

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 20 ____ р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
Андрій ВОЙТІК
(підпис) (ініціали, прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА
магістр
(освітній рівень)

тема роботи **«УДОСКОНАЛЕННЯ ГРУНТООБРОБНИХ СФЕРИЧНИХ
ДИСКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ З НАХИЛЕНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Пасічник Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.е.н., доцент, Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **Андрій ВОЙТІК**
“ ____ ” _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ Пасічнику Дмитру Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення ґрунтообробних сферичних дискових робочих органів з нахиленою віссю обертання» _____

керівник роботи _____ Кутковецька Т.О., к.е.н., доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“ 04 ” листопада 2024 р. № 01-06/297

2. Строк подання студентом роботи _____ 22.11.2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи; напрацювання науковців щодо конструкцій дискових ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту. _____

4. Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; аналіз відомих конструкцій дискових робочих органів ґрунтообробних машин; теоретичні та експериментальні дослідження параметрів сферичних дискових робочих органів з нахиленою віссю обертання; охорона праці; техніко-економічна ефективність застосування нового робочого органу. _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; _____

РЕФЕРАТ

Пасічник Д.О. Удосконалення ґрунтообробних сферичних дискових робочих органів з нахилоною віссю обертання (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 63 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 40 рисунків, 5 таблиць, 21 джерело літератури).

Обробіток ґрунту – це зміна стану ґрунтового середовища внаслідок впливу на нього робочих органів машин для створення культурним рослинам сприятливих умов їх росту і розвитку. Одним із найбільш поширених в Україні способів обробітку ґрунту під основні сільськогосподарські культури є мілкий (до 16-18 см) за допомогою дискових борін зі сферичними дисковими робочими органами, (СДРО) диски яких вільно обертаються навколо осі. Такий обробіток створює достатні умови для росту і розвитку рослин при помірних питомих витратах енергії.

Тому, в дипломній роботі розглянуто тенденції розвитку конструкцій дискових ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту та визначено раціональні параметри сферичних дискових робочих органів з віссю обертання, нахилоною під кутом до горизонтальної площини.

Об'єкт дослідження – технологічний процес взаємодії сферичних дискових робочих органів з ґрунтом, їх параметри та режими роботи.

Предмет дослідження – вплив параметрів і режимів роботи сферичних дискових робочих органів з нахилоною віссю обертання, на енергетичні та технологічні показники.

Метою досліджень є підвищення ефективності роботи та скорочення питомих витрат енергії ґрунтообробних знарядь зі сферичними дисковими робочими органами з нахилоною віссю обертання.

Ключові слова: РОБОЧІ ОРГАНИ, СФЕРИЧНІ ДИСКИ, ПАРАМЕТРИ, КУТ РІЗАННЯ, НАХИЛЕНА ВІСЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ.....	7
1.1. Аналіз сучасних технологій обробітку ґрунту та тенденції розвитку конструкцій дискових ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту.....	7
1.2. Аналіз аналітичних досліджень з особливостей конструкції та роботи дискових ґрунтообробних знарядь.....	13
1.3. Мета і завдання дослідження.....	18
Висновки по розділу.....	18
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	20
2.1. Обґрунтування допустимих меж змінення кута атаки та кута нахилу площини диска до вертикалі.....	20
2.2. Аналіз переміщення точки леза сферичного диска та визначення кута його різання.....	21
2.3. Силевий аналіз взаємодії сферичного дискового робочого органу з ґрунтом.....	33
Висновки по розділу.....	40
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	41
3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.....	41
3.2. Дослідження зміни сил, що діють на сферичний дисковий робочий орган..	43
Висновки по розділу.....	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
4.1. Організація і заходи охорони праці в господарстві.....	55
4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з ґрунтообробним агрегатом.....	56
Висновки по розділу.....	57
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ЗІ СФЕРИЧНИМИ ДИСКОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ З НАХИЛЕНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

ВСТУП

Обробіток ґрунту – це зміна стану ґрунтового середовища внаслідок впливу на нього робочих органів машин для створення культурним рослинам сприятливих умов їх росту і розвитку. Одним із найбільш поширених в Україні способів обробітку ґрунту під основні сільськогосподарські культури є поверхневий за допомогою дискових борін зі сферичними дисковими робочими органами. Такий обробіток створює достатні умови для росту і розвитку рослин при помірних питомих витратах енергії.

Ґрунтообробні знаряддя зі сферичними дисковими робочими органами (СДРО) мають високу технологічну надійність роботи серед інших робочих органів, що дуже важливо при підготовці ґрунту до сівби зернових у стислі строки на полях з пожнивними рештками зернових, сої, ріпаку та інших культур.

Останнім часом ґрунтообробні знаряддя зі сферичними дисковими робочими органами широко застосовуються на всіх видах обробітку ґрунту, починаючи від мілкого на луценні стерні після збирання врожаю до основного в усіх ґрунто-кліматичних зонах України. Ці знаряддя маючи переваги у відносній простоті конструкції і експлуатаційному використанні, скорочують витрати енергії до 20 % і підвищують продуктивність праці на 20-25 % при якісному обробітку ґрунту відповідно до агровимог. Сьогодні для обробітку ґрунту на глибину до 16-18 см ринок сільськогосподарської техніки пропонує ґрунтообробні знаряддя зі СДРО, диски яких встановлено під кутом до вертикалі. Деяке підвищення складності конструкції цього знаряддя окупається покращенням якості обробітку ґрунту і зменшенням витрат енергії.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

1.1. Аналіз сучасних технологій обробітку ґрунту та тенденції розвитку конструкцій дискових ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту.

На основі розгляду і аналізу традиційних технологічних процесів встановлено, що витрати енергоресурсів на обробіток ґрунту складають до 30 % усіх витрат [3], що не завжди виправдано з точки зору виконання таких обсягів робіт з обробітку ґрунту відповідно до агротехнологічних вимог, які в основному полягають у знешкодженні, тобто повному підрізанні бур'янів і створенні необхідної для вирощування певної культури щільності ґрунту.

Виконуючи обробіток ґрунту в повному обсязі за традиційною технологією, машинно-тракторні агрегати опорними колесами трактора і ґрунтообробного знаряддя здійснюють невиправдане і небажане ущільнення ґрунту. Причому на виконання такого обробітку ґрунту витрати палива складають 31,4-38,8 кг/га, трудовитрати 1,13-2,12 люд-год/га, а прямі експлуатаційні витрати 456,9-469,8 грн/га [3]. Застосовуючи замість традиційної технології обробітку ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур технології мінімального обробітку ґрунту, ці витрати можна скоротити в 3-4 рази, замінивши оранку поверхневим обробітком ґрунту без обертання скиби. При цьому забезпечується підрізання бур'янів, розпушування ґрунту, вирівнювання поверхні, перемішування та зароблення рослинних решток в оброблений шар ґрунту.

На основі аналізу тенденцій розвитку технологій та техніки, що застосовуються у сільськогосподарському виробництві з метою зменшення витрат енергії та праці при обробітку ґрунту, встановлено, що найменш енергоємною операцією є обробіток ґрунту з використанням борін із сферичними дисковими робочими органами [4].

У зв'язку з наведеним вище доцільно розглянути та проаналізувати сучасний стан розвитку конструкційно-технологічних схем дискових борін, виявити

особливості їх роботи і можливості використання для мінімізації обробітку ґрунту замість глибокого відвального обробітку з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів та створення сприятливих умов для проростання висіяного насіння, росту і розвитку рослин.

Аналізуючи експоновані зразки ґрунтообробної техніки на щорічних міжнародних виставках, можна зробити висновок, наскільки збільшилась кількість зразків дискових борін серед загального розмаїття ґрунтообробних знарядь протягом останніх років. Виробники ґрунтообробної техніки: Lemken, Kuhn, Amazone, Kverneland, GregoireBesson, Horsch, Franguet, GreatPlains, MaseiFerguson і багато інших фірм практично з усіх країн світу (США, Франції, Німеччини, Італії, Канади та інші) пропонують по декілька зразків дискових борін. В Україні дискові борони виробляють більше десяти заводів, причому типорозмірний ряд сягає десяти-дванадцяти моделей різної ширини захвату для енергозасобів різних тягових класів, не враховуючи різні конструкційні схеми.

Робочими органами дискових борін є сферичні диски з суцільним загостренням леза та вирізні. При роботі дискової борони в процесі контакту з ґрунтом орієнтовно на одній третині кола лезо диска відрізає шар ґрунту від моноліту. При цьому ґрунт підрізується, деформується і переміщується вбік до напрямку руху дискової борони.

Розвиток конструкції знарядь зі СДРО привів до появи дискових борін з віссю обертання, нахиленою під кутом до горизонтальної площини СДРО. Такі робочі органи встановлюються на окремих стояках, осі обертання яких відхилені від горизонтальної площини на кут, що дорівнює куту нахилу диска до вертикалі.

В конструкціях дискових ґрунтообробних знарядь застосовуються робочі органи з різною формою та розмірами (рис. 1.1) [6]. Дискові борони з батарейним розміщенням робочих органів за конструкційним вирішенням дозволяють встановлювати і регулювати тільки величину кута атаки розташування дисків до прямої руху.

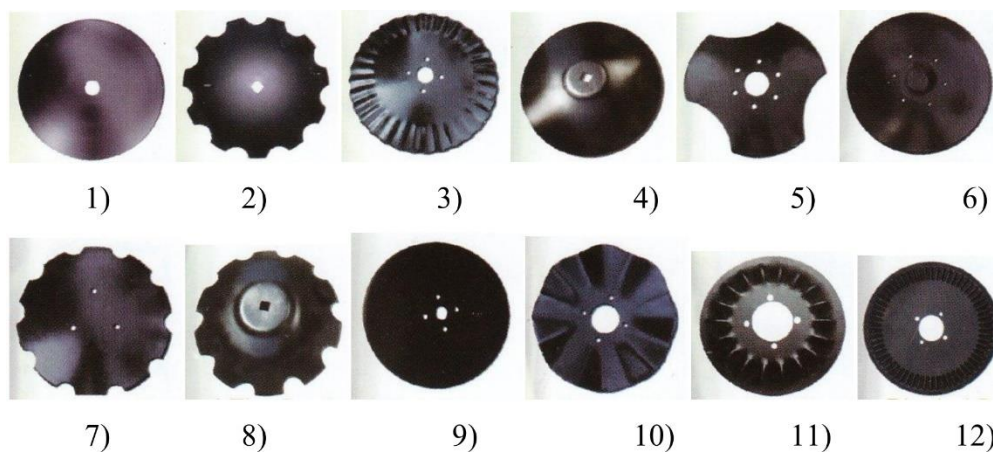


Рисунок 1.1 – Варіанти конструкційного виконання дискових робочих органів:
 1-плоский суцільний; 2-вирізний сферичний; 3-рифлений плоский; 4-сферичний суцільний; 5-конічний; 6-купольний; 7-безцентровий вирізний; 8-вирізний з задньою випуклістю; 9-плоский суцільний; 10-плоский хвилястий; 11-плоский з випукlostями; 12-плоский гофрований

СДРО можуть бути класифіковані за формою сферичності, загостренню леза, способу встановлення дисків в горизонтальній та вертикальній площинах.

