ , град		$\gamma$ , град	
	швидкісний	культурний	швидкісний	культурний
0	25	30	45	42
0,05	36,2	46,2	36	40,4
0,10	48,3	56	35,1	40,2
0,15	57,3	65	36,3	42,5
0,20	66,6	74,3	37,1	44,5
0,25	73,2	83,3	37,3	45,5
0,30	80	90	37,3	46,3
0,35	86,3	98,3	37	47

Таблиця 2.2

Висота розташування твірної над дном борозни, м	2,5 м/с			2,75 м/с			3 м/с			3,25 м/с		
	$V_x$	$V_y$	$V_z$	$V_x$	$V_y$	$V_z$	$V_x$	$V_y$	$V_z$	$V_x$	$V_y$	$V_z$
0,10	2,38	0,29	1,28	2,60	0,33	1,39	2,86	0,35	1,46	3,1	0,3	1,6
0,15	2,31	0,49	1,45	2,54	0,52	1,59	2,77	0,59	1,73	2,9	0,6	1,8
0,20	2,11	0,73	1,56	2,32	0,81	1,71	2,53	0,88	1,87	2,7	0,9	2,0
0,25	1,98	0,90	1,65	2,17	0,99	1,81	2,37	1,07	1,98	2,5	1,1	2,1
0,30	1,87	1,04	1,70	2,05	1,13	1,85	2,24	1,25	2,04	2,4	1,3	2,2
0,35	1,76	1,21	1,72	1,93	1,33	1,90	2,13	1,36	2,06	2,2	1,5	2,2

В табл. 2.2 наведені дані, отримані шляхом застосування формул (2.1), (2.2), (2.3). Для кращого розуміння дані таблиці 2 приведено у вигляді графіка на рис.2.2.

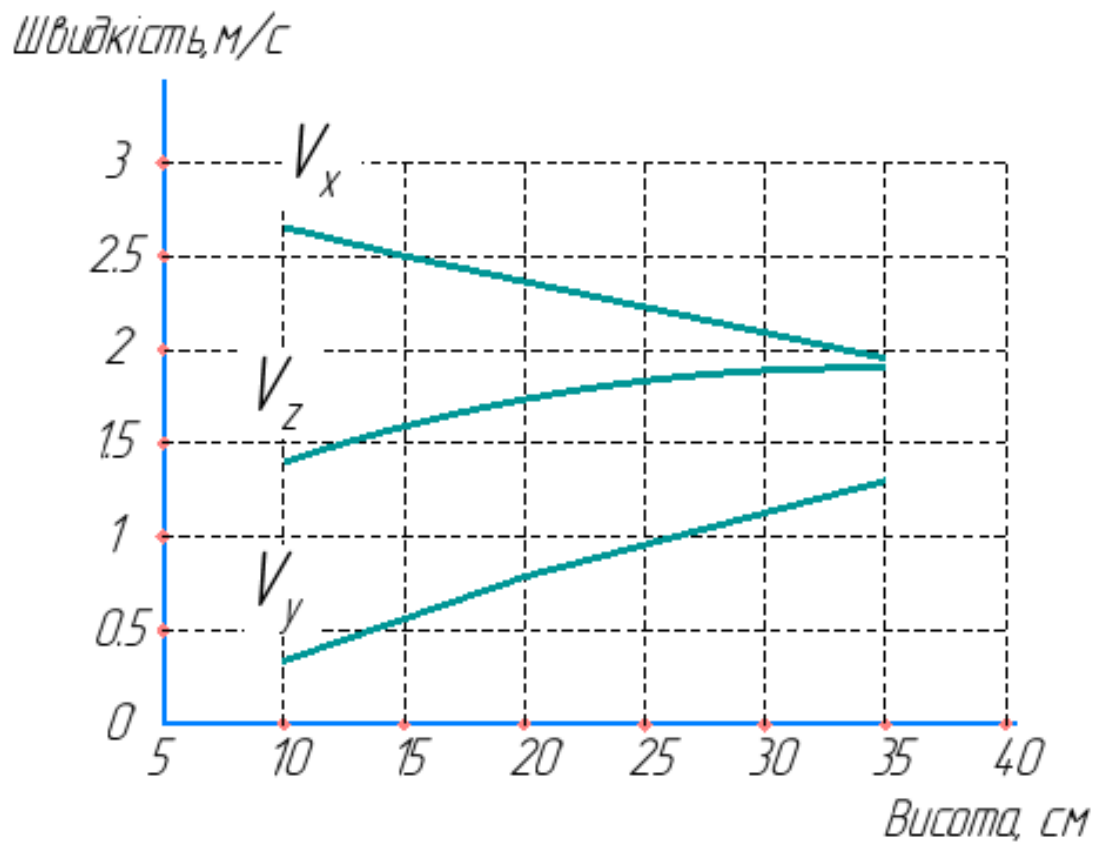


Рис. 2.2 Залежність швидкості руху від висоти сходження пласта з корпусу

На рис.2.2 зображено залежність значень проекцій  $V_X$ ,  $V_Y$ ,  $V_Z$  швидкості  $V$  в момент сходження з вкороченого відвала плуга від висоти розташування точок сходження при  $V = 3$  м/с.

При дослідженні роботи плуга, який має корпус з вкороченою полицею, рух скиби ґрунту має певні особливості. Враховуючи форму поверхні полиці, верхній шар скиби ґрунту потрапляє на дно борозни набагато швидше, ніж нижній шар. Також за рахунок форми полиці та траєкторії руху скиби ґрунту, відбувається прискорене переміщення ґрунту з нижнього шару до верхнього, що пояснює більшу швидкість грудочок ґрунту верхнього шару. Тобто грудки верхнього і нижнього шару скиби ґрунту потрапляють на дно борозни з різною швидкістю.

Необхідно зауважити, що корпус плуга з вкороченою полицею виконує функцію підрізання пласта ґрунту та направляє його ближче до борозни. Проте, при проведенні аналізу роботи плуга з корпусом, який має вкорочену полицю, порівнюючи з плугом, який має звичайний корпус, не виконуються агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту.

Агротехнічні вимоги ґрунтуються на необхідному рівні подрібненості ґрунту та повноті перевероту скиби ґрунту. Для виконання даних вимог можна застосувати активний ротор. Ротор необхідно розташувати вертикально якомога ближче до лемішного корпусу.

### **2.3. Обґрунтування параметрів розташування активного ротора відносно пасивного корпусу плуга**

Конструктивне розташування активного ротора на певній відстані до пасивного корпусу плуга безпосередньо впливає на відстань проходження надрізаної скиби ґрунту.

Тому для визначення математичних залежностей для розрахунку параметрів ротора необхідно скористатися значеннями проекцій швидкості  $V_X$ ,  $V_Y$ ,  $V_Z$  – швидкості з якими відбувається сходження грудочок ґрунту.

Диференційне рівняння руху грудочок виглядає наступним чином:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = m \frac{d^2y}{dt^2} = m \frac{d^2z}{dt^2} = 0, \quad (2.4)$$

Переміщення скиби ґрунту на активний ротор представлено у вигляді кривої (рис.2.3).

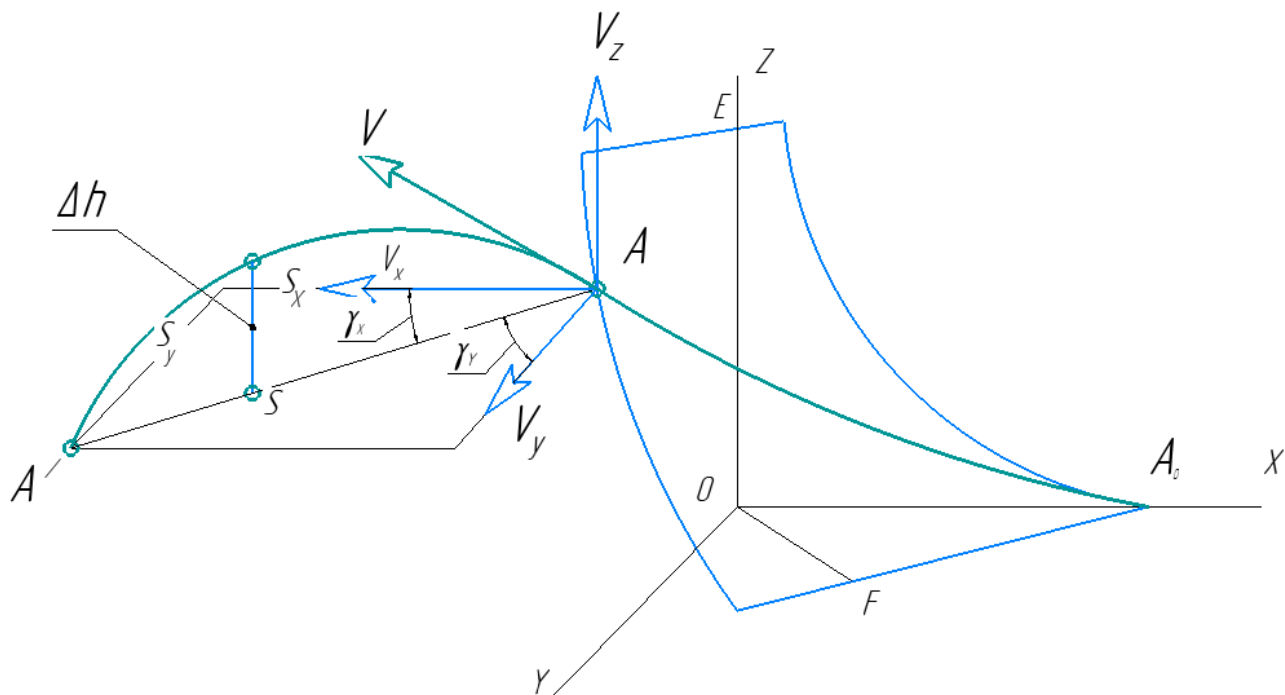


Рис. 2.3 Схема зміщення скиби ґрунту до ротора

Проінтегруємо рівняння (2.4):

$$X = V_x t; \quad (2.5)$$

$$Y = V_y t; \quad (2.6)$$

$$Z = V_z t - \frac{gt^2}{2}; \quad (2.7)$$

З формул (2.1), (2.2), (2.3) підставляємо відомі значення у проінтегровані рівняння:

$$X = V \times (\cos\theta_i \cos\beta_i \cos\gamma_i + \sin\theta_i \cos\gamma_i) t; \quad (2.8)$$

$$Y = V \times (\cos\theta_i \cos\beta_i \cos\gamma_i - \sin\theta_i \cos\gamma_i) t; \quad (2.9)$$

$$Z = (V \times \cos\theta_i \sin\beta_i) t - \frac{gt^2}{2}, \quad (2.10)$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$t$  – час, за який грудочки ґрунту знаходяться у вільному русі, до зіткнення з ротором;

$i$  - індекс, який вказує на номер твірної;

Для визначення часу, за який грудочки ґрунту долають відстань від сходження з полиці пасивного корпусу до ротора, скористаємося формулою:

$$t = \frac{2V \times \sin\alpha}{g}, \quad (2.11)$$

де  $\alpha$  – кут, під яким відбувається сходження грудок ґрунту від лемішного корпусу плуга;

Скиба ґрунту, яка рухається по поверхні укороченої полиці по траєкторії під час руху агрегату, потрапляє на лопатки ротора і подрібнюється, потрапляючи на дно борозни. При розгляді даного шляху скиби ґрунту варто врахувати відстань і місце розташування між ротором та пасивним корпусом, так як грудочки ґрунту можуть потрапляти на дно борозни, оминаючи ножі ротора. Розташування ротора має бути таким, щоб відстань між крайніми точки леза ножа ротора та торцем полиці пасивного корпусу була не більше 0,055 м.

Після проведення низки дослідів, елементами ротора мають бути 6 загострених на торцях лопаток.

Грудочки ґрунту потрапляють на лопатки ротора та подрібнюються ними. Для знаходження колової швидкості обертання ротора слід скористатися формулою:

$$V_{\text{квт}} = \frac{\pi n R}{30}, \quad (2.12)$$

де  $n$  – частота обертання ротора;  $R$  – максимальний радіус ротора, м.

Швидкість, з якою скиба ґрунту потрапляє на лопатки ротора та яка дорівнює швидкості руху агрегату визначаємо за формулою:

$$V_c = k V_p \quad (2.13)$$

де  $k$  – коефіцієнт;  $V_p$  – робоча швидкість агрегату;

На рис. 2.4 зображено схему розподілу швидкостей скиби ґрунту та ротора. Завдяки даній схемі можна визначити параметри розташування ротора відносно пасивного корпусу для забезпечення правильної роботи.

$V_{\text{КУТ}}$  – вектор колової швидкості розташований перпендикулярно радіусу ротора.

На рис.2.4 представлено розташування і напрям векторів швидкостей. Вектор колової швидкості елементів ротора  $V_{\text{КУТ}}$  та вектор швидкості скиби ґрунту  $V_{\text{С}}$  утворюють вектор швидкості  $V_{\text{Р}}$ , напрям якого є напрямом руху грудочок ґрунту.

$V_{\text{В}}$  - швидкість, з якою елемент активного ротора подрібнює скибу ґрунту та запобігає потраплянню на нього. Вектор швидкості також зображено на рис.2.4.

Для знаходження величини швидкості  $V_{\text{В}}$  необхідно скористатися формулою:

$$V_{\text{В}} = V_{\text{Р}} \times \cos\varphi, \quad (2.14)$$

де  $\varphi$  – кут, утворений вектором  $V_{\text{Р}}$  та площиною скиби m-m.

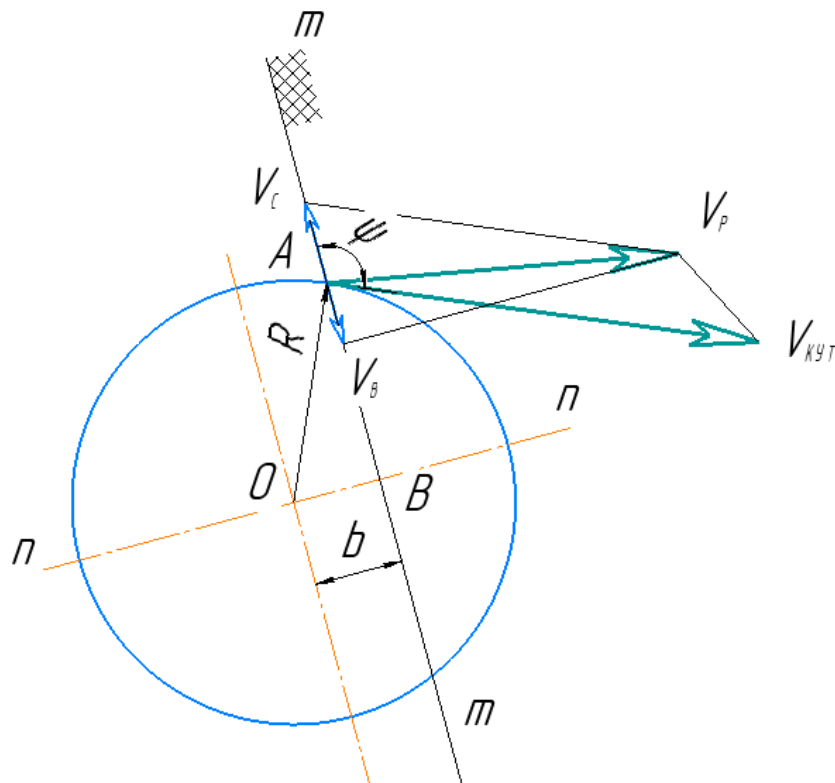


Рис.2.4 Обґрунтування параметрів розташування ротора та лемішного корпусу

Проаналізувавши рух ножів ротора та рівняння (2.14), чим більший кут між вектором  $V_P$  та площиною  $m-m$ , тим менше значення  $\cos$ , і, як висновок зменшується швидкість  $V_B$ .