За формою сферичності використовують дискові робочі органи з постійною кривизною, тобто сферичні, а також у вигляді зрізаного конуса. Можливі також диски зі змінною кривизною, еліптичні, параболічні та інші.

У виробництві найбільшого застосування знайшли сферичні диски з постійною кривизною сфери.

За формою загострення леза використовують диски з однобічним зовнішнім загостренням відносно до кривизни сферичності дисків, з внутрішнім або двобічним загостренням. У виробництві найбільше застосування знайшли диски з зовнішнім загостренням.

За формою леза сферичні диски поділяються на диски з суцільним лезом та, так звані, вирізні. При цьому вирізи можуть бути трикутні, трапецієвидні, овальні та іншої форми.

За способом встановлення диски можуть бути з відхиленням в горизонтальній площині до напрямку їх руху, так званого кута атаки, для забезпечення найбільш ефективного розпушення ґрунту в залежності від його

фізико-механічних характеристик. Більш універсальним встановленням дисків на вісі обертання є комбінований спосіб, коли встановлюється кут атаки і кут нахилу до вертикалі, за рахунок чого зменшується кут різання ґрунту і зменшуються витрати енергії на обробіток ґрунту [2].

Слід відзначити, що СДРО застосовуються для лушення стерні, суцільного або смугового, поверхневого або глибокого обробітках ґрунту, а також в сошниках сівалок для міжрядного обробітку ґрунту при сівбі просапних культур, міжстовбурного обробітку ґрунту в садах, в якості маркерів при виконанні посівних робіт, внесенні мінеральних добрив та отрутохімікатів.

Широке застосування СДРО свідчить про їх універсальність. Проте найбільш широкого застосування вони знайшли в конструкціях дискових борін.

Розглянемо особливості конструкційного виконання кріплення робочих органів дискових борін такого типу. Кіровоградський завод ПАТ «Червона зірка» виготовляє два варіанти таких борін [7]: 1) двохрядна навісна 2400, причіпні Палада 3200 і Палада 4000 (рис. 1.2); 2) причіпні чотирирядні борони Антарес 4х4 та Антерес 6х4 (рис. 1.3). Всі ці дискові борони обладнані сферичними вирізними дисками і мають ширину захвату відповідно 1) 2,4; 3,2; 4,0 м 2) 4,0 та 6,0 м.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд дискової борони Палада 4000

Ці борони розраховані на ґрунти твердістю до 3,5 МПа і вологістю до 27 % в шарі ґрунту, що обробляється.

Встановлені на індивідуальних стійках з підшипниковими вузлами на внутрішньому боці сферичної поверхні диска виключають можливість намотування на вісь диска рослинних решток. За ходом руху після дисків

встановлені планчасті котки для прикочування та вирівнювання поверхні обробленого шару ґрунту.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд дискової борони Антарес 6х4

ТОВ НВП «БілоцерківМАЗ» виготовляє ґрунтообробні знаряддя трьох типів: АГ, МАГ, та УДА [1]. Їх загальний вигляд наведено на прикладі двох, так званих, дискових агрегатів в навісному та причіпному варіантах на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд універсального дискового агрегату УДА-3,1-20

Також передбачено в залежності від вологості ґрунту три різних варіанти котків: для вологих ґрунтів планки котків зроблені з труби, для сухих ґрунтів котки складаються з металевих планок, розташованих вздовж вісі котка і, так звані, універсальні котки, виготовлені з планок трикутного профілю.

Конструкції вітчизняних та імпорتنих борін із СДРО є практично ідентичними. Проте слід відзначити деякі відмінності імпорتنих борін. Так, фірма HORSCH на дисковій бороні Jokez 4 СТ встановлює на стійках здвоєнні рівновеликі диски (рис. 1.5) [9].

Така конструкція за твердженням виробників покращує прохідність борони та забезпечує розгортання ґрунту поміж основними ґрунтообробними дисками.



Рисунок 1.5 – Вигляд здвоєних рівновеликих дисків у двох виконаннях:
а – різних діаметрів; б) – різного виконання

Заслужовують на увагу також різні конструкційні рішення стійок дискових робочих органів фірми «AgrisemInternational» (рис. 1.6) [8], які для запобігання пошкодження під час роботи виконані з використанням пружинних запобіжників.

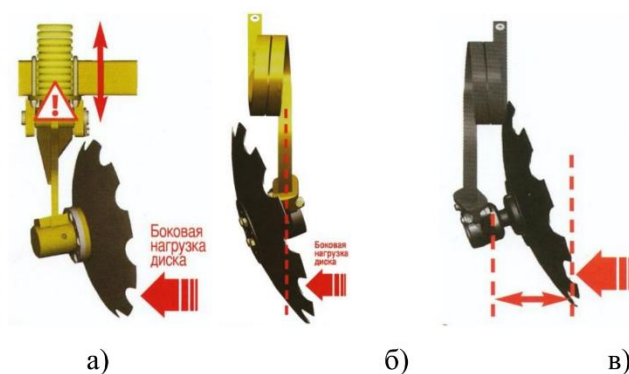


Рисунок 1.6 – Пружинні стійки дискових борін фірми «AgrisemInternational» з розміщенням підшипникового вузла: а, в – з тильної сторони диска;
б – з внутрішньої сторони

Отже, підвищення якості роботи дискових борін передбачає застосування в їх конструкції можливості зміни кута між віссю обертання та горизонтальною площиною. Однак в літературі відсутні кількісні показники впливу параметрів СДРО з кутом нахилу дисків до вертикалі на енергоємність та якість обробітку. Не відзначено залежності та закономірності зміни основних параметрів цих СДРО. Це, в свою чергу, значно ускладнює процес удосконалення таких борін. Звідси випливає необхідність дослідження таких залежностей та встановлення закономірностей їх зміни в типових умовах експлуатації.

1.2. Аналіз аналітичних досліджень з особливостей конструкції та роботи дискових ґрунтообробних знарядь.

При роботі СДРО ґрунт зазнає різної деформаційної дії: від стискання, підрізання, підняття підрізаної скиби, згинання її внутрішньосферичною поверхнею, що супроводжується подрібненням і подальшим відкиданням подрібненого ґрунту під дією інерційних сил у бік сусіднього сферичного диска. Для СДРО, що з'єднані у вигляді дискової батареї і мають регулювання кута атаки, тобто зміну величини кута відхилення дисків в горизонтальній площині, результати теоретичних досліджень відомі. В останні роки багато сільгоспмашинобудівних заводів розпочали випуск дискових борін, у яких СДРО встановлені на окремих стійках і мають незалежні вісі обертання, на яких диски встановлюються під кутом атаки і кутом відхилення від горизонтальної площини, що покращує умови підрізання скиби ґрунту.

У зв'язку з тим, що в основу СДРО покладено кут нахилу дисків до вертикалі, є необхідність виконати огляд наявних результатів теоретичних досліджень СДРО, проаналізувати і узагальнити їх, виявити шляхи підвищення ефективності роботи – зменшення витрат енергії і підвищення показників якості роботи.

Питанням обґрунтування та вдосконалення конструкцій СДРО велику увагу в своїх дослідженнях приділили багато науковців. В значній мірі вивчено і обґрунтовано параметри сферичних дисків для такого ґрунтообробного знаряддя, як дискові луцильники і частково дискові борони, які широко мало застосовуються. Досліджено кінематику руху диска в процесі роботи дискового ґрунтообробного знаряддя і його взаємодію з ґрунтовим середовищем [13, 14].

У результаті досліджень автори [13] описують траєкторію руху леза диска в системі координат рівняннями, що мають вигляд:

$$\begin{cases} x = V_n \cdot t + R \cdot \sin\alpha \cdot \sin\omega t + R \cdot \cos\alpha \cdot \cos\omega t \\ y = R \cdot \cos\alpha - \sin\omega t - R \cdot \sin\alpha \cdot \cos\omega t \\ z = -R \cdot \sin\omega t \end{cases}, \quad (1.1)$$

де $хуз$ – система координат траєкторії руху леза диска; V_n – поступальна швидкість руху агрегату, м/с; t – час обертання диска, с; R – радіус сфери диска, м; α – кут атаки, град; ω – частота обертання, рад/с.

На основі цих рівнянь розглянуто і визначено швидкість руху при різанні ґрунту лезом дискового ножа, зусилля різання ґрунту та інші деформації.

Швидкість руху диска визначається за формулою [13]:

$$V = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} = V_n \sqrt{1 + R^2 + 2\lambda(\sin \alpha \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t)}, \quad (1.2)$$

де V – швидкість руху диска, м/с; $\lambda = \omega R / V_n$ – кінематичний параметр диска.

Процес взаємодії сферичного диска з ґрунтом включає наступні фази [13]:

- відрізання з частковим підрізуванням скиби ґрунту лезом диска;
- переміщення відрізаного ґрунту по внутрішній сферичній поверхні диска;
- відділення і відкидання ґрунту під дією інерційних сил і сферичної поверхні диска.

При цьому відрізана скиба ґрунту подрібнюється. З приводу визначення параметрів сферичних дисків у працях [19, 20] прийняте за основу подвоєне середньопропорційне значення між різницею $D - c$ діаметра D і висоти поздовжніх гребенів c :

$$D_c = D - 2c = 2\sqrt{c(D - c)}, \quad (1.3)$$

де D_c – подвоєне середньопропорційне значення між різницею діаметра і висоти поздовжніх гребенів; D – діаметр диска, м; c – висота гребеня, м.

При цьому встановлена емпірична залежність сферичності диска від його діаметра:

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi} \quad (1.4)$$

де R – радіус диска, м φ – кут сферичності, град.

Основні параметри дискових борін – діаметр диска та віддаль між дисками автори [20] визначили, виходячи із параметрів процесу дискування, а саме глибини розпушування ґрунту допустимої висоти гребенів на дні борозни. Однак отримані

залежності придатні не в усіх випадках, зокрема коли глибина дискування знаходиться в межах 20-30 см. Крім того, авторами прийнято певне співвідношення між глибиною дискування та висотою гребенів дна борозни. Практичне сучасне застосування операції дискування показує, що таке співвідношення є досить умовним. Особливо, якщо дискові знаряддя застосовуються для подрібнення пожнивних решток перед глибокою оранкою або смуговим розпушенням. В цих випадках застосування даних залежностей приводить до створення непрацездатних конструкцій.

У праці [13] для визначення величини гребеня включено практично всі параметри сферичного диска, навіть з урахуванням кута нахилу до горизонту:

$$h_n = (R - \sqrt{R^2 - \frac{b^2}{\varphi \cdot \sin^2 \alpha}}) \cdot \cos \beta, \quad (1.5)$$

де h_n – висота поздовжнього гребеня, м; R – радіус диска, м; b – відстань між дисками, м; α – кут атаки, град; β – кут нахилу диска, град.

Ця формула пов'язує практично всі параметри СДРО, за виключенням технологічного показника глибини обробітку ґрунту, який за результатами досліджень не впливає на величину висоти гребенів.

Що стосується площі перетину S_n шару ґрунту, який обробляється одним диском або дисковою бороною в цілому, то за його значенням розраховується потрібне тягове зусилля енергетичного засобу. За даними [19] це зусилля визначається із залежності питомого опору на ширину захвату дискового знаряддя, але ці дані не завжди можна правильно визначити.

За даними [13], формулу для визначення поперечного перетину шару ґрунту подає в такому вигляді:

$$S_n = b(h - h_n) + E_2 R^2 \sin \alpha \cos \beta, \quad (1.6)$$

де S_n – поперечний перетин шару ґрунту; h – глибина обробітку ґрунту, м.

Ця формула може використовуватись у процесі розробки ґрунтообробного знаряддя з СДРО для обробітку ґрунту на задану глибину.

Одним із основних критеріїв оцінки ефективності знарядь є питомі витрати енергії на виконання операції дискування. Тому більшість вчених, що досліджували СДРО, займалися визначенням зусиль, що діють на робочі органи при взаємодії їх з ґрунтом, з виконанням аналізу сил і моментів відносно сферичної поверхні дисків [13]. При аналізі сил, які діють на сферичні диски, авторами було зроблено припущення, що горизонтальне зусилля реакції ґрунту діє в напрямку основної лінії руху дискової батареї, а вертикальна складова цієї сили прикладається до середнього диска батареї. За даними [19], горизонтальна сила опору відхилена на кут до осі обертання дисків, величина якого залежить від багатьох факторів. На основі отриманих результатів розроблено положення теорії для визначення кута φ_k , який створюється між поздовжньою силою опору ґрунту і віссю обертання дисків та отримано коефіцієнти n і m співвідношення між поздовжньою R_x , боковою R_y і вертикальною силою R_z :

$$R_y = nR_x, \quad (1.7)$$

$$R_z = mR_x. \quad (1.8)$$

Використовуючи ці коефіцієнти і дані лінійного динамометрування, за думкою Г.М. Синєокова [19], можна розраховувати вузли і деталі дискового ґрунтообробного знаряддя. Ним було визначено граничні межі цих коефіцієнтів для дискових борін і окремо для луцильників у залежності від зміни кута атаки (кута відхилення дисків від напрямку руху агрегату) в межах від 15° до 38° . При цьому коефіцієнт n змінюється в межах від 0,2 до 1,4. Мінімальна величина відповідає куту атаки $\alpha = 30^\circ$ і в залежності від глибини обробітку ґрунту знаходиться в межах 0,2-0,8, що свідчить про зменшення бокового зусилля опору при збільшенні глибини обробітку. Частково автор пояснює це збільшенням кута різання ґрунту за рахунок сферичності диска, який при малій глибині змінюється незначно, а при збільшенні глибини обробітку зовнішня сферична поверхня диска при поздовжньому русі агрегату не торкається до ґрунтового моноліту. При цьому коефіцієнт m при збільшенні глибини обробітку зростає.

Узагальнюючи основні результати аналітичних досліджень ряду дослідників [13], що досліджували СДРО і приймаючи точку O за початок координат x, y, z на

перетині осі обертання зі сферичною поверхнею диска, результуючу (сумарну) силу, прикладену в цій точці, можна визначити за формулою:

$$P_c = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}, \quad (1.9)$$

де P_c – результуюча сумарна сила, Н; P_x , P_y , P_z – складові проекцій сил, що діють на диск в поздовжньому, боковому і вертикальному напрямках, Н,

при цьому моменти сил визначають за формулою:

$$M_p = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (1.10)$$

де

$$M_x = \sum (P_z y_p - P_y z_p);$$

$$M_y = \sum (P_x z_p - P_z x_p);$$

$$M_z = \sum (P_y x_p - P_x y_p);$$

x_p , y_p , z_p – координати прикладання сил.

Виконані в різних умовах експериментальні дослідження рядом дослідників [14] свідчать, що складові сили опору ґрунту залежать від багатьох факторів. Тобто, аналізуючи тягову силу P_x і питому тягову силу P_{ix} у різних авторів, можна побачити ряд розбіжностей. За джерелами [20], сила P_x однакова для дискових і лемішних плугів при оранці легких і середніх за твердістю ґрунту. За даними інших авторів [6], сила P_x для дискових плугів менша, ніж при роботі лемішних плугів на практично однакових за твердістю ґрунтах, а окремі дослідники [11] одержали протилежні результати про те, що для дискових плугів ця сила більша, ніж для лемішно-відвальних робочих органів.

Зміна сил і моментів, що діють на СДРО, іноді залежить в більшій мірі від поєднання взаємодії двох і більше незалежних змінних параметрів ніж при зміні окремих з них [21]. У працях [13] авторами отримані значення заднього (зворотнього) кута як складової кута різання ґрунту, який досягає величини більше 120° . Це не відображає реальної суті обробітку ґрунту бороною з СДРО і суперечить положенням теоретичної механіки і опору матеріалів.

З урахуванням викладеного вище процес взаємодії СДРО з ґрунтом потребує подальшого дослідження.

1.3. Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи та скорочення питомих витрат енергії ґрунтообробних знарядь зі сферичними дисковими робочими органами з нахилоною віссю обертання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати існуючі технології та засоби механізації для поверхневого обробітку ґрунту;
- теоретично дослідити та обґрунтувати процес взаємодії сферичних дискових робочих органів з ґрунтом;
- визначити раціональні параметри сферичних дискових робочих органів з віссю обертання, нахилоною під кутом до горизонтальної площини: діаметр; радіус сфери; кут атаки; кут нахилу осі обертання до горизонтальної площини, тобто кут відхилення диска від вертикалі; кут різання ґрунту;
- експериментально перевірити результати аналітичних досліджень роботи СДРО з кутом нахилу осі обертання до горизонтальної площини;
- визначити техніко-економічну ефективність застосування дискової борони зі СДРО, нахиленими до вертикалі, порівняно з бороною, робочі органи якої не мають кута нахилу.

Висновки по розділу.

Із проведених досліджень в першому розділі можна зробити наступні висновки:

- 1) встановлено, що найбільший економічний ефект технологічного процесу обробітку ґрунту під сівбу зернових культур досягається при використанні знарядь з СДРО, які за якісними показниками відповідають агровимогам, зменшуючи витрати до 22 % порівняно з оранкою;

2) способи визначення кута різання ґрунту СДРО окремими дослідниками не відповідають реальній суті різання ґрунту в процесі обробітку, враховуючи велику відмінність в їх величині, що потребує досконалого дослідження за темою виконуваної дипломної роботи, тобто уточнення реальної суті взаємодії СДРО з ґрунтом.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування допустимих меж змінення кута атаки та кута нахилу площини диска до вертикалі.

Кут різання $\gamma_{\text{різ}}$ сферичного диска у загальному випадку складається із кута загострення леза ϵ та зворотного (заднього) кута α . При цьому кут загострення леза ϵ сферичного диска не є кутом різання ґрунту. Кут різання визначається з урахуванням кутів атаки α і нахилу β сферичного диска в поперечно-вертикальній площині до напрямку руху агрегату.

За умов вільного перекидання диска навколо осі його обертання кут атаки α та нахилу β впливає на змінення кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$.

З метою виключення (зменшення) тертя зовнішньої поверхні сферичного диска по ґрунту при установленні диска кути α та β регулюють відповідно до рекомендованого діапазону. При цьому кути α та β визначаються математичними залежностями:

для зовнішнього загострення леза диска і:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \beta \leq \arcsin \frac{D_{\text{дис}}}{2R_{\text{сф}}} + \epsilon \\ 45^\circ \geq \alpha \geq \arcsin \frac{D_{\text{дис}}}{2R_{\text{сф}}} + \epsilon \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

для внутрішнього загострення леза диска і:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \beta \leq \arcsin \frac{D_{\text{дис}}}{2(R_{\text{сф}} + \delta)} + \epsilon \\ 45^\circ \geq \alpha \geq \arcsin \frac{D_{\text{дис}}}{2(R_{\text{сф}} + \delta)} + \epsilon \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де $D_{\text{дис}}$ – діаметр сферичного диска, мм; $R_{\text{сф}}$ – радіус сфери сферичного диска, мм; δ – товщина диска, мм; ϵ – зворотній (задній кут), град ($\epsilon \approx 3-7^\circ$).

У загальному вигляді для запобігання тертя ґрунту по зовнішній поверхні диска кути атаки α і нахилу β обмежуються умовою:

$$45^\circ \geq \alpha \geq \arcsin \frac{D_{\text{дис}}}{2R_{\text{сф}}} + \epsilon \leq \beta \leq 0 \quad (2.3)$$

На рис. 2.1 наведено розрахункові дані змінення допустимих значень кута атаки α та кута нахилу β зовнішньої поверхні СДРО, які унеможливають (мінімізують) тертя цієї поверхні по ґрунту. За таких умов в залежності від діаметра диска і радіуса його сферичності величину кута α рекомендують визначати із зони, яка розташована поверх від наведених ліній, а величину кута β – внизу під відповідними лініями.

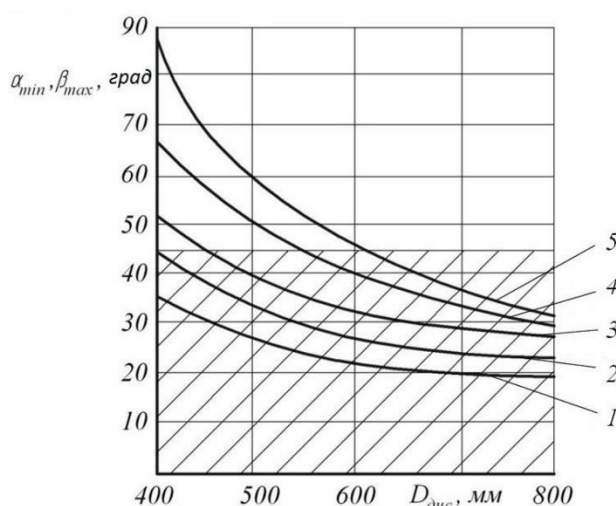


Рисунок 2.1 – Залежність мінімального кута атаки $\alpha_{\min}$ та максимального кута нахилу $\beta_{\max}$ від діаметра сферичного диска $D_{\text{дис}}$ та радіуса сфери $R_{\text{сф}}$:

1 – 400 мм, 2 – 500 мм, 3 – 600 мм, 4 – 700 мм, 5 – 800 мм

▨ – зона обмежень кутів

Ці залежності можна використовувати і для визначення мінімального кута атаки α і для запобігання тертя сферичною поверхнею об ґрунт в горизонтальній площині. Однак цю умову по відношенню до кута атаки α і його впливу на змінення кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ за рахунок постійної зміни зворотнього (заднього) кута ε в процесі перекочування сферичного диска буде розглянуто після детального аналізу.

2.2. Аналіз переміщення точки леза сферичного диска та визначення кута його різання.

У працях [14] проаналізовано змінення кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ в процесі роботи сферичного диска. На рис. 2.2 наведено схему послідовних діаметральних

перетинів сферичного диска, що контактує з ґрунтом в точці C леза за умов різного положення відносно вісі O .