Це дає можливість не тільки частково подрібнити ґрунт, а й змістити подрібнений шар. І навпаки, чим менший кут, тим більше ґрунту залишається перед ротором, що призводить до збільшення тягового класу трактора та збільшення тягового опору самого агрегату.

На рис. 2.4 також позначено відстань  $b$  – відстань між віссю ротора та крайньою до ротора твірною пасивного корпуса. Для цього прирівняємо швидкість  $V_B$  до нуля.

З схеми на рис.2.4 визначаємо кут  $\psi$  :

$$\psi = \arccos \frac{V_C}{V_{\text{КУТ}}}, \quad (2.15)$$

Далі знаходимо значення  $b$ :

$$b = R \times \cos \psi, \quad (2.16)$$

У рівняння (2.16) підставляємо відомі значення:

$$b = R \times \frac{30V_C}{\pi n R} = \frac{30V_C}{\pi n}, \quad (2.17)$$

На рис.2.5 представлено графік залежності відстані між ротором і полицею до частоти обертання ротора та швидкості агрегату.

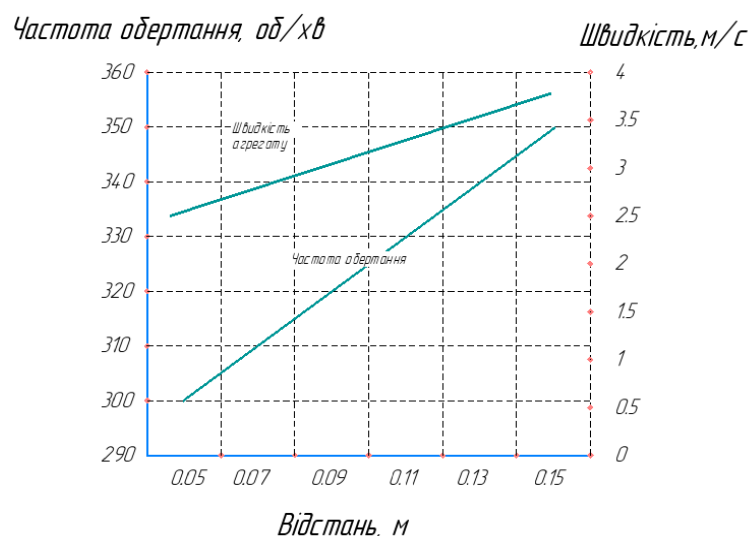


Рис.2.5 Графік залежності

Для вибору оптимального режиму роботи ротора на рис.2.6 представлено графік залежності режимів роботи ротора від його розташування.

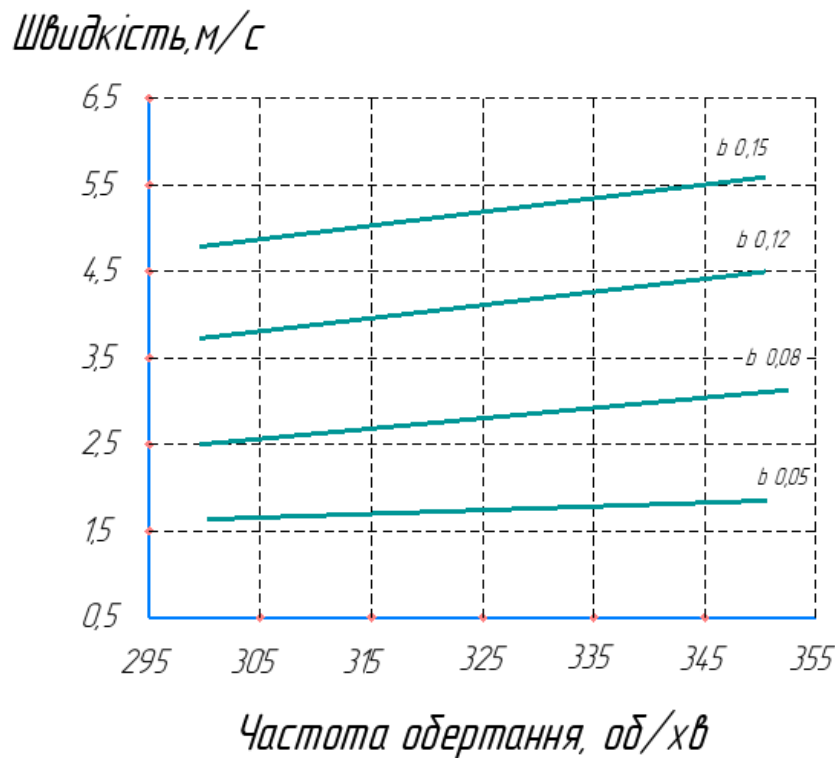


Рис.2.6 Графік залежності робочої швидкості та частоти обертання ротора від розташування на рамі плуга

#### 2.4. Математичні залежності для розрахунку конструктивних параметрів ротора з ножами

Аналіз конструкцій плугів з активними роторами передбачає встановлення на ротор різних видів робочих елементів, серед яких найбільш розповсюджені ножі або лопатки. Лопатки взаємодіють з скибою ґрунту шляхом ударів. Проте даний вид елементів виконує завдання подрібнення та перевертання скиби на низькому рівні. Проте, це залежить від вологості ґрунтів, так як застосування лопаток на таких ґрунтах не дозволяє достатньо подрібнити ґрунт та бур'янів, а на ґрунтах з невисокою вологістю дає можливість подрібнити скибу.

Для дотримання агротехнічних вимог щодо оранки та параметрів пласта необхідно застосувати ротор з ножами заданої кривизни. Конструкція ротора має конусоподібну форму з усіченою вершиною.

На рис.2.6 представлено схему корпусу комбінованого плуга.

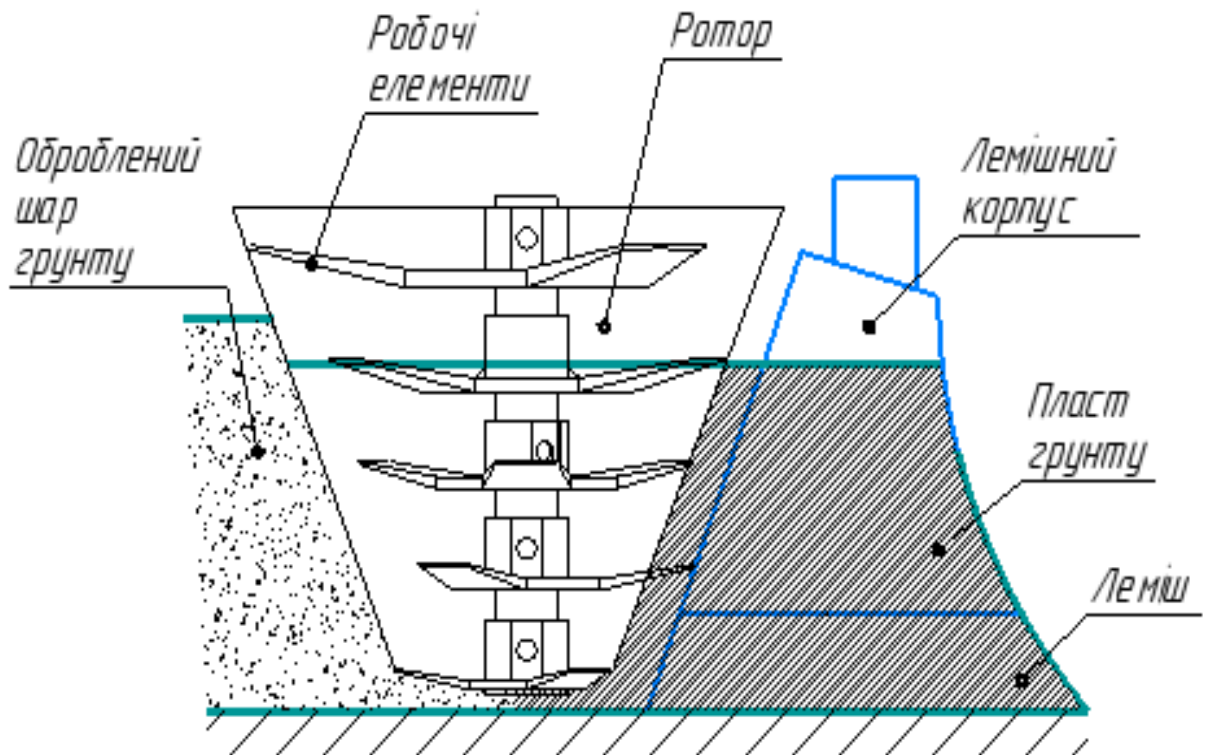


Рис.2.7 Конструкція та функціональна схема корпусів плуга

На рис. 2.7 зображено активний ротор 6 з робочими елементами 2, вкорочений корпус 1 з лемішем 4. Також зображено скибу ґрунту 3 до взаємодії з корпусами та подрібнені грудочки ґрунту 5.

Принцип роботи плуга наступний: перший етап скиба ґрунту підрізається вкороченим лемішним корпусом плуга та рухається, змінюючи її форму та повертаючи її відносно ребра  $CD$ . Схему руху пласта представлена на рис.2.9.

Другий етап - скиба ґрунту потрапляє на ротор, та елементи 2 ротора 6 подрібнюють скибу 3. Для спрощення наступних розрахунків зазначимо, що скиба ґрунту буде мати форму прямокутної призми. За рахунок форми поверхні пасивного корпусу скиба ґрунту, при її русі по корпусу, буде вигнутої та видовженої форми.

Враховуючи відстань між ротором та лемішно-відвальним корпусом плуга, а також форму корпусу (усічений конус) (рис.2.8), твірна форми ротора має бути паралельною до твірної лемішного корпусу, а саме до торцевої твірної, яка найближча до ротора.

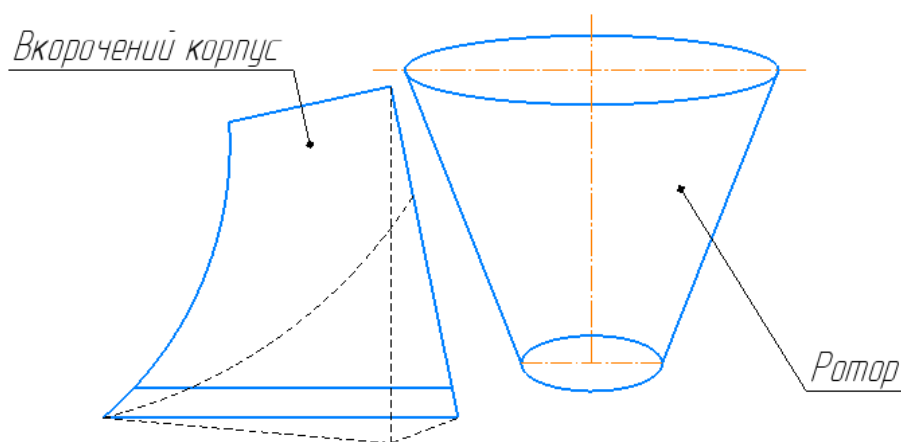


Рис.2.8 Схематичне зображення ротора

Враховуючи симетричність форми ротора, його форму можна описати прямою  $EF$ .

Для забезпечення вологості шарів ґрунту, враховуючи, що кожний шар ґрунту має свій рівень вологості та рівень вмісту гумусу, форма ротора створена таким чином, щоб шари ґрунту не перемішувалися, і вологіший шар ґрунту не був розкритий. Ротором даної форми можливий обробіток на 20-25 см з урахуванням поверхні поля.

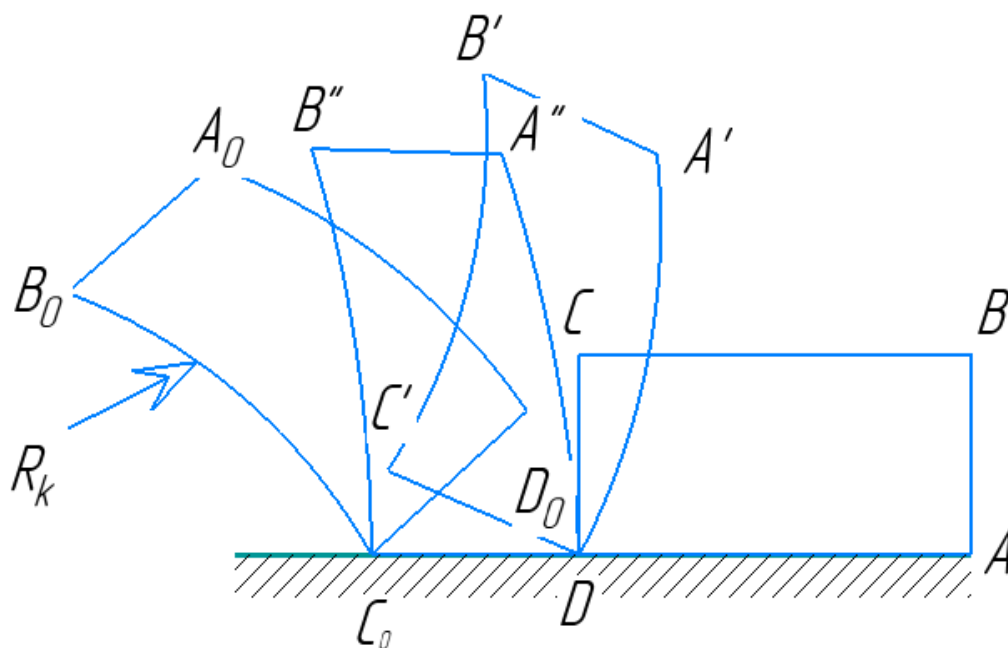


Рис. 2.9 Схема руху скиби по поверхні лемішного корпусу

Розглянемо основні параметри ротора для подальших розрахунків на рис.2.10.  $R_p$  – верхній радіус ротора,  $r_p$  – нижній радіус ротора,  $h_p$  – висота ротора,  $h_s$  – висота ротора відносно дна борозни.

Твірну ротора можна описати наступним рівнянням:

$$Y = kX, \quad (2.18)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який залежить від кута нахилу твірної (твірна елемента ротора).

Для визначення оптимальної висоти ротора слід скористатися наступною формулою:

$$h_p = \sqrt{a^2 + B^2}, \quad (2.19)$$

де  $a$  – глибина обробітку, м;  $B$  - ширина захвату корпусу плуга;

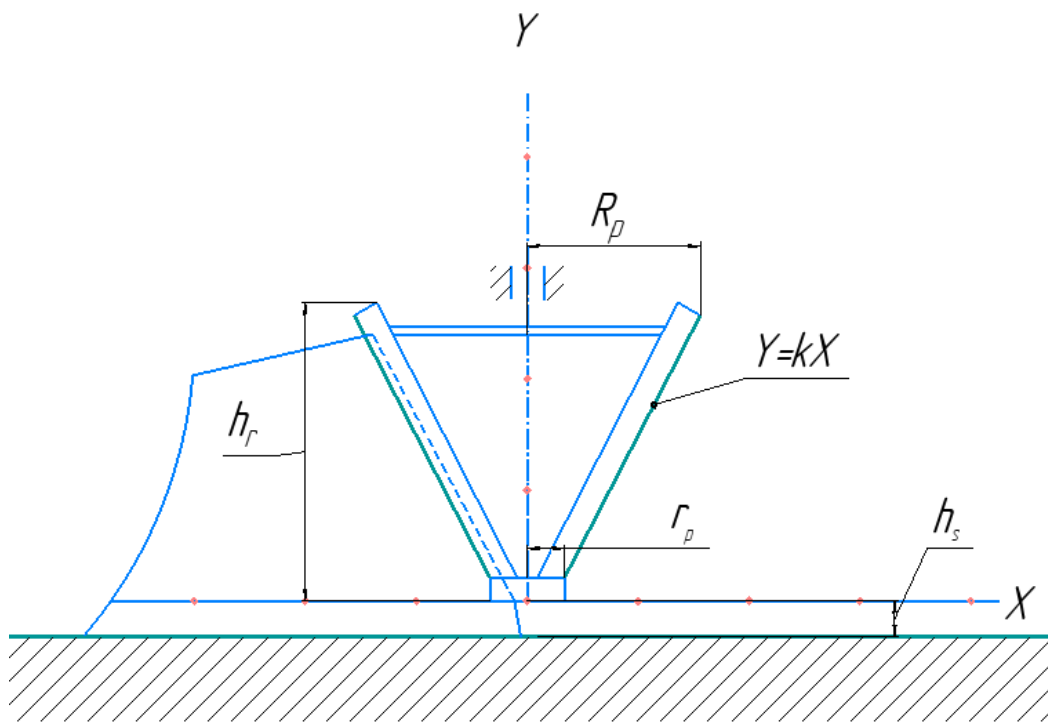


Рис.2.10 Параметри ротора

В залежності від висоти ротора буде змінюватися радіус ротора. Тобто зі збільшенням висоти, збільшується радіус ротора. Тому і при збільшенні глибини обробітку ґрунту, радіус ротора збільшується. Проте, слід зауважити, що радіус верхній і нижній залишаються конструктивно з незмінними значеннями. Рівень глибини обробітку відповідає певному радіусу корпусу.