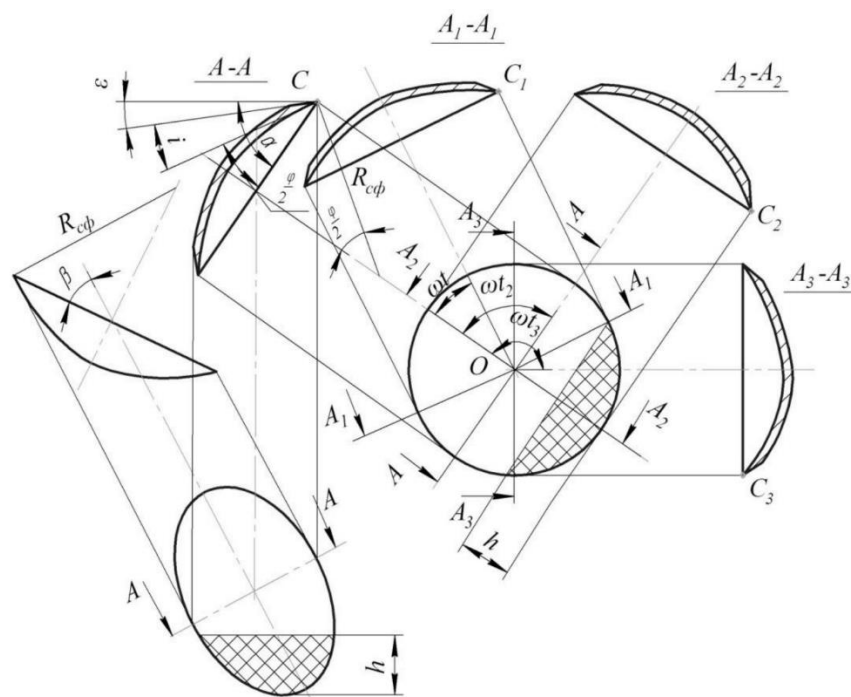


Рисунок 2.3 – Схема діаметральних перетинів сферичного диска в процесі його обертання для зафіксованої точки леза диска

Розглянемо траєкторію руху точки C . На початку контакту з ґрунтом у перетині A_1-A_1 вона займе положення C_1 і її відхилення від горизонталі визначається кутом ωt . Траєкторія руху точки C за умов взаємодії диска із ґрунтом буде визначатися такими положеннями: у перетині A_2-A_2 – C_2 , у заключній фазі руху A_3-A_3 – відповідно C_3 .

На схемі зображено діаметральний перетин сферичного диска (без контакту з ґрунтом) в горизонтальній площині з кутом атаки α . Диск встановлено за умов найменшого кута різання ґрунту $\gamma_{різ}$. За умов обертання сферичного диска навколо своєї осі кут $\gamma_{різ}$ внаслідок змінення зворотнього кута ε змінюється у значних межах. У положенні, коли лезо диска не має контакту з ґрунтом, враховувати кут ε , як складову частину кута різання $\gamma_{різ}$, недоцільно. Це припущення віднесемо і до кута атаки α .

Кут різання ґрунту $\gamma_{різ}$ сферичного диску за результатам досліджень [13] визначається з урахуванням кута $\nu_{кв}$.

$$\gamma_{\text{різ}} = 90^\circ + i - \nu_{\text{кк}} \quad (2.4)$$

Кут $\nu_{\text{кк}}$ визначається між лінією, що є перпендикулярною до дотичної сферичної поверхні диска і напрямком абсолютної швидкості (рис. 2.4).

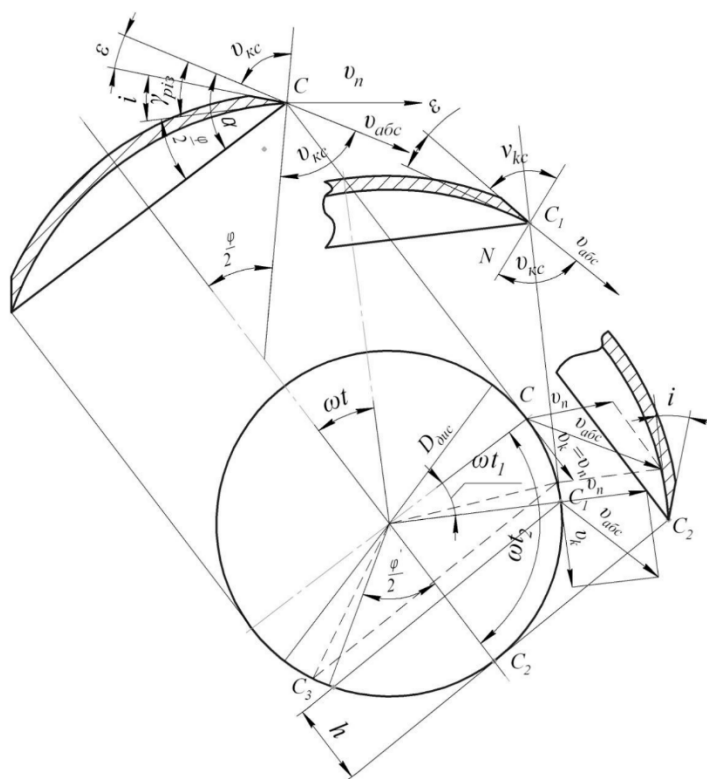


Рисунок 2.4 – Схема перетинів сферичного диска за умов його взаємодії і з ґрунтом

Визначити кут $\nu_{\text{кк}}$ між напрямком швидкості v_{abc} і лінією, перпендикулярною до дотичної до сферичної поверхні диска в положенні розташування фіксованої точки в процесі контакту з ґрунтом, досить складно.

Запропоновані [20] способи визначення кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ за напрямом повздовжнього переміщення СДРО призводять до одержання різного його значення, інколи навіть не сумісних із процесом різання ґрунту. Встановлені цими дослідженнями кути різання $\gamma_{\text{різ}}$ коливаються в досить значному діапазоні (до 150°). Процес різання за таких значень кута $\gamma_{\text{різ}}$ досить проблематичний.

Загальновідомо, що при вільному коченні будь-якого колеса відносно опорної поверхні, кожна точка цього колеса в поздовжньому напрямку відносно цієї поверхні не переміщується. А різання ґрунту СДРО залежить від напрямку переміщення кожної точки його ріжучого профілю відносно поверхні ґрунтового

середовища. Тому необхідно визначити фактичний напрямок переміщення будь-якої точки леза диска в процесі роботи СДРО за умов його встановлення під кутом атаки α .

На прикладі плоского дискового ножа розглянемо переміщення його точок леза в ґрунтовому середовищі (рис. 2.5). Відмітимо, що сили реакції ґрунту, що діють на плоский диск менші ніж на сферичний.

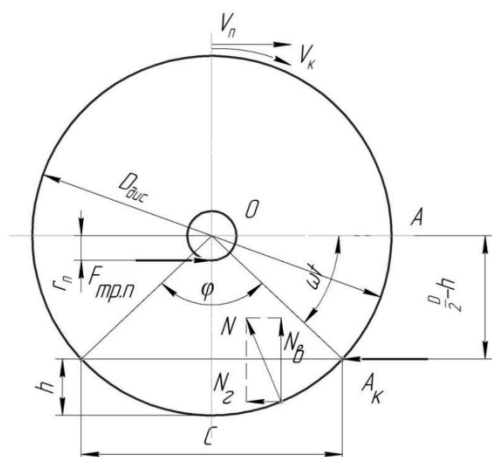


Рисунок 2.5 – Схема сил, які діють на заглиблений диск

Моменти зусиль, діючих на плоский диск в горизонтальній площині, дорівнюють:

$$N_{\Gamma} \cdot \left(\frac{D_{\text{диск}}}{2} - h \right) > F_{\text{тер.п}} \cdot r_{\text{п}} \quad (2.5)$$

де N_{Γ} – горизонтальна складова сили опору тертя ґрунту, Н; $F_{\text{тер.п}}$ – сила тертя в підшипнику, Н; $r_{\text{п}}$ – радіус діаметра підшипника, мм.

На рисунку 2.6 наведено схематичне зображення місця знаходження миттєвого центра обертання диска відносно ґрунтового середовища за таких умов : а – диск незаглиблений; б – диск заглиблений у ґрунт на глибину h ; в – диск частково або повністю (вертикальна пунктирна лінія) загальмований.

Нехай диск з центром O рухається так, що швидкість $v_{\text{п}}$ центру O спрямована по горизонталі, а глибина занурення диску відсутня (рис. 2.6, а). Миттєвий центр обертання знаходиться у нижній точці контакту диску із ґрунтом A .

Поступальна швидкість руху, при якій диск за час t здійснює один оберт без заглиблення (рис. 2.6, а), дорівнює:

$$V_n = \frac{\pi D_{\text{disc}}}{t} \quad (2.6)$$

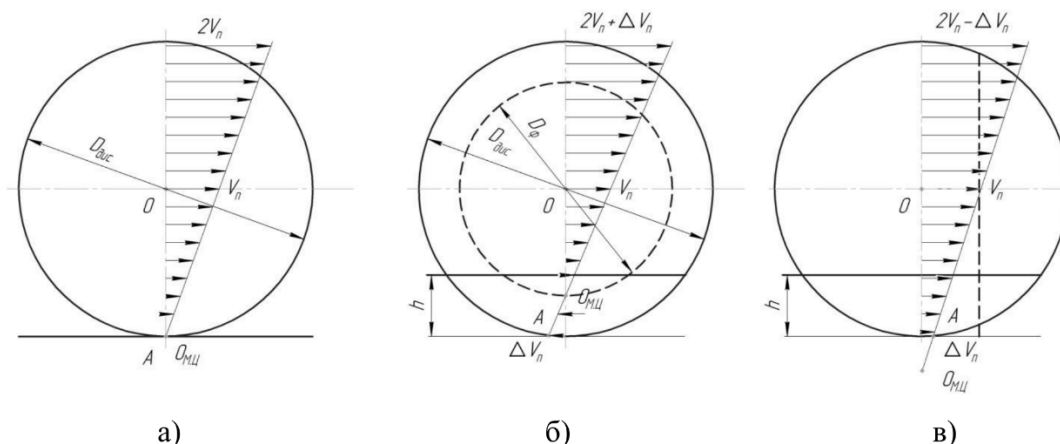


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення місця знаходження миттєвого центра поворотання диска відносно ґрунтового середовища

Розглянемо заглиблення диску у ґрунт на глибину h (рис. 2.6, б) на ділянці довжиною L . Приймаючи n_d – кількість обертів диска на цій ділянці, відмітимо: в разі, коли

$$n_d > \frac{L}{\pi D_{\text{disc}}} \quad (2.7)$$

відбувається буксування для прямостоячого диска. Коли права та ліва частини рівня дорівнюють одна іншій – відбувається просте перекочування диску.

В процесі експлуатації ґрунтообробних дисків буксування можливе за умов часткового або повного їх гальмування (рис. 2.6, в). Відмітимо відсутність впливу кута атаки α диска на цей процес. Кут атаки впливає на місце розташування миттєвого центру $O'_{\text{м.ц.}}$. Як вже відмічалось вище, фіксована точка A леза диска не здійснює переміщення за напрямком руху дискової борони і відповідно не виконується в цьому напрямку різання ґрунту. За таких умов фіксована точка A переміщується за іншим напрямком.

Аналіз горизонтального (рис. 2.7, а) та поперечно-вертикального шару ґрунту диска (рис. 2.7, б) вказує на те, що в процесі обертання точки A кут атаки α змінюється від встановленої величини до 0 за умов обертання цієї точки на кут $\omega t = 90^\circ$, тобто до вертикального положення точки A_n диска (нижнє положення).

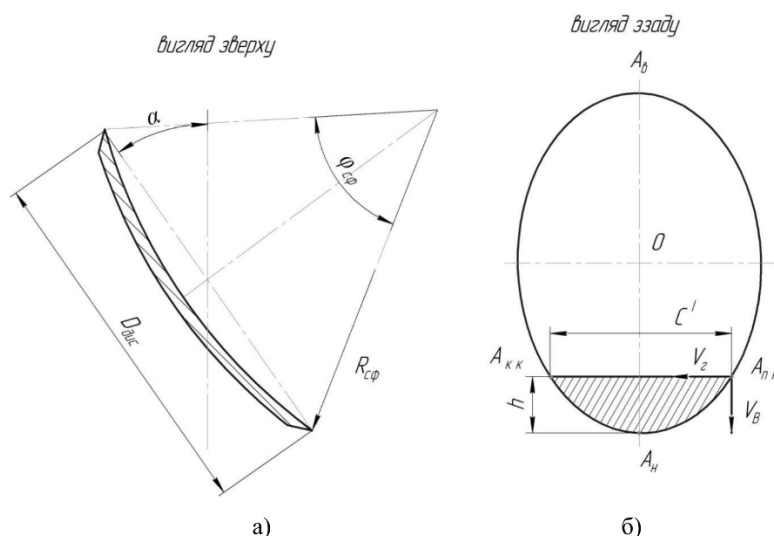


Рисунок 2.7 – Горизонтальний і поперечно-вертикальний перетини:
а – горизонтальний перетин диска, б – поперечно-вертикальний перетин шару ґрунту

Траєкторія переміщення цієї точки за умов встановлення кута атаки диска α буде характеризуватися кривою подібною до синусоїди. За таких умов різання ґрунту відбувається за напрямком відхилення точки леза диска. Кут β забезпечує зменшення кута різання ґрунту $\gamma_{різ}$ і частково впливає на ширину захвату диска.

Таким чином сформулюємо суть взаємодії СДРО з ґрунтом в тому, що диск в заглибленому стані за рахунок сил тертя вирізаючої скиби ґрунту з внутрішньою його поверхнею забезпечує обертання диска з подоланням сили різання ґрунту, тобто відповідно до рисунка 2.8 момент $M_{об}$ (Н·м) сил, що обертає диск, здійснюється за умовою:

$$M_{об} > F_{тер.гр} \left(\frac{D_{диск}}{2} - h_{м.ц} \right) - \left(F_{тер.п} r_n + F_{оп.різ} \frac{D_{диск}}{2} \right) \quad (2.8)$$

де $F_{тер.гр}$ – сила тертя ґрунту по внутрішній поверхні сферичного диска, Н; $D_{диск}$ – діаметр сферичного диска, м; h – глибина обробітку ґрунту, м; $h_{м.ц}$ – висота розташування миттєвого центра повертання на вертикальному діаметрі диска, м; $F_{тер.п}$ – сила тертя в підшипнику, Н; r_n – радіус підшипника, м; $F_{оп.різ}$ – повздовжня складова сили опору різання ґрунту, Н.

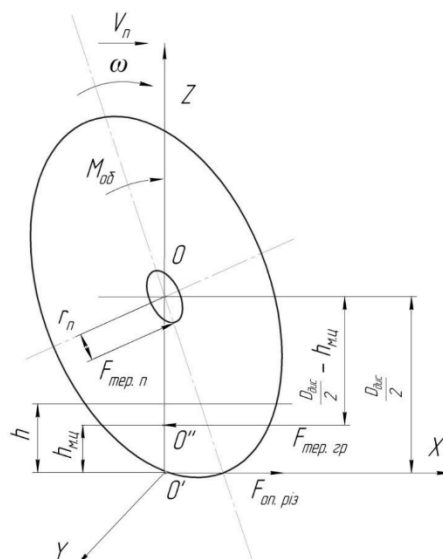


Рисунок 2.8 – Схема сил, діючих на диск, що забезпечує момент сил його обертання

Умовою (формула 2.8) визначається, що сила тертя ґрунту з сферичною поверхнею диска має бути такою, щоб вона забезпечувала обертання СДРО. Проте, якщо ґрунт на цій поверхні буде переміщуватися, принцип роботи СДРО буде порушуватися.

Для визначення змінного кута атаки α' потрібно будувати для кожного диска з різним діаметром $D_{\text{дис}}$ окремий графік. Масштаб для діаметра диска і глибини обробітку ґрунту повинен бути однаковим. Шкала визначення змінного кута атаки α' для кожного початково встановленого кута атаки α повинна бути окремою на рівні осі диска і розподілена пропорційно.

З урахуванням попередньо викладеного, розглянемо поперечно-вертикальний перетин СДРО, схематичне зображення якого наведено на рис. 2.9, з якого випливає, що кут різання $\gamma_{\text{різ}}$ ґрунту при куті атаки в цьому перетині нахилу $\alpha=0$ дорівнює:

$$\gamma_{\text{різ}} = 90^\circ - \frac{\varphi_{\text{сф}}}{2} - \beta \quad (2.9)$$

де $\gamma_{\text{різ}}$ – кут різання ґрунту СДРО, град; $\varphi_{\text{сф}}$ – кут сферичності СДРО, град; $\varphi_{\text{сф}}/2$ – половина кута сферичності диска, град; β – кут нахилу площини диска по краях леза до вертикалі, град.

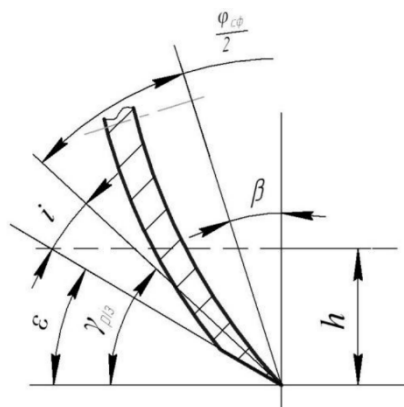


Рисунок 2.9 – Схема фрагменту діаметрального перетину леза диска

Під час контакту диска з ґрунтом всі точки леза, що контактують з ґрунтом вздовж напрямку руху борони, не переміщуються. Рухається тільки вісь диска відносно поверхні ґрунту. При цьому кут нахилу β площини диска до вертикалі в цьому положенні залишається незмінним.

Як видно з рис. 2.9, в цьому положенні розташування точки леза диска кут різання $\gamma_{різ}$ дорівнює:

$$\gamma_{різ} = i + \varepsilon = 90^\circ - \frac{\varphi_{сф}}{2} - \beta \quad (2.10)$$

β' – кут нахилу сферичного диска, який в різних положеннях зафіксованої точки леза буде дорівнювати: $\beta' = \beta \cdot \cos \alpha'$.

На рис. 2.10 наведено розрахункові дані щодо зміни центрального кута сектора зони дії точки леза сферичного диска від радіуса сфери $R_{сф}$ у залежності від діаметра диска. При цьому кут ωt обертання зафіксованої точки леза від початкового місця встановлення кута атаки α до початку контакту з поверхнею ґрунту дорівнює:

$$\omega t = 0,5(\pi - \varphi). \quad (2.11)$$

Із цієї залежності та графіка на рис. 2.10 можна зробити висновок, що при збільшенні радіуса сфери диска $R_{сф}$ центральний кут φ сектора дії будь-якої точки леза диска зменшується.

Розглянемо, в якій взаємозалежності знаходиться кут сферичності $\varphi_{сф}$ з діаметром диска $D_{дис}$, використавши рівняння [20]:

$$\varphi_{сф} = 2 \arcsin \frac{D_{дис}}{2R_{сф}} \quad (2.12)$$

На рис. 2.10 наведено розрахункові дані щодо зміни кута сферичності $\varphi_{\text{сф}}$ для сферичних дисків з діаметром диска $D_{\text{дис}} = 400-800$ мм і радіусом сфери диска $R_{\text{сф}} = 400-800$ мм. Із графіка видно, що кут сферичності $\varphi_{\text{сф}}$ диска при різних діаметрах диска $D_{\text{дис}}$ із збільшенням радіуса сфери $R_{\text{сф}}$ зростає. Слід відзначити, що половина кута $\varphi_{\text{сф}}$ прямопропорційно впливає на величину кута різання $\gamma_{\text{різ}}$.

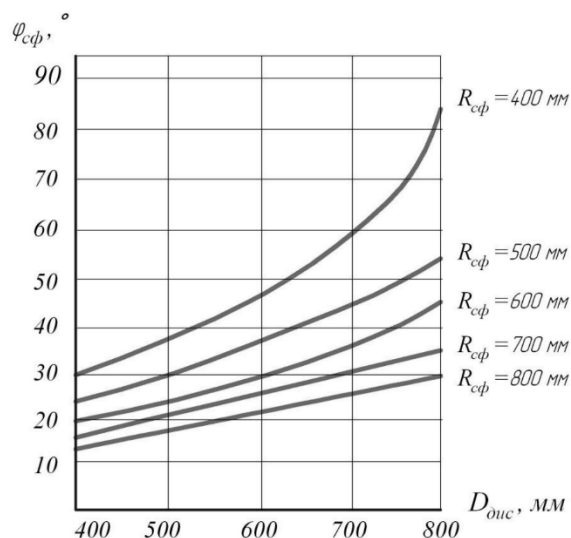


Рисунок 2.10 – Залежність кута сферичності диска від його діаметра, радіус сфери відповідно: 400, 500, 600, 700, 800 мм

Слід відзначити, що зафіксована точка леза диска діє на ґрунт при зменшенні кута атаки α' до нуля, а потім цей кут збільшується до такої ж величини, що і на початку дотику її з ґрунтом. При $D_{\text{дис}} = 600$ мм, $R_{\text{сф}} = 600$ мм ($\varphi_{\text{сф}} = 15^\circ$), глибині $h = 10$ см, куті атаки $\alpha = 40^\circ$ і куті нахилу диска до вертикалі $\beta = 10^\circ$ кут повертання диска до контакту з ґрунтом дорівнює $\omega t = 30^\circ$, кут атаки сферичного диска зафіксованої точки леза в цьому положенні дорівнює $\alpha' = 15^\circ$.

Перед тим, як одержати математичну формулу для визначення кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$, потрібно відзначити, що кут β відхилення диска від вертикалі під дією зміни кута атаки α також змінюється згідно залежності (2.12).

На (рис. 2.11) наведено залежності кута α' від встановленого кута атаки α , які свідчать про прямолінійний характер зміни α' від кута атаки α .