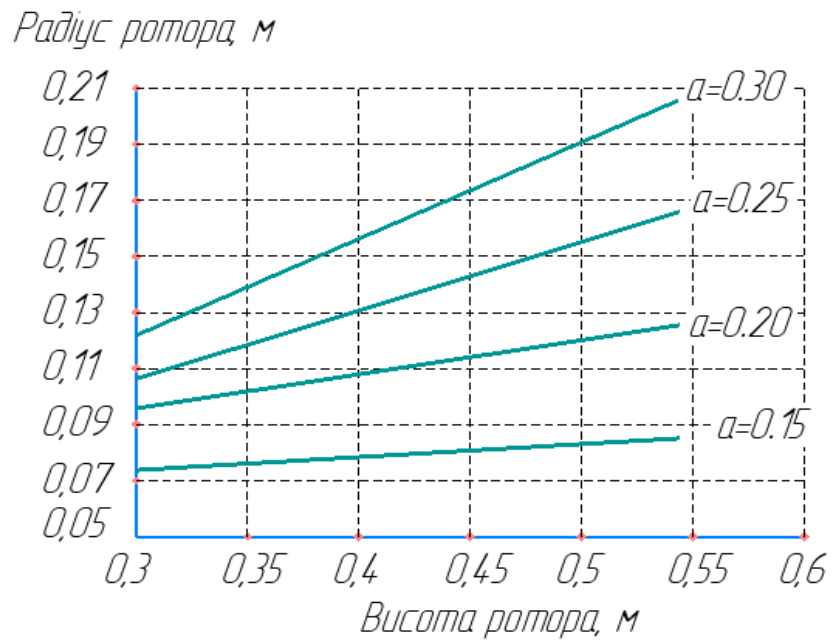


Рис.2.11 Графік залежності радіуса ротора від висоти з урахуванням глибини обробітку

Для забезпечення якісного обробітку ґрунту дана форма ротора є найбільш сприятливою. Робочі елементи ротора дозволяють якісно обробити ґрунт, подрібнити його та здійснити заробку рослинних решток у ґрунт. Також вони забезпечують рівну поверхню поля та потрібний рівень подрібненості. Задовольнити агротехнічні вимоги дає можливість висота ротора – 0,35-0,45 м.

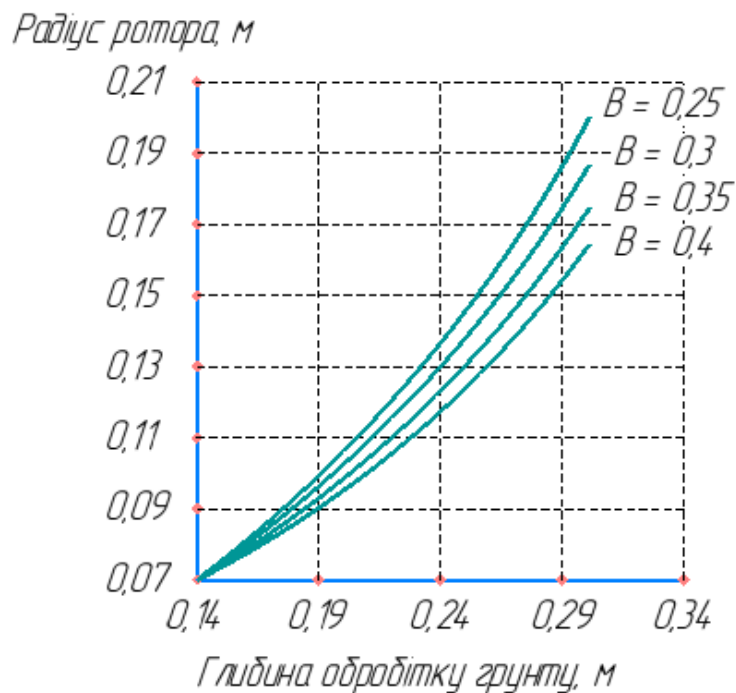


Рис.2.12 Графік залежності радіуса ротора від глибини обробітку

## 2.5. Зусилля подрібнення ґрунту робочими елементами ротора

Ротор має робочі елементи, які можуть бути у вигляді лопаток або у вигляді ножів жорстко закріплених на валу. Для аналізу зусилля різання ґрунту візьмемо загострену лопатку, який зображено на рис. 2.13.

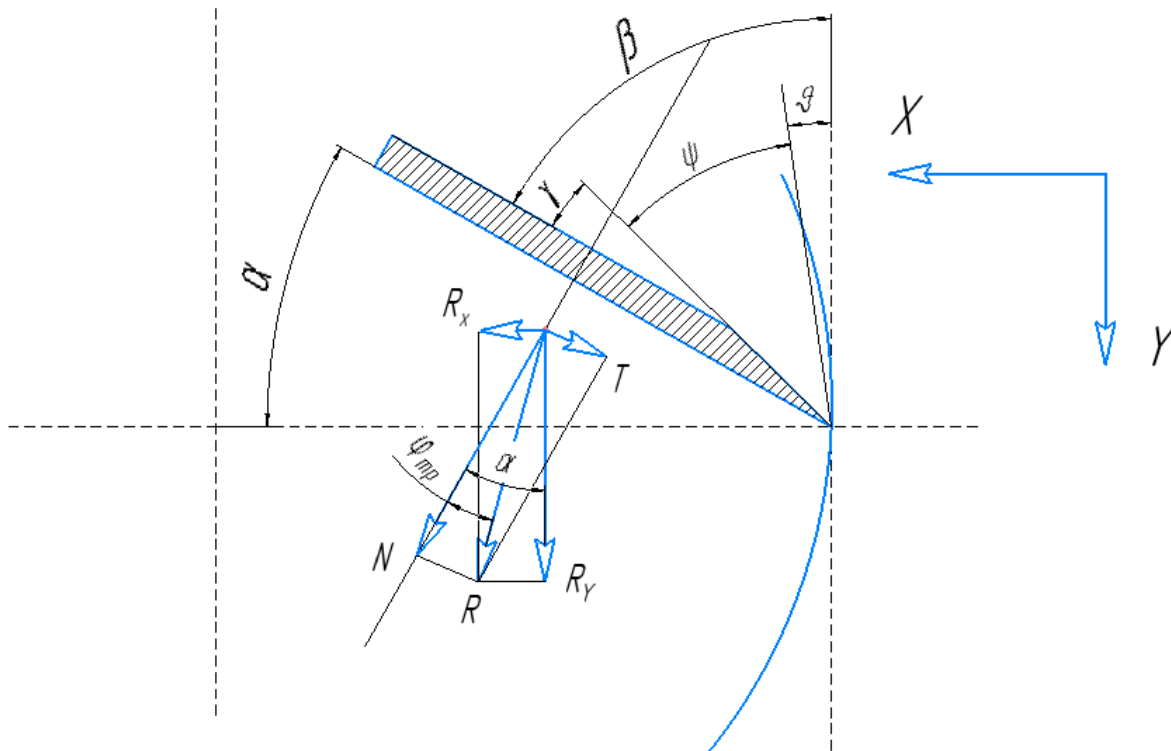


Рис.2.13 Аналіз роботи ножа (лопатки) ротора

На кожному елементі ротора, який взаємодіє зі скибою ґрунту, подрібнюючи її, діють сили тертя  $F_T$ , нормальна сила  $N$ , сума яких складає силу опору  $P_y$ , та які зображені на рис. 2.13. Для того, щоб ніж (лопатка) в скибу ґрунту слід дотриматись наступної умови:

$$\sum Y = P_y = N \cos \alpha + F_T \cos \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right), \quad (2.20)$$

Зі схеми на рис. 2.10 визначаємо силу тертя  $T$ :

$$F_T = N \times \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.21)$$

Далі підставляємо значення сили тертя у рівняння (2.20) та одночасно спростуємо його:

$$P_y = N \left[ \cos \alpha + \operatorname{tg} \varphi \times \cos \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right], \quad (2.22)$$

Також скористаємося схемою на рис.2.10 та визначимо нормальну силу за наступною формулою:

$$N = R \times \cos\varphi, \quad (2.23)$$

На рис. 2.11 зображено вектор реакції скиби ґрунту, яка має проєкції на вісь  $OX$  -  $R_x$  та вісь  $OY$  -  $R_y$ . Застосувавши теорему Піфагора, з трикутника, утвореного проєкціями реакції (катетами) та реакцією (гіпотенузою) маємо:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad (2.24)$$

Проєкція реакції на вісь  $X$  -  $R_x$  є силою опору стисканню скиби ґрунту, проєкція реакції на вісь  $Y$  -  $R_y$  є силою опору відриву скиби ґрунту від ножа (лопатки).

Для визначення  $R_y$ , складовими якої є  $\sigma$  – питомий опір ґрунту,  $\frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$ , та  $F$  – площа деформації ґрунту при впливі на скибу ґрунту,  $\text{м}^2$  слід скористатися формулою:

$$R_y = \sigma F, \quad (2.25)$$

Для визначення складової  $R_y$ , а саме  $F$  скористаємося формулою:

$$F = l_n \times S, \quad (2.26)$$

де,  $l_n$  – довжина ножа (лопатки), м;  $S$  – подача скиби на ножі ротора, м.

У формулу 2.10 підставляємо відомі значення, маємо:

$$R_y = \sigma l_n S, \quad (2.27)$$

Враховуючи конструктивне розміщення ротора та пасивного корпусу плуга, елементи ротора подрібнюють скибу ґрунту шляхом ударів. Ротор, обертаючись, лопатками зминає та розбиває ґрунт. Тому реакцію ґрунту шукаємо наступним чином:

$$R = \sqrt{(P_{3\text{м}})^2 + (\sigma l_n S)^2}, \quad (2.28)$$

Для знаходження зусилля для подрібнення ударом ґрунту використаємо формулу:

$$P = \sqrt{(P_{3\text{м}})^2 + (\sigma l_n S)^2} \times \cos\varphi [\sin(\gamma + \psi + \vartheta) + tg\varphi \cos(\gamma + \psi + \vartheta)], \quad (2.29)$$

де,  $\gamma$  – кут заточки лопатки, град;  $\psi$  – задній кут подрібнення, град,  $\varphi$  – кут тертя, град.

На рис. 2.12 представлений графік залежності зусилля  $P$  подрібнення ґрунту від питомого опору ґрунту  $\sigma$ .

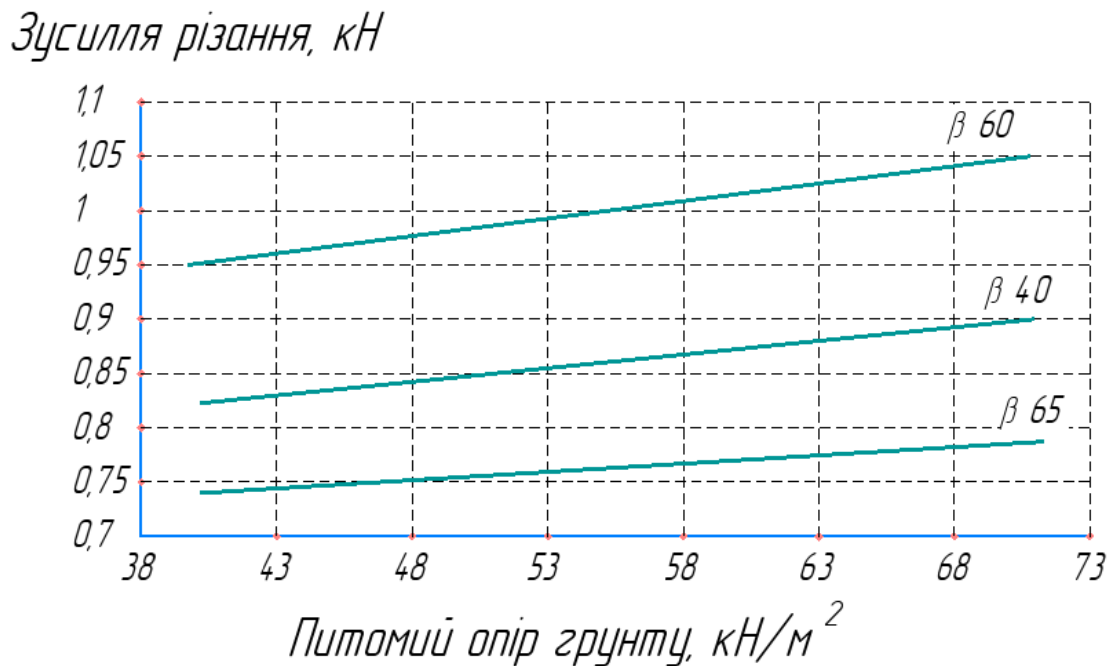


Рис. 2.13 Графік залежності зусилля різання ґрунту від питомого опору ґрунту

## 2.6. Довжина шляху різання стружки

При роботі плуга з активними роторами важливу роль у ефективності подрібнення та різання ґрунту, і у ефективному виконанні обробітку ґрунту відіграє довжина шляху різання ґрунту.

Довжина шляху різання стружки характеризується траєкторією. Розглянемо схему траєкторії руху ножа (планки) ротора на рис. 2.14. На схемі позначимо точку М, яка є крайньою точкою ножа. Точка М проходить певний шлях по траєкторії, яка є шляхом різання та подрібнення ґрунту.