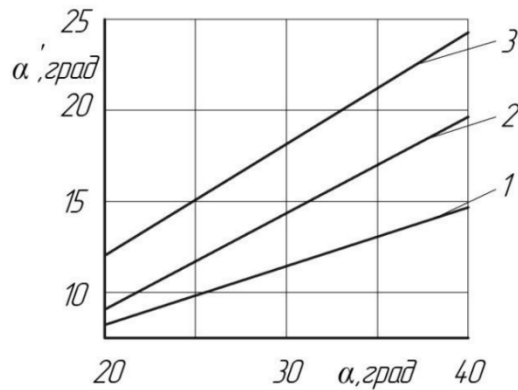


Рисунок 2.11 – Залежність зміни кута α' від початково встановленої величини кута α при $D_{\text{дис}}=600$ мм і глибині обробітку h : 1 - 10 см, 2 - 15 см, 3 - 18 см

Одержана математична модель для визначення кута різання при взаємодії СДРО з ґрунтом має такий аналітичний вираз:

$$\gamma_{\text{різ}} = 90^\circ - \arcsin \frac{D_{\text{дис}}}{2R_{\text{сф}}} - \beta \cdot \cos \alpha' \quad (2.13)$$

На рис. 2.12 наведені розрахункові дані кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ від кута атаки α і кута нахилу β при кутах сферичності диска $\varphi_{\text{сф}}/2=15^\circ$ (суцільна лінія) та $\varphi_{\text{сф}}/2=18^\circ 30'$ (пунктирна лінія). Із графіка видно, що при збільшенні кута атаки α і кута нахилу β кут різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ зменшується. Звідси можна визначити раціональну величину кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$.

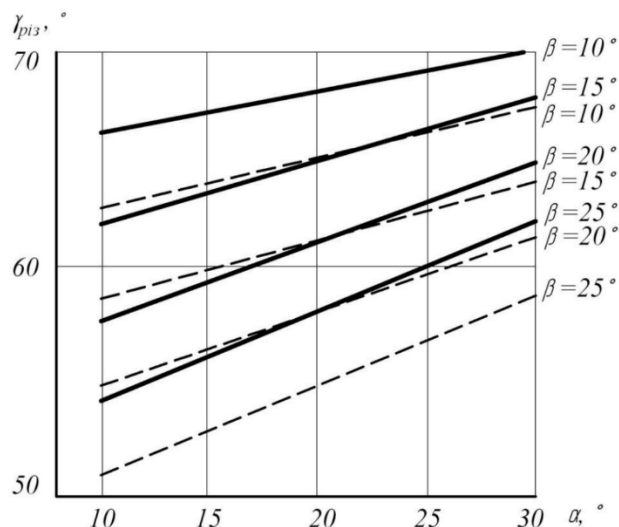
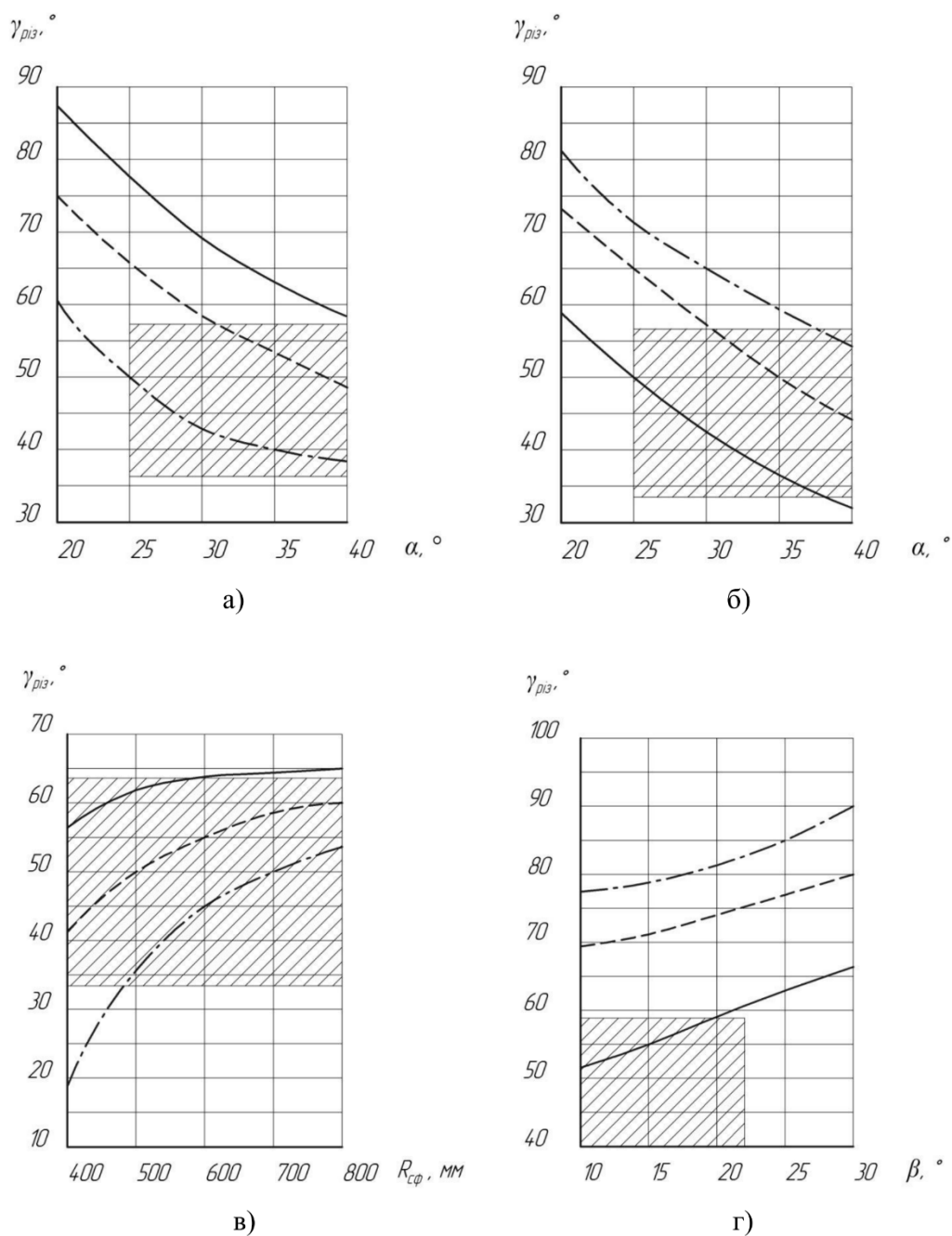


Рисунок 2.12 – Залежність кута різання при розміщенні зафіксованої точки леза диска в нижньому вертикальному положенні від кута атаки і кута нахилу при різних значеннях $\varphi_{\text{сф}}/2$ ($- = 15^\circ$; $- - = 18^\circ 30'$)

Одержані аналітичні моделі дають можливість при вибраних параметрах СДРО (діаметра диска $D_{\text{дис}}$, радіуса сфери $R_{\text{сф}}$, кута атаки α , кута нахилу β , глибини обробітку ґрунту h) визначити кут різання $\gamma_{\text{різ}}$ або ж у залежності для раціональної (мінімальної) величини кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ можна обґрунтувати раціональні параметри СДРО, тому що він безпосередньо впливає на величину сили різання СДРО.

На рис. 2.13 наведено графіки зміни кута різання ґрунту в залежності від основних параметрів СДРО ($D_{\text{дис}}$, $R_{\text{сф}}$, α , β , h).



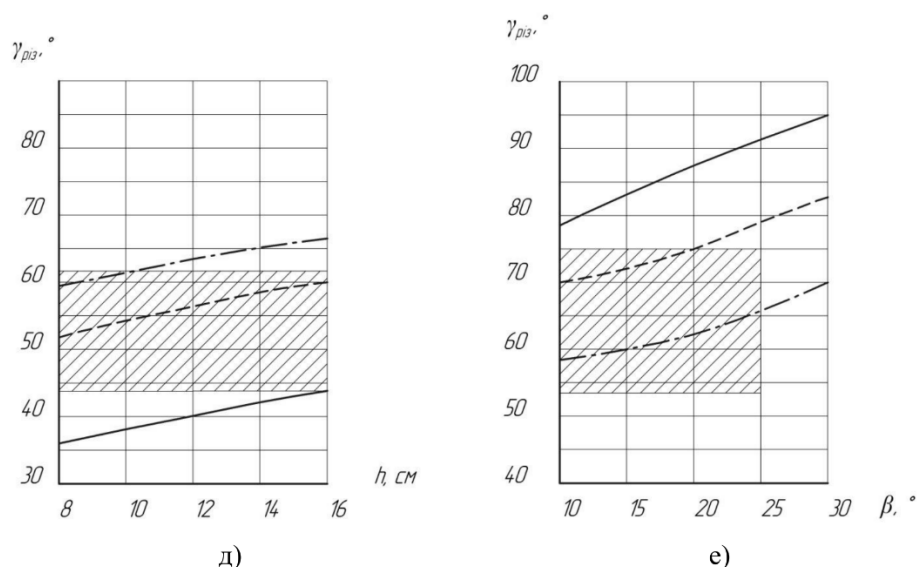


Рисунок 2.13 – Залежність кута різання ґрунту від параметрів СДРО

Зрозуміло, при найменшому куті різання ґрунту $\gamma_{різ}$ буде найменші зусилля різання ґрунту $P_{різ}$, що впливає на витрати енергії в процесі обробітку ґрунту луцильником, дисковою бороною чи дисковим плугом. Наша задача полягає в виборі раціональних параметрів дискових борін.

З урахуванням обмежень кута атаки α (рис. 2.13, а) можна зробити висновок, що раціональними межами діаметра сферичного диска буде 600-670 мм. При цьому радіус сферичності (рис. 2.13, б і в) може знаходитися бб також у межах 600-670 мм. Посилаючись на дані обмежень цих розмірів, кут різання ґрунту $\gamma_{різ}$ буде знаходитися в межах 35-56°.

Звертаючи увагу та те, що значне ускладнення конструкції СДРО здійснено тільки заради того, щоб виконуючи нахил диска до вертикалі зменшувати кут різання ґрунту $\gamma_{різ}$, необхідно також урахувати можливості максимального нахилу, тобто обґрунтувати максимально можливий кута β_{max} з умови подолання тертя по ґрунту зовнішньою сферичною поверхнею диска, що буде впливати на збільшення тягового зусилля (рис. 2.13, г, д, е).

З цієї умови в залежності від інших параметрів ($D_{дис}$, $R_{сф}$, α) β_{max} не може перевищувати 25°.

Отже, теоретичним методом встановлено, що відповідно до агровимог раціональні межі параметрів дискової борони з СДРО дорівнюють: $D_{\text{дис}} = 600\text{--}670$ мм; $R_{\text{сф}} = 600\text{--}700$ мм; $\alpha = 25^\circ - 45^\circ$; $\beta = 15^\circ - 25^\circ$; $i = 15^\circ - 30^\circ$; $\varepsilon = 3^\circ - 7^\circ$; $\gamma_{\text{різ}} = 35^\circ - 56^\circ$.

2.3. Силовий аналіз взаємодії сферичного дискового робочого органу з ґрунтом.

У зв'язку з уточненою скерованістю різання ґрунту за напрямком руху дискової борони відомі результати теоретичних досліджень щодо діючих зусиль реакції ґрунту на диск, а також моментів сил потребують уточнення. Слід відзначити, що дослідник [17] ще на початку 80-х років висловив сумнів щодо правильності вибраних напрямків різання та переміщення ґрунту по сферичній поверхні дисків у процесі роботи дискової борони.

Ураховуючи визначений уточнений напрямок різання ґрунту в процесі роботи, на диск діють сили реакції ґрунту: $F_{\text{різ}}$ – реакція опору різання ґрунту; $F_{\text{тер.гр}}$ – сила тертя ґрунту по сферичній поверхні диска; G – вага ґрунту на сферичний диск.

Складність визначення напрямку і місця прикладення узагальнених сил, діючих з боку диска на ґрунт, полягає в тому, що на прикладі аналізу переміщення зафіксованої точки леза диска його залежності від зміни кута атаки α , а також великих меж зміни фізичних та механічних властивостей ґрунту, створити математичну модель надзвичайно складно. Тому вирішення цієї задачі здійснено з деякими припущеннями. До таких припущень можна віднести відокремлення зусилля різання ґрунту від сил переміщення по сферичній поверхні диска, а також відкидання ґрунту убік під кутом атаки диска.

Довжина $L_{\text{д}}$ дуги сегмента де контактують точки леза з ґрунтом дорівнює:

$$L_{\text{д}} = D_{\text{дис}} \cdot \arccos \left(1 - \frac{2h}{D_{\text{дис}} \cdot \cos \beta} \right) \quad (2.14)$$

Тоді силу різання $P_{\text{різ}}$ ґрунту можна визначити так:

$$P_{\text{різ}} = K_{\text{р}} \cdot L_{\text{д}} \quad (2.15)$$

де $K_{\text{р}}$ – питоме зусилля різання ґрунту, Н/см.

Вектор цієї сили спрямований у бік до повздовжньої лінії руху борони. Якщо припустити, що переміщення зафіксованої точки проти напрямку руху диска не відбувається, тобто, коли $\Delta V_{\pi}=0$, то напрямок цієї сили буде перпендикулярним до напрямку руху борони.

Разом з тим зафіксована точка леза диска переміщується поперек руху борони і одночасно заглиблюється. Для визначення швидкості цих переміщень проведемо деякі математичні розрахунки. Час, за який диск виконає один оберт, можна вирахувати за формулою наведеною вище.

На рис 2.14 наведена схема напрямків швидкості переміщення зафіксованої точки леза диска, яка відображає зміну напрямку різання ґрунту в поперечному напрямі до руху дискової борони.

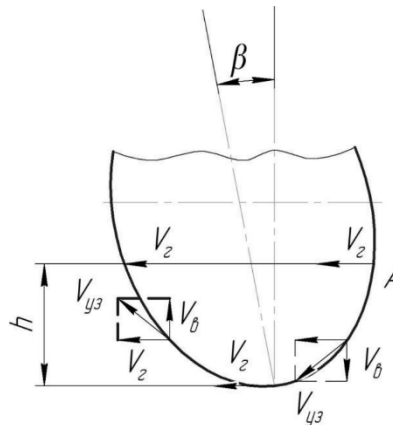


Рисунок 2.14 – Схема напрямків швидкості переміщення зафіксованої точки *A* поперек руху дискової борони

Для визначення сили переміщення ґрунту по увігнутій поверхні сферичного диска необхідно знайти площу S_n поперечного перетину шару ґрунту, що обробляється, за формулою [14]:

$$S_n = D_{duc} \cdot \sin \alpha \int_0^h \cos \cdot \arcsin \left(1 - \frac{2h}{D_{duc} \cdot \cos \beta} \right) \quad (2.16)$$

На рис. 2.15 наведено залежність довжини леза диска, що здійснює різання ґрунту дисками діаметром 600 мм і 660 мм, від глибини обробітку ґрунту. Якщо прийняти питоме зусилля різання ґрунту 4 Н/см [5], то величину сили опору різання ґрунту можна визначити за формулою (2.15).

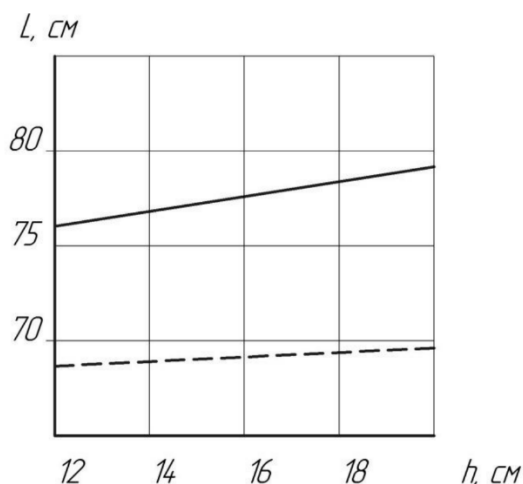


Рисунок 2.15 – Залежність довжини леза диска, що здійснює різання ґрунту, від глибини обробітку ґрунту (— $D_{\text{диск}} = 660$ мм; --- $D_{\text{диск}} = 600$ мм)

На рис. 2.16 наведено залежність сили різання ґрунту від глибини його обробітку одним сферичним диском діаметром 600 і 660 мм. Ця сила діє поперек напрямку руху диска, якщо не враховувати часткового переміщення назад під дією миттєвого центру обертання диска зі швидкістю ΔV_n .

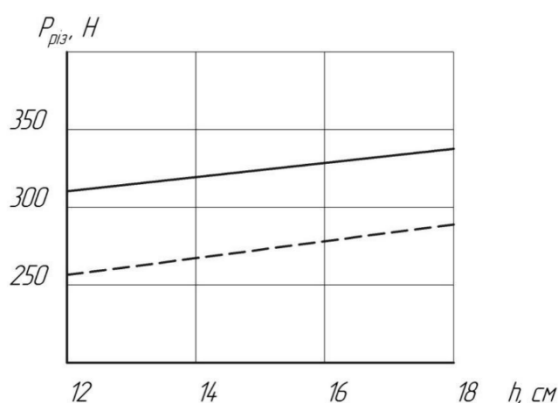


Рисунок 2.16 – Залежність зусилля різання ґрунту від глибини обробітку: (— $D_{\text{диск}} = 660$ мм; --- $D_{\text{диск}} = 600$ мм)

Під дією сили $P_{\text{різ}}$ диск відхиляється від прямолінійного напрямку руху і для її врівноваження необхідно встановлення в бороні протилежних дзеркально розташованих дискових робочих органів.

На рис. 2.17 наведено розрахункові дані площі поперечного перетину борозни, що формує сферичний диск діаметром $D_{\text{диск}}=600$ мм і 660 мм, $R_{\text{сф}}=660$ мм, в залежності від глибини обробітку ґрунту $h=12-18$ см при $\alpha = 30^\circ$ і 40° , $\beta = 15^\circ$.

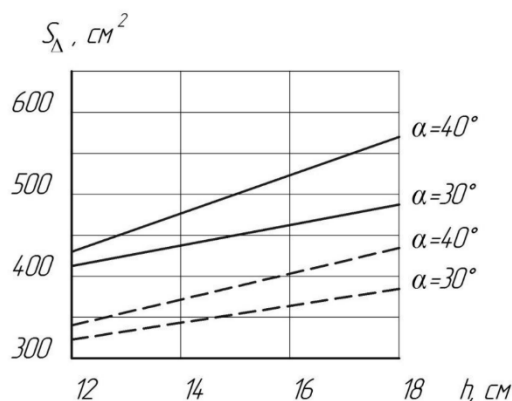


Рисунок 2.17 – Залежність площі поперечного перетину борозни сферичного диска від глибини обробітку ґрунту при кутах атаки 40 і 30°:

(- $D_{\text{disc}} = 660$ мм, --- $D_{\text{disc}} = 600$ мм, $\beta = 15^\circ$)

З рис. 2.17 можна зробити висновок, що величина поперечного перетину борозни майже пропорційно зростає при збільшенні діаметра диска і кута атаки α .

Із урахуванням загальновідомих методик [13], які одержані на основі експериментальних досліджень, загальний опір реакції ґрунту, тобто потрібне тягове зусилля P_T , можна визначити за формулою:

$$P_T = K_0 \cdot S_n, \quad (2.17)$$

де P_T – тягове зусилля (загальний опір реакції ґрунту); K_0 – питомий опір ґрунту, Н/см².

За даними вищезгаданих джерел, для різних категорій в межах глибини $h=12$ - 18 см K_0 змінюється в межах від $0,3$ - $1,4$ Н/см². Для розрахунків тягового опору P_T прийнято $K_0=3$ - 6 Н/см².

Отже, для сферичного диска ($D_{\text{disc}}=660$ мм, $R_{\text{сф}}=660$ мм) з кутом атаки $\alpha=30^\circ$ і 40° , $\beta=15^\circ$ тягове зусилля P_T дорівнює (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Тягове зусилля сферичного диска, Н

h , см	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$
12	969	1245
18	1052	1972

Якщо тягове зусилля $P_T=R_x$, то за даними [18] відношення бокового опору ґрунту $R_y/R_x=n$, а вертикальної реакції ґрунту $R_z/R_x=m$. При цьому для дискової борони $n=0,49$ - $0,52$ і $m=0,13$ - $0,139$, тобто $R_y=R_x \cdot n$, а $R_z=R_x \cdot m$.

В залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, а також кутів атаки α бокова R_y та вертикальна R_z сили на диску буде дорівнювати (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Величина бокової та вертикальної сил сферичного диска

h , см	$\alpha = 30^\circ$			$\alpha = 40^\circ$		
	R_x , Н	R_y , Н	R_z , Н	R_x , Н	R_y , Н	R_z , Н
12	969	484,5	130,8	1245	622,5	168
18	1052	526	142	1972	986	266,2

Коефіцієнти n і m прийняті на основі тензометрування процесу роботи сферичних дисків з урахуванням тарування тягового зусилля, бокової і вертикальної сил відносно осі обертання диска O , тобто замір цих сил проводився відносно осі O .

Для визначення нормальної сили N тиску ґрунту на сферичну поверхню диска потрібно знайти масу ґрунту, що вирізається з моноліту ґрунтового середовища. Для цього визначимо об'єм сферичного сегменту, що вирізається диском (рис. 2.18) з моноліту ґрунтового середовища.

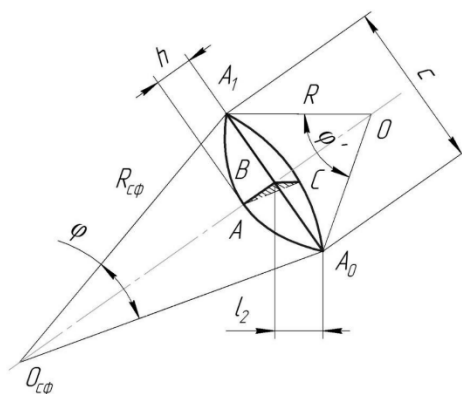


Рисунок 2.18 – Схема для визначення об'єму частини сферичного сегмента ґрунту, що вирізається диском з ґрунтового середовища

Математичний вираз буде мати вигляд:

$$W_c = \frac{2}{3} \left[\frac{1}{2} h \left(R_{c\phi} - \sqrt{R_{c\phi}^2 - h(D_{\text{disc}} - h)} \right) \cdot \sqrt{h(D_{\text{disc}} - h)} \right] \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}, \quad (2.18)$$

Маса ґрунту, що вирізається диском дорівнює:

$$M_c = W_c \cdot K_n, \quad (2.19)$$

де K_n – об’ємна густина, г/см^3 , для опідзолених чорноземних ґрунтів $K_n=1,2-1,4\text{г/см}^3$ [11].