Для визначення довжини дуги траєкторії скористаємося диференціальним рівнянням:

$$dl = \sqrt{(dx^2) + (dz^2)}, \quad (2.30)$$

Також розглянемо рівняння руху ножа відносно осей, які представлені на рис.2.14. Перше рівняння характеризує рух відносно осі X:

$$X = v_{\pi}t + R \times \cos \omega t, \quad (2.31)$$

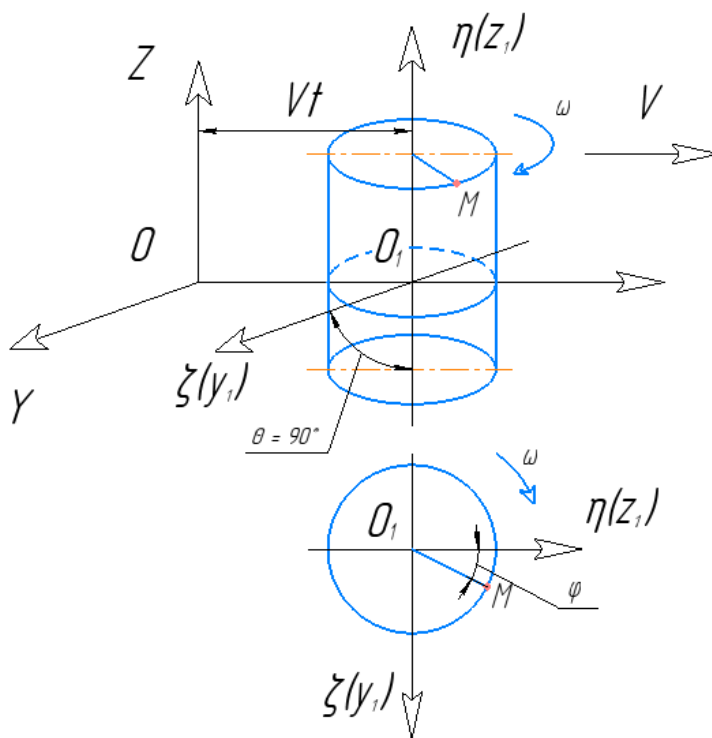


Рис.2.14 Схема шляху різання та параметри для визначення довжини  
Друге рівняння характеризує рух відносно осі  $Y$ :

$$Y = R \times \sin \omega t, \quad (2.32)$$

Враховуючи те, що активний відвал (ротор) не рухається вздовж осі  $Z$ , рівняння буде виглядати наступним чином:  $Z = 0$ .

Для визначення швидкості різання розглянемо проєкції на вісь  $X, Y, Z$ . Враховуючи, що точка  $M$  знаходиться в русі проєкції швидкості будуть виглядати наступним чином:

$$v_x = \frac{dx}{dt}; v_y = \frac{dy}{dt}; v_z = \frac{dz}{dt}; \quad (2.33)$$

В результаті отримуємо:

$$v_x = v_{\text{п}} - v_{\text{к}} \sin \omega t, \quad (2.34)$$

де  $v_{\text{п}}$  - поступальна швидкість;  $v_{\text{к}}$  - колова швидкість;

$$v_y = v_{\text{к}} \cos \omega t, \quad (2.35)$$

$$v_z = 0, \quad (2.36)$$

Швидкість різання ґрунту визначаємо за формулою:

$$V = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}, \quad (2.37)$$

Тоді в отримане рівняння швидкості підставляємо відомі значення:

$$V = \sqrt{(v_{\Pi} - v_{\kappa} \sin \omega t)^2 + (v_{\kappa} \cos \omega t)^2}, \quad (2.38)$$

Отримуємо:

$$V = \sqrt{v_{\Pi}^2 - 2v_{\Pi}v_{\kappa} \sin \omega t + v_{\kappa}^2}, \quad (2.39)$$

Для спрощення розрахунків введемо кінематичний коефіцієнт  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{v_{\kappa}}{v_{\Pi}}, \quad (2.40)$$

Далі, провівши перетворення рівняння (2.0), та застосувавши кінематичний коефіцієнт (2.0), маємо:

$$V = \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin \omega t}, \quad (2.41)$$

Наступним кроком є підстановка у диференціальне рівняння (2.41) відомого значення з формули вище:

$$dl = \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin \omega t} dt, \quad (2.42)$$

Після інтегрування диференціального рівняння згідно кута повороту ротора отримуємо:

$$l = R\sqrt{1 + \lambda^2} \left[ (\varphi_2 - \varphi_1) - \frac{\lambda}{1 + \lambda^2} \times (\varphi_2^2 - \varphi_1^2) - \frac{\lambda^2}{6(1 + \lambda^2)} \times (\varphi_2^3 - \varphi_1^3) \right], \quad (2.43)$$

де  $\varphi$  – кут повороту;

Необхідно вказати на те, що кути повороту ротора при початку різання і в кінці різання мають свої значення. Кут повороту при початку різання  $\varphi_1$  знаходимо за наступної формули:

$$\varphi_1 = \arcsin \left( 1 - \frac{a}{R} \right), \quad (2.44)$$

де  $a$  - глибина обробітку ґрунту;  $R$  – радіус ротора;

Кут повороту в кінці різання  $\varphi_2$  отримуємо з рівняння:

$$\varphi_2 = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{z(\lambda - 1)}, \quad (2.45)$$

де  $z$  – кількість робочих елементів активного ротора (ножі або лопатки);

Глибина обробітку ґрунту, радіус ротора, кількість конструкційних елементів ротора є важливими характеристиками для визначення довжини шляху різання стружки.

На рис. 2.15 представлено графік залежності довжини шляху різання ґрунту від кінематичного коефіцієнта з урахуванням радіуса ротора. На рис 2.16 зображено графік залежності довжини шляху різання ґрунту від поступальної швидкості агрегату з урахуванням глибини обробітку.

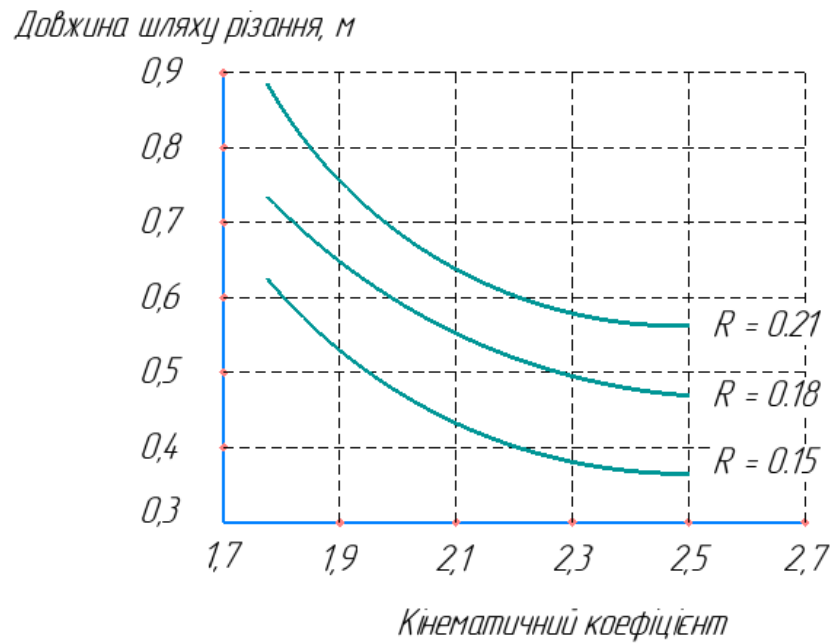


Рис.2.15 Графік залежності довжини шляху різання ґрунту від кінематичного коефіцієнта з урахуванням радіуса ротора

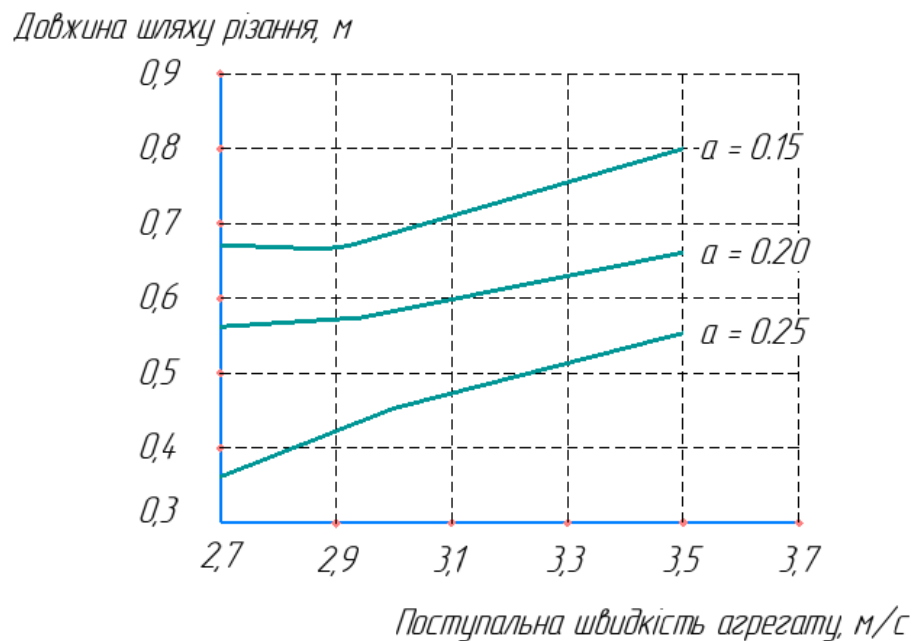


Рис.2.16 Графік залежності довжини шляху різання ґрунту від поступальної швидкості агрегату з урахуванням глибини обробітку

## 2.7. Питома робота і потужність

Буд-який процес характеризується виконанням роботи. Ефективне виконання процесу різання та подрібнення ґрунту забезпечується питомою роботою елементів ротора.

Для здійснення процесу різання пласта ґрунту робочий елемент ротора, ніж або лопатка, здійснює рух по певній траєкторії, врізаючись в ґрунт і виходячи з нього, і проходить шлях, довжиною  $l$ .

Роботу, яка необхідна для виконання процесу різання ґрунту, визначаємо за формулою:

$$A = P \times l, \quad (2.46)$$

Враховуючи те, що робота виконується не в одній точці, а на певній площі, визначаємо площу різання:

$$F = S \times l_n, \quad (2.47)$$

Виходячи з поданих вище формул, питому роботу на здійснення різання отримуємо з рівняння:

$$A_{\Pi} = \frac{A}{F}, \quad (2.48)$$

Маючи відомі значення, підставляємо їх у формулу (2.48):

$$A_{\Pi} = \frac{P \times l}{S \times l_n} = \sigma l \cos \varphi [\sin(\gamma + \psi + \vartheta) + tg \varphi \cos(\gamma + \psi + \vartheta)], \quad (2.49)$$

Важливими складовими роботи, яку необхідно затратити для виконання процесу різання скиби ґрунту, є кут різання ножа (лопатки) ротора, кут тертя, питомий опір ґрунту та довжина шляху різання (рис.2.17).

Для виконання процесу різання також необхідна потужність, яка визначається за формулою:

$$N = \frac{A}{t}, \quad (2.50)$$

де  $t$  - час, який витрачається на різання, с.

Час  $t$  можна визначити за формулою:

$$t = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\omega}, \quad (2.51)$$

Маючи відомі значення з формул (2.49) і (2.51), підставляємо їх значення в формулу(2.0) і отримуємо:

$$N = \frac{\omega \times l \cos \varphi [\sin(\gamma + \psi + \vartheta) + \operatorname{tg} \varphi \cos(\gamma + \psi + \vartheta)]}{\varphi_2 - \varphi_1}, \quad (2.52)$$

Важливими складовими потужності, яка необхідна для виконання процесу різання, є кут різання ножа, радіус ротора та глибина обробітку (рис.2.18).

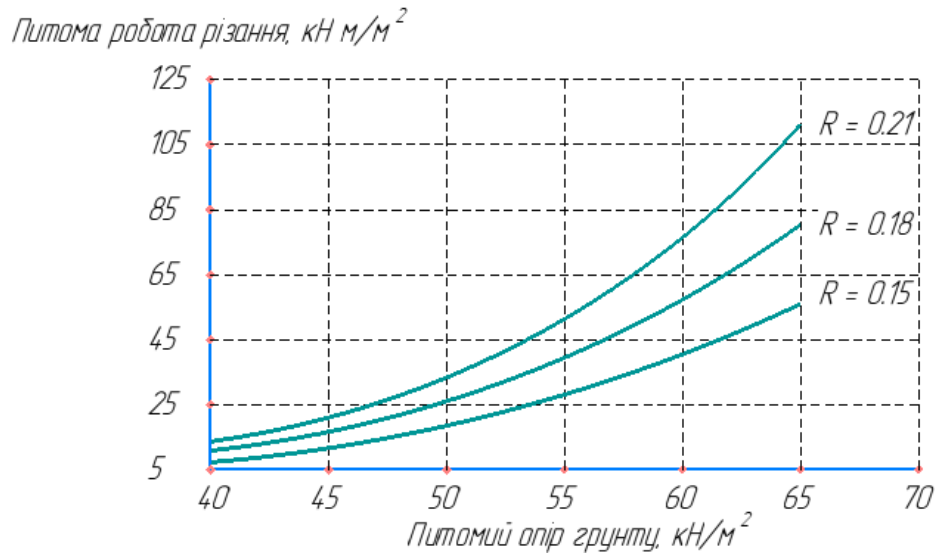


Рис. 2.17 Графік залежності питомої роботи різання ґрунту від питомого опору з урахуванням радіуса ротора

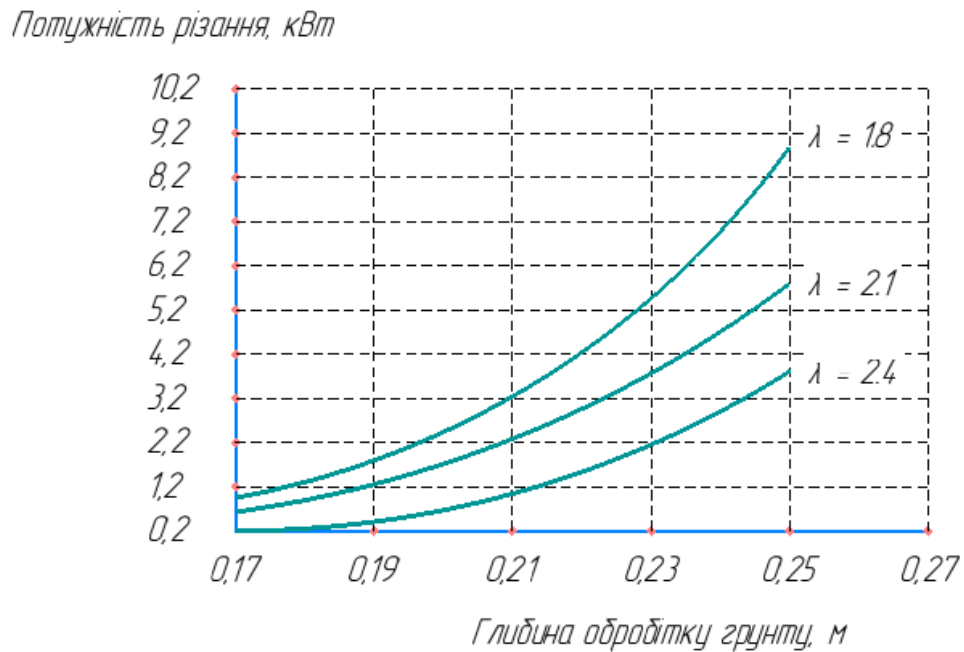


Рис.2.18 Графік залежності потужності різання ґрунту від заданої глибини обробітку з урахуванням кінематичного коефіцієнта

## **РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЛУГА**

### **3.1. Обґрунтування загальної схеми комбінованого плуга з корпусами, що мають активні полиці**

Застосування будь-якого плуга має свої особливості. Кожний плуг має ряд параметрів, які необхідно враховувати при виконанні оранки – глибина ходу корпусів плуга, кут входження в ґрунт леміша, ширина захвату кожного лемішно-відвального корпуса, кількість корпусів, від яких залежить глибина обробітку ґрунту та наскільки необхідно завантажити трактор для її виконання. Розглядаючи роботу плуга з роторами, слід зауважити, що кожний елемент ротора, чи то ножі, чи то лопатки мають свою форму та загостреність. Це впливає на ступінь подрібненості скиби ґрунту, рослинних решток, заробленості бур'яну в ґрунт.

Для подальшого обґрунтування схеми та параметрів комбінованого плуга слід провести ряд експериментів та виконати оранку на різних типах ґрунтів з урахуванням вологості ґрунту.

Експериментальні дії включають в себе наступне:

- Для отримання повної картини, щодо дотримання всіх вимог, а саме агротехнічних, провести оранку з двома плугами – плугом, в конструкції якого передбачено ротори та звичайним плуг.
- Необхідно визначити тяговий опір обох агрегатів при виконанні оранки;
- Визначити крутний момент, потужність, яка передається через вал відбору потужності під час виконання оранки плугом з роторами;
- При проведенні оранки визначити продуктивність, витрату палива для порівняння показників;
- Виконати перелік заходів щодо безпечного використання плуга з ротором та визначити надійність агрегату;

Під час проведення експериментів проведено аналіз фізико-хімічних властивостей ґрунту. Також визначені основні силові та кінематичні показники за допомогою вимірювальних пристроїв.

Твердомір Ревякіна є одним з традиційних приладів, яким було визначено твердість ґрунту. Для визначення глибини обробки ґрунту було застосовано борозномір.

Для визначення кількості залишку рослинних решток проведено огляд ділянки поля розміром 1 метр довжиною і 1 метр шириною.

Були створені відокремлені ділянки поля, які було розділено на виконання певних завдань: регулювання глибини обробки; визначення та очищення елементів ротора від рослинних решток; ділянка для встановлення необхідних режимів роботи та ділянка для остаточної оцінки основних параметрів.

Посилаючись на розділ 2, слід зазначити, що глибина обробки ґрунту ротором та подрібненість бур'яну є важливими параметрами для вирощування с.г. культур.

Для проведення експериментів сконструйовано експериментальний агрегат відповідно до умов та завдань зазначених вище. На рис. 3.1 зображено плуг роторний, трьох корпусний, складовими якого є рама, кронштейни підвіски роторів, пасивний корпус, ротора з механізмом їх урухомлення.

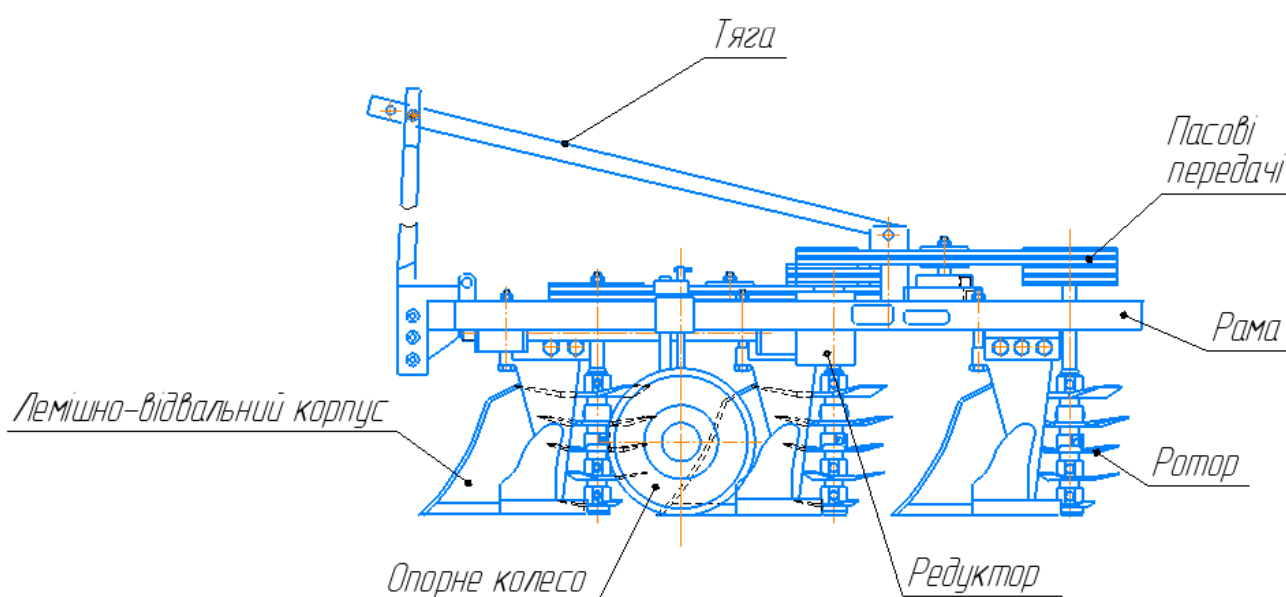


Рис. 3.1 Плуг з активними роторами

Конструкція ротора складається з сталюго вала, до якого болтовими з'єднаннями кріпляться робочі елементи – ножі. Підшипники, в які встановлений вал, забезпечують жорсткість конструкції. Підшипники розташовані у верхній частині вала (біля шківів) та в нижній частині, де встановлено опору. Цим забезпечується якісне подрібнення ґрунту та запобігання деформації та руйнуванню вала.

Робочими елементами є диск з ножами заданої кривизни. Кількість таких ножів на одному диску – 3 штуки. Ножі мають форму трапеції, де верхня основа закруглена та заточена. Кожний ротор має п'ять таких дисків. Кожний диск має свій радіус. Найменший радіус в нижній частині ротора, а найбільший зверху. На рис. 3.2 представлено диски з ножами.

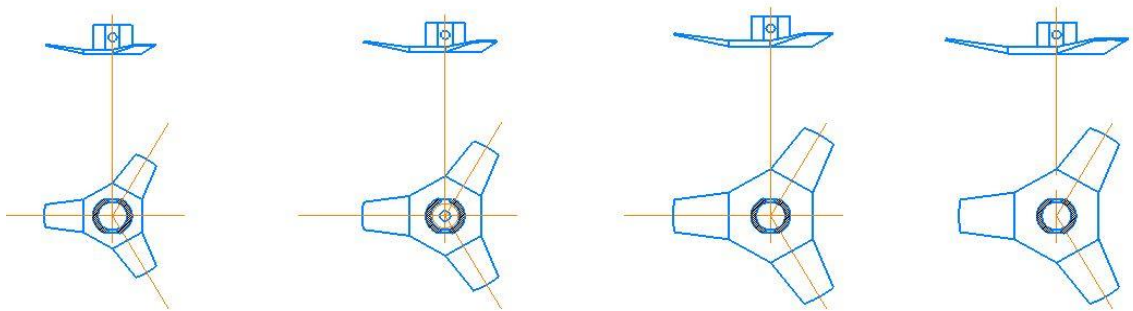


Рис.3.2 Ескізи робочих елементів ротора

Ножі на дисках вигнуті під кутом  $12^\circ$ , що дозволяє перемішувати шари ґрунту. Диски мають бути розташовані таким чином, щоб ножі кожного наступного диска перекривали один одного. Радіус верхнього диска з ножами становить 200 мм, другого – 170 мм, третього – 140 мм, четвертого – 110 мм, п'ятого (нижнього) – 80 мм.

Розташування ротора позаду відносно вкороченого корпусу на відстані 30-50 мм забезпечує якісну обробку ґрунту.

Складовими частинами механізму урухомника є клинопасові передачі, редуктор, телескопічне з'єднання. Ротори приводяться в рух за допомогою клинопасової передачі, яка складається з шківів, які встановлені на вал зі шпонкою, та які закріплені за допомогою болтового з'єднання. Натяг пасів регулюється натяжними роликками.

Механізм урухомлюється від валу відбору потужності трактора через карданну передачу та кутовий редуктор. На рис. 3.3 представлено кінематичну схему приводу роторів комбінованого плуга.

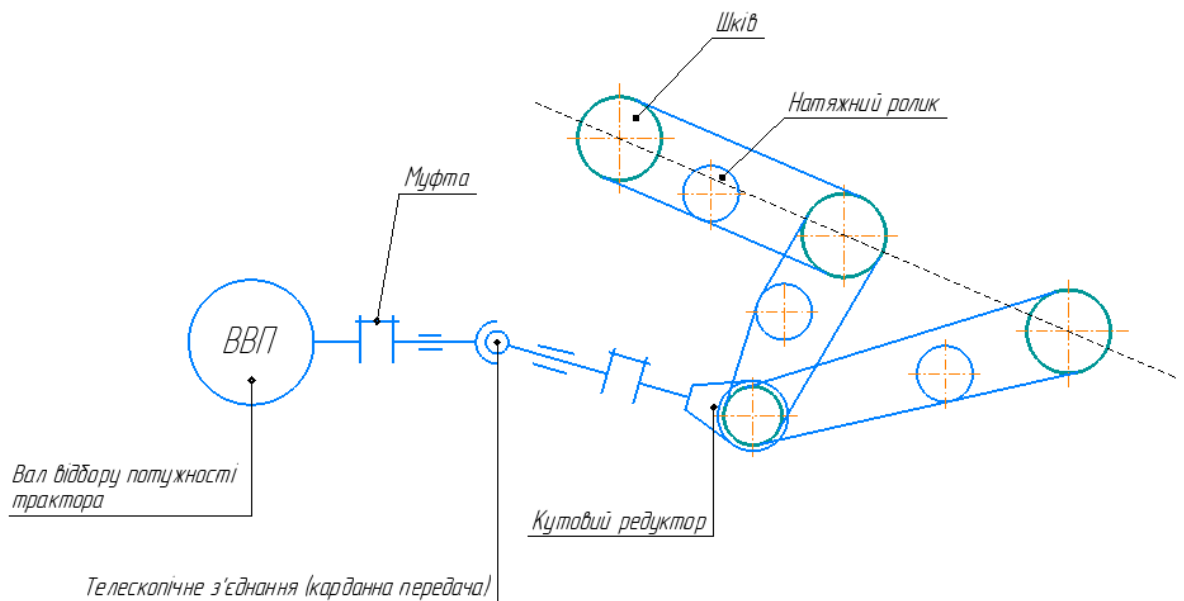


Рис.3.3 Кінематична схема роботи плуга з активними роторами

Після проведення експериментів слід провести розрахунки. Для визначення потужності ВВП скористаємося формулою:

$$N_{\text{ВВП}} = M_{\text{кр}} \times \omega_{\text{ВВП}}, \quad (3.1)$$

Для визначення тягової потужності скористаємося формулою:

$$N_{\text{м}} = RV_n, \quad (3.2)$$

При визначенні кутової  $\omega$  та колової швидкості  $V_{\text{к}}$  ротора застосуємо наступні формули:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.3)$$

$$V_{\text{к}} = \frac{\pi n R}{30}, \quad (3.4)$$

Також необхідно визначити подачу на лопатки ротора, використавши формулу:

$$S = \frac{2\pi V_{\text{к}}}{\omega Z}, \quad (3.5)$$

де  $Z$  – кількість робочих елементів (лопаток або ножів);

Слід звернути увагу також на коефіцієнт подрібненості ґрунту:

$$K_k = \frac{M_1}{M} \times 100\%, \quad (3.6)$$

де  $M$  – загальна маса;  $M_1$  – маса фракції грудочок ґрунту;

Вміст подрібнених бур'янів (решток) в ґрунті, у відсотках:

$$K_з = \frac{m_n}{m_0} \times 100\%, \quad (3.7)$$

де  $m_0$  – вміст подрібнених бур'янів (решток) в ґрунті до оранки;  $m_n$  – вміст подрібнених бур'янів (решток) в ґрунті після оранки;

### 3.2 Агротехнічні показники експериментальних досліджень

Після проведення експериментальних досліджень плуга з активними роторами необхідно зазначити, що його агрегування відбувалося з трактором Т-150К.

Зона проведення експериментів характеризувалася сухим ґрунтом, щільність якого була невисока.

На досліджуваних ділянках твердість ґрунту коливалася від 3,5 до 4 мПа, а вологість коливалася від 10 до 15,7 %.

Дослідження щодо якісних показників роторного плуга проводилися шляхом виконання оранки з глибиною обробітку 20 см. Швидкість агрегату встановлено 10 км/год та 15 км/год.

Згідно агротехнічних вимог щодо глибини обробітку, відхилення не перевищувало 1,8 см. Під час проведення огляду борозни після проходження плуга, поверхня критичних відхилень та нерівностей не має. Поперечний переріз борозни виглядає рівним.

Враховуючи те, що рельєф поля мав певні нерівності, ширина захвату плуга коливалася в залежності від робочої швидкості агрегату, для подолання цих нерівностей. При швидкості 10 км/год ширина захвату складала 1,8 м, проте при швидкості 15 км/год ширина складала 1,75 м.

При обробітку ґрунту глибина заробка поживних решток коливається між 10,1 см і 11,9 см відповідно на глибину 15 і 25 см , в залежності від швидкості руху агрегату.

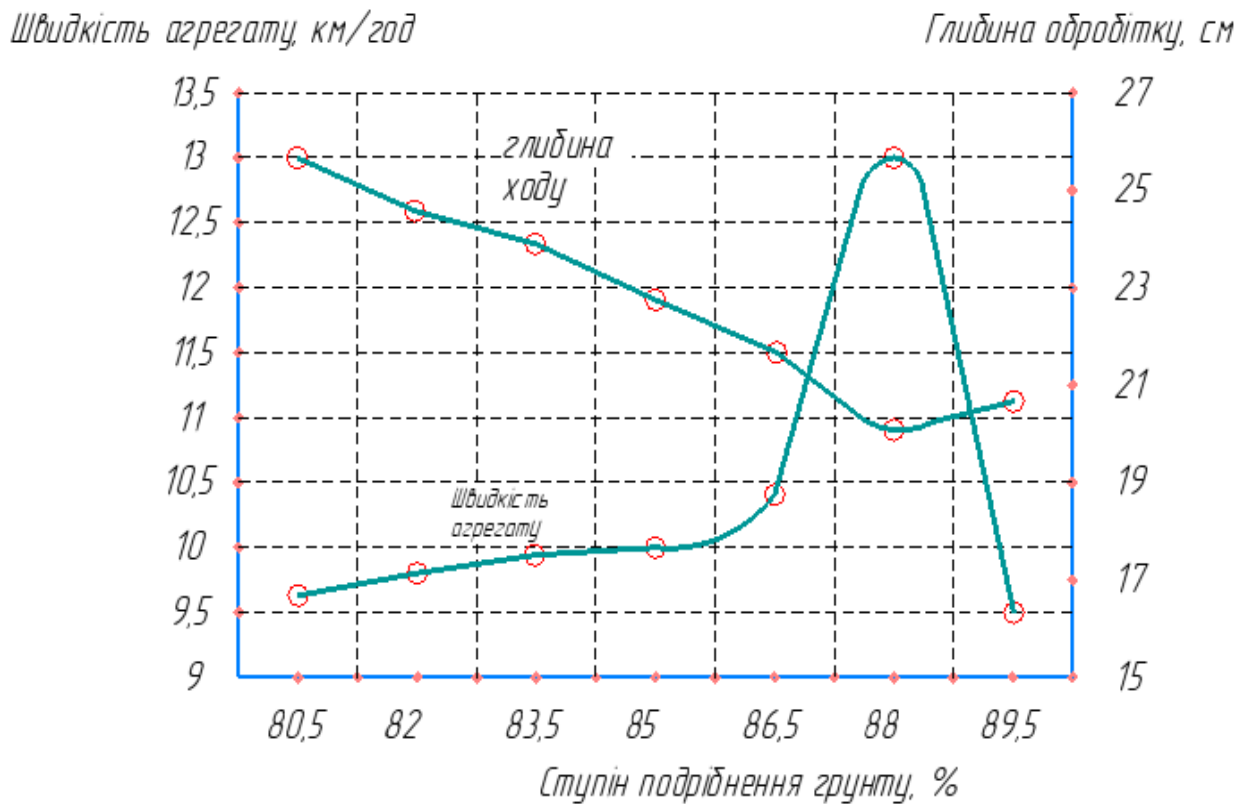


Рис. 3.4 Графік залежності ступеня подрібнення ґрунту від швидкості плуга та глибини обробітку ґрунту

Глибина обробленого шару ґрунту при глибині обробітку 15 см при швидкості 10 км/год складає 18 см, при глибині обробітку 25 см при швидкості 10 км/год складає 22 см.

Заробка рослинних решток коливалася відповідно до глибини обробітку. При глибині оранки 15 см заробка бур'янів сягала 80% при проведенні оранки на глибину 25 см – 98%. Висновок наступний: проведення оранки на глибину 15 см проводити не доцільно та показник не відповідає вимогам. На рис. 3.5 представлено графік, на якому відображено координатні вісі глибини заробки решток , ступінь їх заробки, який визначається у відсотках та робоча швидкість агрегату.

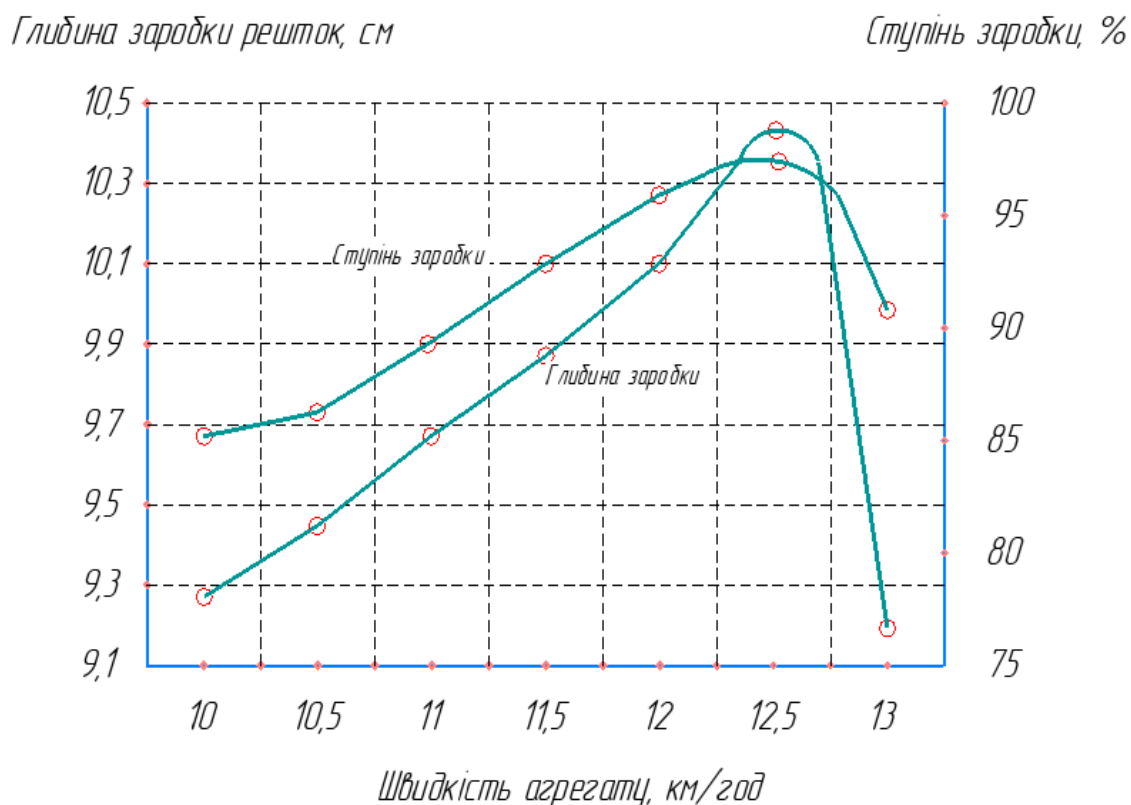


Рис.3.5 Графік залежності глибини заробки та ступеня заробки рослинних решток від швидкості агрегату

Поверхня верхнього шару ґрунту рівна. Гребенистість не перевищує 4 см. Фракція подрібнених грудочок ґрунту відповідає агротехнічним вимогам.

Ступінь подрібнення ґрунту становить 95-98% за робочої швидкості – 10 км/год.

Дотримання усіх агротехнічних вимог позитивно впливає на обробіток ґрунту та вказує на доцільність використання плуга з активними полицями.

### 3.3. Енергетичні показники роботи плуга з корпусами, що мають активні полиці

Випробування роторного плуга відбувалося згідно всіх агротехнічних вимог. При дослідженні роботи плуга було визначено наступні енергетичні показники: тягове зусилля на гаку трактора; потужність, яка необхідна для виконання технологічного процесу (оранки), потужності на переміщення плуга. Також визначено відповідність характеристик плуга до тягових характеристик трактора.

Агрегування плуга з трактором Т-150К ефективно, тяговий опір плуга склав 21 кН при цьому тягова потужність складала близько 55 кВт, потужність валу відбору потужності склала – 20,9 кВт. В свою чергу ефективна потужність двигуна склала – 119 кВт.

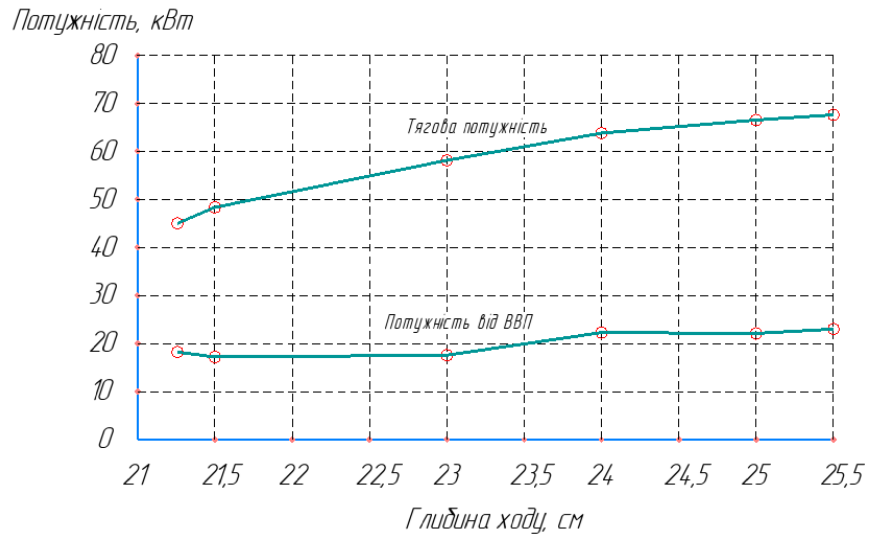


Рис.3.6 Графік залежності глибини ходу агрегату від тягової потужності трактора

В таблиці 3.1 приведені основні енергетичні показники, отримані в ході досліджень.

Потужність трактора ефективно використовується через ВВП, так як ротори плуга, обертаючись, відштовхуються від ґрунту, що зменшує його тяговий опір, а тому і зменшує навантаження на двигун трактора.

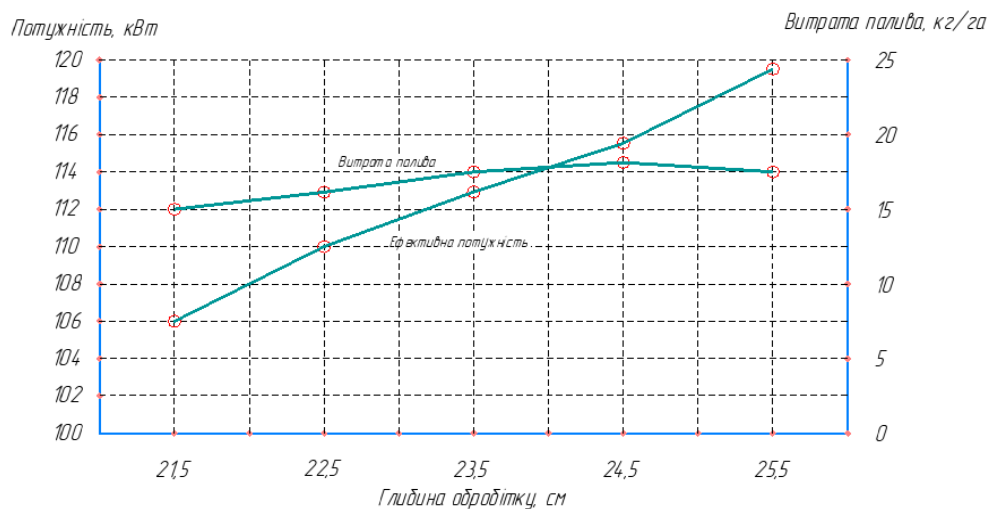


Рис. 3.7 Графік залежності потужності, яку використовує плуг, від глибини обробітку та витрати палива

Таблиця 3.1 Експлуатаційні показники досліджень

Характеристика	Значення характеристики			
	Плуг ПЛН-3-35	Роторний плуг з трьома роторами		
Швидкість, км/год	8,0	10,0	12,0	15,0
Робоча ширина захвату, м	1,67	1,6	1,61	1,57
Глибина обробітку, см	24	22	22	22
Продуктивність, га/год	2,7	3,07	3,71	4,69
Потужність ВОМ, кВт	-	17,8	17,0	16,1
Тягова потужність, кВт	70,4	50,2	55,1	60,2
Тяговий опір, кН	27,5	20,54	19,6	19,9
Ефективна потужність, кВт	89,9	106,2	119,2	122,3
Питомий тяговий опір плуга, кН/м	18,1	11,9	10,4	9,6
Питома витрата палива, кг/га	10,3	8,9	7,39	5,94

Енергетичні показники роторного плуга перевищують в середньому на 15-20% показники базового плуга, з лемішно-відвальним корпусом.

#### **3.4. Дослідження впливу режимів роботи комбінованого плуга на якість обробітку ґрунту**

На роботу роторного плуга під час виконання оранки, впливають різні режими та факторів.

Специфіка роботи плуга з активними полицями полягає також у великій кількості факторів, які впливають на виконання певної операції. Враховуючи те, що плуг виконує роботу при можливості зміни агрономічних показників ґрунту та конструкційних змін ротора, наприклад зміна гостроти лез ножа, даний процес слід розглядати в площині основ наукових досліджень.

При проведенні досліджень важливо врахувати, що низка таких показників як твердість ґрунту, вологість, кількість бур'яну на площі в один квадратний метр можуть варіюватися, або вони можуть не змінюватися протягом всього дослідження, тому кількість досліджень слід зменшити.

Для полегшення проведення дослідження та полегшення виконання математичних розрахунків слід зазначити, що усі можливі фактори будуть варіюватися в один і той же момент. В основу в наукових дослідженнях активного експерименту з даним плугом в математичній площині лягає рівняння регресії, що буде одночасно і моделлю даного процесу.

Проведення експериментів пов'язано з визначенням необхідних показників з урахуванням глибини обробітку ґрунту та поступальним рухом агрегату. Вище були наведені показники та характеристики для енергетичної та робочої машини, проте характеризувати їх одним з багатьох показників не доцільно. Необхідно створити такий показник, який більш якісно охарактеризував би режим роботи та міг би бути основою для оптимізації.

Орієнтиром для оптимізації може бути питомий показник, який включає в себе питому витрату палива та ступінь подрібнення скиби ґрунту. Тому маємо сформулюємо формулу:

$$O = \frac{K_{\Pi}}{B_{\Pi}}, \quad (3.8)$$

де  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт ступеня подрібнення;  $B_{\Pi}$  – витрата палива;

Отже маємо два фактори, за якими виконуються дії щодо експерименту. Межі факторів  $K_{\Pi}$  і  $B_{\Pi}$  були встановлені згідно завдання, яке ставилося перед досліджуваним об'єктом, а саме виконання основного обробітку ґрунту плугом, корпус якого з активною полицею. Величини факторів визначені технічними засобами та способами. Створивши матрицю планування та визначивши області з коефіцієнтами та, провівши низку обрахувань, було виведено рівняння регресії:

$$Y = 6,348 - 0,841X_1 + 0,941X_2 - 0,085X_1X_2, \quad (3.9)$$

де  $X_1; X_2$  – значення факторів;

Необхідно наголосити на тому, що фактори мають бути точними та керованими, незалежними та однозначними.

Далі формуємо фінальний вигляд рівняння регресії після проведення обчислення величин дисперсій, а саме дисперсії дослідження, дисперсії

середнього значення, дисперсію коефіцієнтів регресії, а також після обрахування коефіцієнтів Ст'юдента, і, перевіривши відповідність табличним значенням:

$$Y = 6,348 - 0,841X_1 + 0,941X_2, \quad (3.10)$$

Далі було проведено перевірку на адекватність математичної моделі.

### 3.5. Експлуатаційно-технологічні показники

Для отримання експлуатаційно-технологічних показників проведена оранка плугом з активними роторами на полі після прибирання пшениці (на стерні) площею 8 га. Якість оранки та ступінь подрібнення ґрунту відповідає агротехнічним вимогам.

Агрегат, рухаючись в середньому зі швидкістю 10 км/год, виконує операцію оранки в середньому продуктивністю 1,8 га/год.

Враховуючи стан ґрунту, відбувалися регулювання глибини ходу корпусів та виконання поворотів, продуктивність зменшувалася.

Згідно експлуатаційних показників та якості виконання оранки роторний плуг відповідає нормам: якість подрібнення задовольняє умови для висіву насіння, частка грудочок ґрунту розміром до 3 см складає 98%, гребенистість поверхні поля складає 3 см, питома витрата палива складає 17 кг/га. На рис. 3.7 представлено стан ґрунту після проходження агрегату.



Рис.3.7 Робота роторного плуга та стан ґрунту після виконання оранки

Експлуатація даного плуга дає можливість подрібнити стерню з максимальним відсотком заробки в ґрунт.

### 3.6 Охорона праці при роботі з плугом

Для застосування комбінованого плуга, конструкцією якого передбачено встановлення на раму трьох корпусів з вкороченими відвалами та трьома роторами з ножами слід дотримуватись наступних вимог щодо безпечної праці:

- двигун трактора, до якого навішується плуг, має бути вимкненим та поставленим на ручне (запобіжне) гальмо;
- під'єднувати плуг до трактора мають не менше двох механізаторів;
- під'єднання має проводитись у спеціальному захисному костюмі та в захисних рукавицях;
- перед використанням слід перевірити усі болтові з'єднання ножів до вала ротора, кріплень до рами, також слід перевірити та відрегулювати натяг пасів;
- при роботі з плугом, слід знаходитися від плуга на відстані не менше 20 метрів (окрім машиніста-тракториста);
- для запобігання потраплянню каміння та великих грудок ґрунту між пасом та шківом слід встановити захисні кожухи;

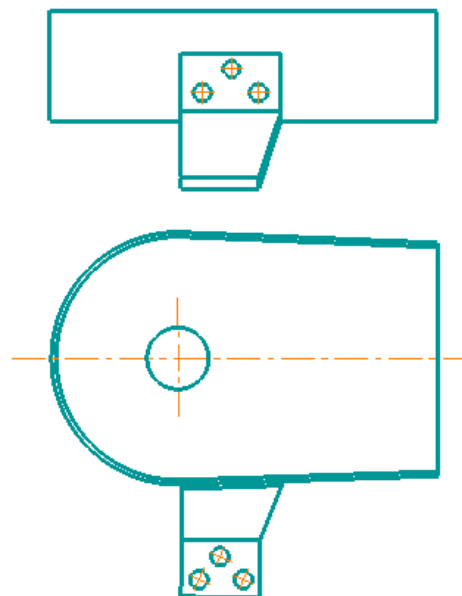


Рис.3.9 Захисний кожух шківа першого ротора

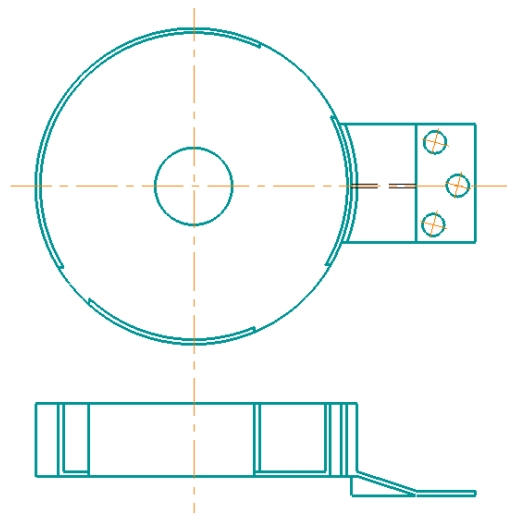


Рис.3.9 Захисний кожух шківів другого ротора

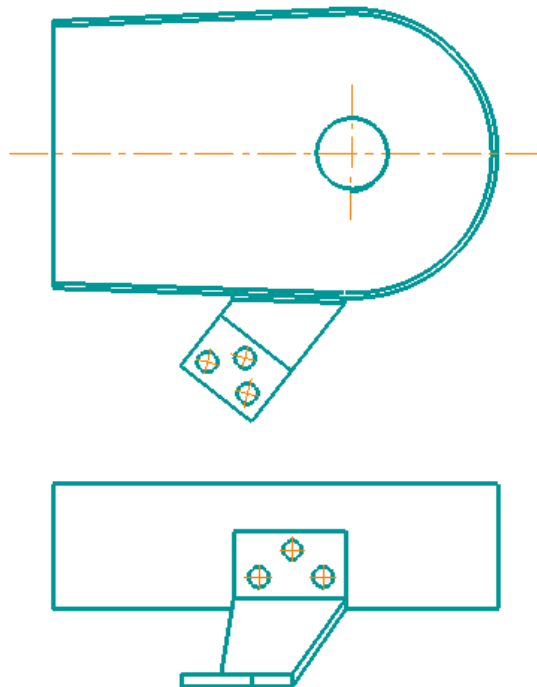


Рис.3.10 Захисний кожух шківів третього ротора

При використанні комбінованого плуга робоча швидкість має бути не більше 18 км/год. На раму слід нанести світловідбивачі або встановити габаритні вогні.

### 3.7 Висновки до розділу

Трактор і плуг мають низку характеристик, які дуже важливо врахувати при формуванні машино-тракторного агрегату. Для плуга такими характеристиками є тяговий опір машини, кількість робочих органів, загостреність долота лемішів, маса та інші. Характеристиками для трактора є

тягове зусилля, яке впливає на можливість зрушити з місця ґрунтообробне знаряддя, потужність для виконання роботи, потужність та крутний момент, яку буде передаватися через вал відбору потужності до роторів, що в свою чергу впливає на виконання роботи роторами, а саме приведення стану ґрунту до оптимального для вирощування сільськогосподарських культур.

Необхідно наголосити, також, і на витраті палива, яка впливає на виконання самої технологічної операції, так і на продуктивність агрегату.

Для визначення характеристик проведено низку розрахунків та для кращого сприйняття інформації побудовано графіки залежностей.

Важливість глибини обробітку ґрунту є високою. Це залежить від кліматичних умов природної зони, в якій проводиться оранка чи будь-який інший вид обробітку. Опір різанню ґрунту, затупленість ножів, сміття та каміння, яке може бути в ґрунті на різній глибині, дає підстави для створення систем безпеки, для запобігання руйнування вала ротора та його робочих елементів.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПЛУГА

Розрахунок економічної ефективності ґрунтується на порівнянні технологічних карт. Для виконання економічного розрахунку складаємо дві технологічні карти на вирощування сільськогосподарської культури.

Перша технологічна карта складається з виконанням дискування та оранки для підготовки ґрунту під посів гречки певним комплексом агрегатів. Дискування виконувалося машинно-тракторним агрегатом, в складі якого трактор Т-150К та дискова борона БДТ-3. В свою чергу оранку здійснювали трактором Т-150К та плугом ПЛН-3-35.

На вирощування даної культури слід витратити певну кількість техніки, проте розглянемо тільки етап передпосівної підготовки ґрунту.

Проведемо розрахунок згідно даних першої технологічної карти. Перший розрахунок технологічної операції - дискування.

1. Фізичний обсяг дискування  $Q_{\text{фгд}}$  та оранки  $Q_{\text{фго}}$  визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{фг}} = k \times S, \quad (4.1)$$

де  $k$  – кратність обробітку ( $k = 1, 2, 3$ )

$S$  – площа, га.

Маючи всі необхідні дані, підставляємо їх в формулу (4.1):

$$Q_{\text{фгд}} = 1 \times 50 = 50 \text{ га}$$

$$Q_{\text{фго}} = 1 * 50 = 50 \text{ га}$$

2. Умовний обсяг робіт для двох операцій визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{ум}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{W_{\text{год}}} \times K_{\text{ет}}, \quad (4.2)$$

де  $Q_{\text{ф}}$  – фізичний обсяг робіт, га,

$W_{\text{год}}$  – годинна продуктивність агрегату, га/год,

$K_{\text{ет}}$  - годинний еталонний виробіток трактора.

Тоді маємо:

$$Q_{\text{умд}} = \frac{50}{4,29} \times 1,65 = 19,23 \text{ га}$$

$$Q_{\text{умо}} = \frac{50}{3,43} \times 1,65 = 24,05 \text{ га}$$

3. Годинну продуктивність агрегату визначаємо за формулою:

$$W_{\Gamma} = \frac{W_{\text{зм}}}{T_{\text{зм}}}, \quad (4.3)$$

де  $W_{\text{зм}}$  – змінна продуктивність, га/зм;  $T_{\text{зм}}$  – час зміни, год.

Існуючі норми виробітку на механізовані роботи розраховані на нормативну 7 годинну зміну, а для робіт з шкідливими умовами праці (обприскування сільськогосподарських культур та ін.) - на 6-годинну зміну.

Годинну продуктивність обробки ґрунту дисковою бороною  $W_{\Gamma\text{д}}$  та обробітку лемішним плугом  $W_{\Gamma\text{о}}$  обраховуємо з формули (4.3):

$$W_{\Gamma\text{д}} = \frac{27,09}{7} = 3,87 \text{ га/год}$$

$$W_{\Gamma\text{о}} = \frac{W_{\text{зм}}}{T_{\text{зм}}} = \frac{18,9}{7} = 2,7 \text{ га/год}$$

4. Змінна продуктивність при дискуванні та оранці визначатиметься з наступного рівняння:

$$W_{\text{зм}} = 0,1 \times B_{\text{р}} \times v_{\text{р}} \times T_{\text{зм}} \times \tau, \quad (4.4)$$

де  $B_{\text{р}}$  – робоча ширина захвату агрегату, м;

$v_{\text{р}}$  – робоча швидкість трактора з дисковою бороною, км/год ( $v_{\text{р}} = 10 \text{ км/год}$ )

$T_{\text{зм}}$  – час зміни, год,

$\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни.

Тоді маючи відомі показники, підставляємо в формулу (4.4) і отримуємо:

$$W_{\text{змд}} = 0,1 \times 3 \times 10 \times 7 \times 1,29 = 27,09 \text{ га/зміну}$$

$$W_{\text{змо}} = 0,1 \cdot B_{\text{р}} \cdot v_{\text{р}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot \tau = 0,1 \times 1,67 \times 8 \times 7 \times 2 = 18,9 \text{ га/зміну}$$

5. Коефіцієнт змінності основного обробітку та передпосівного обчислюємо за наступною формулою:

$$(\tau)K_{\text{зм}} = \frac{T_{\text{д}}}{T_{\text{зм}}}, \quad (4.5)$$

де  $T_{\text{д}}$  - тривалість робочого дня, год,

$T_{\text{зм}}$  – тривалість часу зміни, год.

Тоді,

$$(\tau)K_{\text{зм д}} = \frac{9}{7} = 1,29$$

$$(\tau)K_{\text{зм о}} = \frac{14}{7} = 2$$

6. Необхідну кількість дискових знарядь та плугів визначаємо наступним чином:

$$n_a = \frac{Q_{\phi}}{W_{\Gamma} \times T_{\text{д}} \times D_{\text{р}}}, \quad (4.6)$$

де  $Q_{\phi}$  - обсяг роботи у фізичних одиницях, га,

$W_{\Gamma}$  – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год,

$T_{\text{д}}$  – кількість годин роботи за добу, год,

$D_{\text{р}}$  – кількість днів роботи.

Тоді,

$$n_{a \text{ д}} = \frac{50}{3,87 \times 7 \times 4} \approx 1$$

$$n_{a \text{ о}} = \frac{50}{2,7 \times 7 \times 6} \approx 1$$

7. Витрата палива для виконання одиниці роботи дисковою бороною та плугом з відвалом визначаємо за формулою:

$$G = \frac{g_e \cdot N_{\text{ен}} \cdot K_3}{W_{\Gamma}}, \quad (4.7)$$

де  $g_e$  – питома витрата палива, кг/кВт год,  $g_e = 0,230 - 0,270$  кг/кВт · год.

$N_{\text{ен}}$  – номінальна потужність двигуна трактора, кВт,

$K_3$  – коефіцієнт завантаження двигуна.

Для енергомістких робіт  $K_3 = 0,9 - 0,95$ , для малоенергомістких –  $K_3 = 0,7 - 0,8$ . Отже маємо:

$$G_d = \frac{0,245 \times 118 \times 0,7}{3,87} = 5,2 \text{ кг/га}$$

$$G_o = \frac{0,255 \times 122,3 \times 0,9}{2,7} = 10,3 \text{ кг/га}$$

8. Коефіцієнт завантаження визначаємо за формулою:

$$\eta_u = \frac{R_a}{P_{\text{гак д}}}, \quad (4.8)$$

де  $P_{\text{гак д}}, P_{\text{гак о}}$  – тяга на гаку трактора з дисковою бороною і плугом відповідно, кН,

$R_a$  - опір агрегату (дискової борони та плуга).

Тоді,

$$\eta_{u д} = \frac{13,08}{15,96} = 0,82$$

$$\eta_{u о} = \frac{27,5 \text{ кН}}{15,96 \text{ кН}} = 1,72$$

9. Затрати робочого часу для налаштування та під'єднання дискової борони та плуга до трактора, і виконання технологічних операцій обраховуємо нижче:

$$H = \frac{m_0 + m_d}{W_r}, \quad (4.9)$$

де  $m_0$  – кількість обслуговуючого персоналу, ос,

$m_d$  - кількість допоміжного персоналу, ос,

$W_r$  – годинна продуктивність, га/год.

Визначивши скільки необхідно персоналу для виконання даної роботи визначаємо необхідний для роботи час:

$$H_d = \frac{1 + 0}{3,87} = 0,26 \text{ год}$$

$$H_o = \frac{1 + 0}{3,4} = 0,43 \text{ год}$$

10. Прямі експлуатаційні витрати на виконання обробітку ґрунту дисковим знаряддям та плугом визначаємо за формулою:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (4.10)$$

де  $C_1$  – витрати на оплату праці обслуговуючому персоналу, грн/га,

$C_2$  – вартість ПММ, грн/га,

$C_3$  – відрахування на відновлення складових елементів МА, грн/га,

$C_4$  – відрахування на ремонт та технічне обслуговування, грн/га,

Заробітна плата для механізаторів, які виконуватимуть роботу визначатимемо наступним чином:

$$C_1 = \frac{M \cdot ЗП}{W_T}, \quad (4.11)$$

де  $M$  – кількість механізаторів, ос.; ЗП – заробітна плата за одиницю праці, грн;

У формулу (4.11) підставляємо значення:

$$C_{1д} = \frac{1 \times 22,50}{3,87} = 5,8 \text{ грн/га}$$

$$C_{1о} = \frac{1 \times 24,50}{2,7} = 9,07 \text{ грн/га}$$

Для плуга з роторами визначаємо далі:

$$C_{1рп} = \frac{1 \times 25,50}{2,98} = 9,3 \text{ грн/га}$$

Вартість паливно-мастильних матеріалів буде залежати від ціни за 1 кілограм палива  $P$  та витрати палива  $G$ , при виконанні технологічної операції:

$$C_2 = P \times G, \quad (4.12)$$

Отже маємо:

$$C_{2д} = 57,64 \times 5,2 = 223,07 \text{ грн/га}$$

$$C_{2о} = 57,64 \times 10,4 = 599,45 \text{ грн/га}$$

В свою чергу для комбінованого плуга буде наступна вартість:

$$C_{2рп} = 57,64 \times 8,9 = 512,99 \text{ грн/га}$$

Відрахування на відновлення складових елементів машинно-тракторного агрегату  $C_3$ , в складі якого трактор має балансову вартість  $V_T$  і плуг, який має

балансову вартість  $B_M$ , трактор і дискова борона, яка має балансову вартість  $B_M$ , відповідно визначаємо з формули:

$$C_3 = \frac{a_T \times B_T}{100 \times W_T \times t_{н.т.}} + \frac{a_M \times B_M \times n_M}{100 \times W_T \times t_{н.м.}}, \quad (4.13)$$

де  $a_T$  і  $a_M$  – частка відрахувань на відновлення деталей і систем трактора та робочого знаряддя у відсотках;

$t_{н.т.}$  і  $t_{н.м.}$  – завантаження трактора та робочого знаряддя за рік згідно нормативів, год;

Для трактора і дискової борони, та лемішного плуга відрахування будуть складати:

$$C_{3д} = \frac{19 \times 1200000}{100 \times 3,87 \times 1800} + \frac{12 \times 53916 \times 1}{100 \times 3,87 \times 400} = 32,7 + 4,17 = 36,87 \text{ грн/га}$$

$$C_{3о} = \frac{19 \times 1200000}{100 \times 2,7 \times 2000} + \frac{12 \times 50000 \times 1}{100 \times 2,7 \times 410} = 42,2 + 5,42 = 47,62 \text{ грн/га}$$

Проте такі відрахування будуть складати для плуга з активною полицею:

$$C_{3рп} = \frac{19 \times 1200000}{100 \times 3,07 \times 2000} + \frac{12 \times 59800 \times 1}{100 \times 3,07 \times 325} = 37,13 + 7,19 = 44,32 \text{ грн/га}$$

Відрахування на ремонт та технічне обслуговування двох МТА визначаємо з наступного рівняння:

$$C_4 = \frac{b_T \cdot B_T}{100 \cdot W_T \cdot t_{н.т.}} + \frac{b_M \cdot B_M \cdot n_M}{100 \cdot W_T \cdot t_{н.м.}}, \quad (4.14)$$

де  $b_T$  і  $b_M$  – частка відрахувань на технічне обслуговування деталей та їх ремонту в тракторі та сільськогосподарській машині у відсотках;

Підставляємо відомі значення у формулу (4.14) і отримуємо наступне:

$$C_{4д} = \frac{20 \times 1200000}{100 \times 3,87 \times 1800} + \frac{23 \times 53916 \times 1}{100 \times 3,87 \times 400} = 34,4 + 8,01 = 42,41 \text{ грн/га}$$

$$C_{4о} = \frac{20 \times 1200000}{100 \times 2,7 \times 2000} + \frac{23 \times 50000 \times 1}{100 \times 2,7 \times 410} = 44,4 + 10,3 = 54,7 \text{ грн/га}$$

Також визначимо величину даних відрахувань для роторного плуга:

$$C_{4рп} = \frac{20 \times 1200000}{100 \times 3,07 \times 2000} + \frac{23 \times 59800 \times 1}{100 \times 3,07 \times 325} = 39,08 + 13,8 = 52,88 \text{ грн/га}$$

Після проведення необхідних обчислень отримали необхідні складові для визначення загальних витрат:

$$C_d = 5,8 + 223,07 + 36,87 + 42,41 = 308,15 \text{ грн/га}$$

$$C_o = 9,07 + 599,45 + 47,62 + 54,7 = 710,84 \text{ грн /га}$$

В результаті отримуємо загальні прямі експлуатаційні витрати при використанні комплексу агрегатів для обробки ґрунту – 1018,99 грн /га.

Провівши розрахунки першої технологічної карти, проведемо розрахунки другої. Друга технологічна карта з використанням одного агрегату для проведення обробітку ґрунту – комбінованим плугом з активними полицями.

Для визначення обсягу поля, яке фізично можливо обробити плугом з роторами визначаємо за формулою (4.1):

$$Q_{\text{фг}} = 1 \times 50 = 50 \text{ га}$$

Умовний обсяг робіт визначаємо за формулою (4.2):

$$Q_{\text{ум}} = \frac{50}{3,07} \times 1,65 = 30,11 \text{ га}$$

Змінну продуктивність визначаємо за формулою (4.4):

$$W_{\text{зм}} = 0,1 \times 1,6 \times 10 \times 7 \times 1,92 = 20,83 \text{ га/зміну}$$

Отже, визначивши продуктивність за час зміни, необхідно обчислити годинну продуктивність, яку визначаємо за формулою (4.3):

$$W_{\text{г}} = \frac{W_{\text{зм}}}{T_{\text{зм}}} = \frac{20,83}{7} = 3,07 \text{ га/год}$$

Коефіцієнт змінності визначаємо за відомою формулою (4.5):

$$(\tau)K_{\text{зм}} = \frac{13,5}{7} = 1,92$$

Для виконання роботи на площі 50 га слід знайти необхідну кількість машин за формулою (4.6):

$$n_a = \frac{50}{3,07 \times 7 \times 5} \approx 1$$

Отже, на виконання операції оранка необхідно застосувати один комбінований плуг. Далі розраховуємо кількість палива, яке буде витратитися на виконання одиниці роботи за формулою (4.7):

$$G = \frac{0,240 \times 119,2 \times 0,95}{3,07} = 8,9 \text{ кг/га}$$

Коефіцієнт завантаження визначаємо за формулою (4.8):

$$\eta_u = \frac{20,54}{15,96} = 1,28$$

На виконання даного завдання витрачаємо час, який розраховуємо наступним чином, год:

$$H = \frac{1 + 0}{3,07} = 0,32$$

В ході експлуатації роторного плуга витрачені кошти по чотирьом показникам, розрахунок яких приведений вище. Тому для підсумування витрат скористаємося формулою (4.10):

$$C = 9,3 + 512,99 + 41,32 + 52,88 = 616,49 \text{ грн/га}$$

Після визначення експлуатаційних витрат визначили капітальні вкладення для комплексу машин, що складало 456,93грн/га, для роторного плуга 255,4 грн/га. Величина приведених витрат для лемішного плуга з дисковою бороною сумарно складала 1087,53 грн, для комбінованого плуга – 654,8 грн.

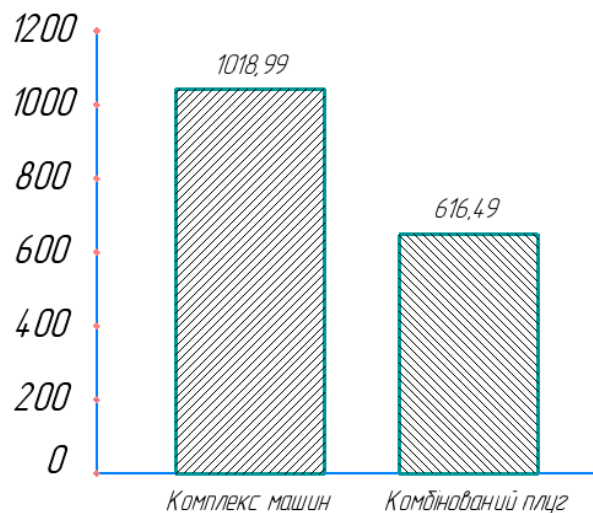


Рис.4.1 Прямі експлуатаційні витрати

Визначивши кількість гектар, яка буде оброблятися новим плугом за рік розраховуємо економічний ефект, і отримуємо  $E_{\Phi} = 132848,11$  грн.

В таблиці 4.1 представлено результати обрахунку економічного розрахунку.

Таблиця 4.1

Характеристика	Позначення	Одиниця виміру	Комплекс машин (БДТ-3 та ПЛН-3-35)	Комбінований плуг
Витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу,	$C_1$	грн/га	14,87	9,3
Вартість ПММ	$C_2$	грн/га	822,52	512,99
Витрати на відновлення складових елементів	$C_3$	грн/га	84,49	44,32
Витрати на ремонт та технічне обслуговування	$C_4$	грн/га	97,11	52,88
Прямі експлуатаційні витрати	$C$	грн/га	1018,99	616,49
Приведені витрати	$\Pi$	грн/га	1087,53	654,8
Капітальні вкладення	КВ	грн/га	456,93	255,4
Річний наробіток	$P$	га	307	307
Річний економічний ефект	$E_{\phi}$	грн	-	132848,11

Виконання передпосівного обробітку ґрунту плугом з активною полицею складає  $0,32 \frac{\text{ос} \times \text{год}}{\text{га}}$ . Матеріалом для створення конструкції даного плуга є сталь.

Вартість роторного плуга становить приблизно 59800 грн без ПДВ.

## ВИСНОВКИ

1. Форма ножів ротора дозволяє подрібнити рослинні рештки бур'яну, ґрунт та добрива з одночасним перемішуванням шарів ґрунту. За рахунок форми ротора у вигляді усіченого конуса та кута вигину ножів до верху відбувається оптимальний переверт скиби ґрунту та скидання грудочок ґрунту на дно борозни.

2. Використання плуга дозволило зменшити енерговитрати на виконання технологічних операцій та замінити комплекс машин, який використовувався для передпосівної обробки.

3. Застосування комбінованого плуга можливе тільки на ґрунтах, вологість яких не перевищує 40% та не має високого рівня твердості.

4. Застосування плуга з роторами дало змогу збільшити швидкість обробки ґрунту, що в свою чергу збільшило годинну продуктивність.

5. Годинна продуктивність нового агрегату складає 3,07 га/год при ширині захвату 1,6 м та робочою швидкістю 10 км/год.

6. В конструкції плуга слід застосувати захист для запобігання потрапляння бруду між шківом і пасом передачі для запобігання сходження його зі шківа, що може спричинити руйнування конструкції ротора.

7. Виконання оранки плугом з активною полицею відповідає агротехнічним вимогам, які стосуються оранки та дискування, а саме заробка поживних решток, гребенистість.

8. Ножі ротора слід заточувати та проводити заміну кожного року для забезпечення ефективного виконання завдань - кришення ґрунту та рослинних решток.

9. Конструктивний діаметр верхнього диску з ножами має бути 0,4 метра. Нижній диск буде 0,16 м діаметром. Висота робочої зони ротора (п'ять дисків) складає 0,45 м. Кількість ножів на диску – 3. Частота обертання ротора становить 360 обертів за хвилину.

10. Обробіток ґрунту виконується роторним плугом на глибину – 23 см при робочій швидкості 10 км/год.

11. При проведенні економічного розрахунку отримали капіталовкладень на 1 га на 55% менше, ніж на комплекс машин.

12. При використанні трактора номінальна потужність складала 119,2 кВт з витратою палива 8,9 кг/га.

13. При використанні комбінованого плуга економічний ефект складає 132848,11 гривень.

14. Використання плуга з роторами є доцільним та економічно вигідним та менш енерговитратним, ніж використання великої кількості с.г. машин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні технології обробітку ґрунту [Електронний ресурс] // Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/osnovni-tehnologiyi-obrobitku-gruntu>.
2. Технології обробітку ґрунту: види, застосування, переваги й недоліки [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://sasagro.com/ua/novitni-tehnologi%D1%97/tehnologiyi-obrobitku-gruntu-vydy-zastosuvannya-perevagy-j-nedoliky/>.
3. Дацько Л.В. Висловлювання про ґрунт [Електронний ресурс] / Дацько Л.В // Blogger. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://soils-roduchist.blogspot.com/2013/09/blog-post.html>.
4. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В. Ю. Льщенко. – К. : Вища школа, 2020. - 288 с.
5. Примак І. Механічний обробіток ґрунту / І. Примак, О. Панченко, С. Левандівська. – Київ: Твори, 2019. – 428 с.
6. Вожегова Р. А. No-till система землеробства в Україні: наука і практика / Р. А. Вожегова, М. П. Малярчук, Л. М. Грановська. – Київ: Олді+, 2021. – 218 с.
7. Панас Р. М. Основи ґрунтознавства / Р. М. Панас. – Київ: Новий світ-2000, 2019. – 248 с.
8. Сільськогосподарські машини : підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. — к.: «Агроосвіта», 2015. — 679 с.
9. Войтюк Д. Г. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ / Д. Г. Войтюк, Г. В. Гаврилук. – Київ: "Каравела", 2021. – 552 с. – (2).
10. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку / Д. Г. Войтюк. – Київ: Університетська книга, 2020. – 543 с.
11. Оранка: переваги і недоліки [Електронний ресурс] // "АгроЕліта" ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ АГРАРНИЙ ЖУРНАЛ. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroelita.info/oranka-perevagy-i-nedoliky/>.
12. Плуги: призначення, класифікація та огляд популярних моделей [Електронний ресурс] // "АгроЕліта" ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ АГРАРНИЙ

ЖУРНАЛ. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroelita.info/pluhy-pryznachennia-klasyfikatsiia-ta-ohliad-populiarnykh-modeley/>.

13. Закриття вологи на полях: чи варто проводити цю операцію? [Електронний ресурс] // "АгроЕліта" ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ АГРАРНИЙ ЖУРНАЛ. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroelita.info/zakryttya-volohy-na-polyah-chy-varto-provodyty-tsyu-operatsiyu/>.

14. Корягін М. Основи наукових досліджень / М. Корягін, В. Чік. – Київ: "Алерта", 2019. – 492 с.

15. Польова О. Яка технологія обробітку ґрунту впливає на кращу родючість землі? [Електронний ресурс] / О. Польова // Здорова земля України. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://healthysoil.in.ua/yaka-tekhnolohiya-obrobitku-gruntu-vplyvaye-na-krashchu-rodyuchist-zemli/>.

16. Яременко В. В. Теорія машин і механізмів / В. В. Яременко, О. Троханяк. – Київ: Центр учбової літератури, 2024. – 244 с. – (Агресивна бібліофілія).

17. ТЕОРІЯ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ Підручник для студентів закладів вищої освіти / В. М.Булгаков, О. М. Черниш, В. В. Адамчук, М. Г. Березовий. – Київ: Центр учбової літератури, 2019. – 608 с.

18. Мархель І. Деталі машин / Іван Мархель. – Київ: Алерта, 2016. – 368 с.

19. Малащнко В. О. ДЕТАЛІ МАШИН: ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ / В. О. Малащнко, В. В. Янків. – Київ: Новий світ-2000, 2023. – 264 с.

20. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів [Електронний ресурс] // Миколаївський Національний Аграрний Університет. – 2019. – Режим доступу до електронного ресурсу: [https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3073/1/Dumenko\\_K.MTVSM\\_KL.pdf](https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3073/1/Dumenko_K.MTVSM_KL.pdf).

21. Фізико-механічні властивості ґрунтів [Електронний ресурс] // Одеський Національний Університет імені І.І. Мечникова. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/52a58596-137d-4411-ae21-e5954f6b89cb/content>.

# ДОДАТКИ

## Технологічна карта на вирощування гречки з застосуванням комплексу машин

№	Операція	Дні	дата поч	енергомац	с.г машина	Qф	Qум	коэф. Зн	Wг	год /добу	Прод. За добу	необх. Маш	Експ. Витр	коэф. Завант	Паливо	Н	Години	Персон.
1	дискування	3	20.Сер	т-150к	БДТ-7	100	17,37	1,43	9,5	7	66,5	1	458,2	0,82	2,39	0,11	10	1
2	навантаження МД	8	03.Вер	мтз-82	ПКУ-0,8	42,5	0,64	1,43	46,8	7	327,6	1	7,8	0,01	0,61	0,02	10	1
3	Транс. І внес.	8	03.Вер	мтз-82	МВУ-5	100	22,60	1,43	7,3	7	51,1	1	94,8	0,17	3,89	0,14	10	1
4	Оранка	8	03.Вер	т-150к	ПЛН-5-35	100	61,30	1,43	2,69	7	18,83	1	800	1,40	10,55	0,37	10	1
5	Закриття вологи	2	31.Бер	мтз-82	С-11У	100	8,75	1,00	8	7	56	1	70,16	0,89	3,55	0,13	7	1
6	Культивація	3	05.Тра	т-150к	КГ-8	100	11,67	0,86	6	7	42	1	156	0,92	4,73	0,17	6	1
7	Передпос. Культ	5	20.Тра	мтз-82	АГ-3	100	31,82	1,43	2,2	7	15,4	1	260,29	0,93	12,90	0,45	10	1
8	навантаження МД	5	20.Тра	мтз-82	ПКУ-0,8	18,2	0,39	1,43	46,8	7	327,6	1	7,78	0,01	0,61	0,02	10	1
9	навантаж. насіння	5	20.Тра	АИР112М4	ЗПС-100А	9	0,11	1,43	81,2	7	568,4	1	3,29	0,00	0,35	0,01	10	1
10	Транспортув. НМД	5	20.Тра	ГАЗ-53зс	ЗАУ-3	189	5,81	1,43	32,5	7	227,5	1	17,97	0,12	0,87	0,03	10	1
11	Сівба	5	20.Тра	мтз-82	СЗ-3.6	100	9,70	2,00	7,2	7	50,4	1	320	0,79	3,94	0,14	14	1
12	Скошув. Гречки	5	18.Сер	мтз-82	ЖВП-6А	100	20,41	1,43	4,9	7	34,3	1	225,6	0,41	5,79	0,20	10	1
13	Під .вап. Розкид	4	16.Сер	ДОН-1500	Х-6	100	35,71	1,43	2,8	7	19,6	1	1751	0,90	10,14	0,36	10	1
14	Траспорт. Зерна	4	16.Сер	ГАЗ-53Б		2400	112,68	1,43	21,3	7	149,1	1	18,3	0,94	1,33	0,05	10	1
15	Транспорт. Соломи	4	16.Сер	мтз-82	ПТС.854545	100	38,46	1,43	2,6	7	18,2	1	176,3	0,49	10,92	0,38	10	1
16	Очищення зерна	4	16.Сер	АИР132М4	МПО-50	400	15,87	1,43	25,2	7	176,4	1	13,45	0,40	1,13	0,04	10	1
17	Транспорт. Зерна	4	16.Сер	ЗИЛ-130	ИАПЗ-754В	4800	93,75	1,43	51,2	7	358,4	1	12,39	1,17	0,55	0,02	10	1
18	Навант. Соломи	6	16.Сер	мтз-82	ФН-1.4	250	18,38	1,43	13,6	7	95,2	1	34,5	0,31	2,09	0,07	10	1
19	Скиртув. Соломи	6	16.Сер	мтз-82	ПФ-0.5С	250	51,02	1,43	4,9	7	34,3	1	92,14	0,86	5,79	0,20	10	1

Таблиця з даними для економічного розрахунку

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Комплекс машин з трактором Т-150К		Комбінований плуг з активними полицями з Т-150К
			БДТ-3	ПЛН-3-35	
Балансова вартість трактора	$B_T$	грн	1200000	1200000	1200000
Балансова вартість с.г. машини	$B_M$	грн	53916	50000	59800
Витрати на відновлення складових елементів	$a_T$	%	19	19	19
	$a_M$	%	12	12	12
Витрати на ремонт та технічне обслуговування	$b_T$	%	20	20	20
	$b_M$	%	23	23	23
Витрата палива	$Q$	кг/год	5,2	10,3	8,9
Годинна продуктивність	$W_T$	га/год	3,87	2,7	3,07
Нормативне річне завантаження	$t_{н.т.}$	год	1800	2000	2000
	$t_{н.м.}$		400	410	325
Річне завантаження машин	$t$	год	400	400	100
Комплексна ціна палива	$P$	грн/кг	57,64	57,64	57,64
Оплата праці	ЗП	грн	22,50	24,50	25,50