При визначенні нормальної сили тиску ґрунту на внутрішню сферичну поверхню диска потрібно також урахувувати, що під час роботи дискової борони силою опору $R_{\text{гр}}$ моноліт ґрунтового середовища вирізається і розпушується. Напрямок дії цієї сили скерований у зворотній бік від напрямку різання ґрунту. За схемою сил (рис. 2.19) нормальна сила тиску на поверхню диска дорівнює:

$$N = \frac{G}{\cos\left(\frac{1}{2}\varphi_{\text{сф}} + \beta\right)} \quad (2.20)$$

G – вага ґрунту масою M_c , що відповідає $G=g \cdot M_c$, H ($g = 9,81$ прискорення земного тяжіння).

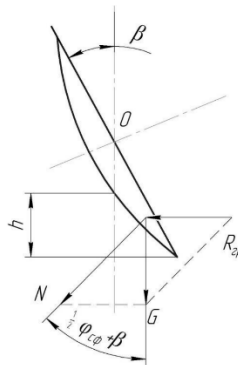


Рисунок 2.19 – Схема для визначення нормальної сили тиску на поверхню диска

Сила тертя диска по ґрунту дорівнює (рис. 2.20):

$$F'_{\text{тер}} = N \cdot k_{\text{тер}}, \quad (2.21)$$

де $k_{\text{тер}}$ – коефіцієнт тертя ґрунту по диску. За довідковими даними [11], цей коефіцієнт для чорноземів знаходиться в межах $k_{\text{тер}}=0,4-1,0$.

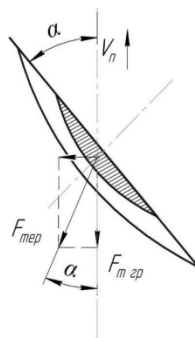


Рисунок 2.20 – Схема для визначення впливу кута атаки на величину сили тертя ґрунту по поверхні диска

Вплив кута атаки α і кута нахилу β на зміну сили опору визначається за формулою:

$$F_{тер} = \frac{G \cdot k_{тер}}{\cos \alpha \cdot \cos \left(\frac{1}{2} \varphi_{сф} + \beta \right)}, \quad (2.22)$$

Принцип роботи дискових робочих органів базується на основі дії сили опору від реакції ґрунту на диски борони, ця сила сприяє обертанню дисків навколо осі, залишаючи без повздовжнього переміщення точки леза дисків в ґрунтовому середовищі за рахунок повздовжнього руху осі дисків зі швидкістю V_n . При цьому точки леза дисків не переміщуються уперед, а повертаються під дією опору ґрунту, що і є рушійною силою цього процесу, тобто за рахунок реакції опору ґрунту $R_{гр}$, яка дорівнює $F_{тер,гр}$, здійснюється різання ґрунту.

На рис. 2.21 наведено схему сил, що діють на диск в процесі його роботи. Для спрощення зрозумілості ці сили показані в площині диска.

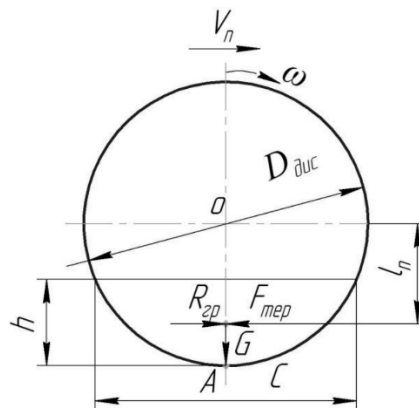


Рисунок 2.21 – Схема сил, діючих на дисковий робочий орган

За схемою зрозуміло, що $R_{гр} \cdot l_n = F_{тер} \cdot l_n$. При цьому зафіксована точка A знаходиться в повздовжньому напрямку без переміщення. Наведена в довідкових джерелах [12] формула для визначення l_n , має вигляд $l_n(y_0) = c^2 / 12 S n$, що не узгоджується з розмірністю і тому викликає сумнів. Експериментальне визначення цієї величини більш достовірне. Різання і переміщення ґрунту здійснюється під дією моменту сил тертя:

$$M_{об} = F_{тер} \cdot l_n, \quad (2.23)$$

Отже, нами встановлено, що процес обертання дискових робочих органів забезпечується взаємодією диска з ґрунтовим середовищем.

Висновки по розділу.

Аналізуючи результати виконаних теоретичних досліджень взаємодії СДРО з ґрунтовим середовищем, можна зробити такі висновки:

1) отримані аналітичні залежності мінімального кута атаки α та кута нахилу β від діаметра сферичного диска $D_{\text{дис}}$ та радіуса сфери $R_{\text{сф}}$, а також запропоновані рекомендації щодо регулювання сферичних дисків по встановленню кута атаки α та кута нахилу β для запобігання тертя зовнішньої поверхні сферичного диска по ґрунту;

2) на основі аналізу сил і моментів підтверджено раціональність параметрів СДРО з віссю обертання, нахиленою під кутом до вертикалі: діаметр $D_{\text{дис}}=660\text{мм}$, радіус сфери $R_{\text{сф}}=660\text{мм}$, кут нахилу осі обертання до горизонту $\beta=15-25^\circ$, кута атаки $\alpha=20-45^\circ$, кут загострення леза $i=15-30$, кут різання $\gamma_{\text{різ}}=35-56^\circ$;

3) встановлено, що процес роботи дисків забезпечується за рахунок тертя СДРО по ґрунту, а різання ґрунту здійснюється в напрямку, скерованому убік до лінії повздовжнього руху дискової борони.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.

Показники умов проведення експериментальних досліджень визначались у відповідності до стандартів. Тип ґрунту та його назва за механічним складом були взяті з ґрунтової карти України. Всі ці показники визначались за стандартною методикою. Дослідження показників якості обробітку ґрунту визначались у відповідності до стандарту [10].

Для проведення експериментальних досліджень використовували ґрунтообробний агрегат, який складався з енергетичного засобу (трактор ЮМЗ-6 КЛ) та навісної експериментальної установки для вимірювання складових сил опору СДРО (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментальної установки, споряджена суміжними робочими органами: 1 – рама, 2 – стійки, 3 – сферичні диски, 4 – навісний елемент, 5 – підшипникові вузли

Враховуючи те, що за принципом роботи СДРО, як з суцільним лезом так і вирізнi, однаковi, проте диски з вирізним лезом за витратами енергії і показниками якості роботи мають перевагу [3], тому в експериментальній установці використано СДРО з вирізами леза.

Технологічний процес обробітку ґрунту СДРО характеризується рядом конструкційно-режимних параметрів, що впливають на якісні та енергетичні

показники процесу. Методика передбачала одержання залежних факторів в вигляді рівнянь регресії. Для знаходження коефіцієнтів регресії проведено серію дослідів за заздалегідь прийнятим планом, який показував число і умови проведення дослідів.

Одержання рівнянь регресії і подальшу обробку результатів реалізації плану багатофакторного експерименту проводили за наступним планом: попереднє вивчення досліджуваного об'єкту; вибір незалежних факторів; отримання рівнянь регресії; оцінка адекватності, відтворюваності рівняння регресії та дослідження значимості його коефіцієнтів; побудова поверхонь відгуку та інших форм геометричної інтерпритації результатів.

Вибір незалежних факторів здійснювався згідно попередньо проведених теоретичних досліджень, які показали вплив окремих чинників у певному діапазоні значень на енергетичні показники обробітку ґрунту. Незалежні фактори, які використовувались в дослідженні:

$x_1=h$ – глибина обробітку, см;

$x_2=V_n$ – поступальна швидкість руху агрегату, км/год.

За оцінку отриманих показників роботи диска прийнято наступні залежні фактори: P_x , P_y , P_z – відповідно повздовжня, бокова і вертикальна сили опору, Н.

Математична емпірична модель впливу незалежних факторів на критерії оцінки (рівняння регресії) була представлена в вигляді поліному другого ступеня і мала вигляд:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{i < j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \dots, \quad (3.1)$$

де b_i , b_{ii} , b_{ij} – відповідно коефіцієнти регресії і-того фактора, парних та квадратичних взаємодій; k – кількість факторів.

Коефіцієнти регресії, аналіз рівнянь на значимість, адекватність, відтворюваність та однорідність, побудову поверхонь відгуку та іншу графічну інтерпретацію результатів, їх оптимізацію визначали за стандартними методиками за допомогою програм MathCad і Statistica.

3.2. Дослідження зміни сил, що діють на сферичний дисковий робочий орган.

В результаті експериментальних досліджень отримані залежності (Рис. 3.2-3.4) поздовжньої P_x , бокової P_y , та вертикальної P_z сил, діючих на СДРО, при зміні швидкості руху V_n та глибини дискування ґрунту h .

Одержано рівняння регресії:

$$P_x(V_n, h) = 787,7 - 228,29 \cdot h - 93,6 \cdot V_n^2 + 1,4 \cdot h^2 + 29,4 \cdot h \cdot V_n, \quad (3.2)$$

На рис. 3.2 наведено залежність поздовжньої сили P_x від швидкості руху диска і глибини обробітку ґрунту.

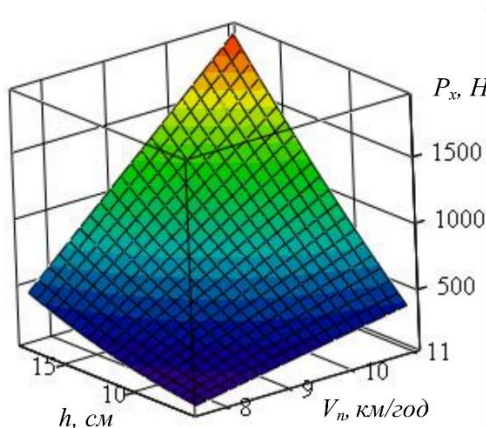


Рисунок 3.2 – Залежність поздовжньої сили P_x від зміни швидкості руху V_n та глибини обробітку ґрунту h

За рівнянням регресії (3.3) на рис. 3.3 наведено залежність сили P_y від V_n і h .
 $P_y(V_n, h) = 997,742 - 90,86 \cdot h - 184,34 \cdot V_n + 0,755 \cdot h^2 + 12,43 \cdot h \cdot V_n + 7,7 \cdot V_n^2, \quad (3.3)$

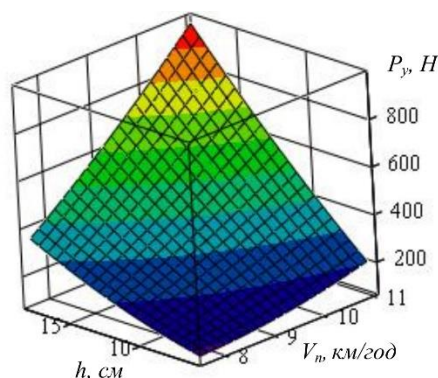


Рисунок 3.3 – Залежність бокової сили P_y від швидкості руху V_n та глибини обробітку ґрунту h

За рівнянням регресії:

$$P_z(V_n, h) = 24,83 - 15,49 \cdot h + 0,24 \cdot h^2 + 2,48 \cdot h \cdot V_n - 0,43 \cdot V_n^2, \quad (3.4)$$

На рис. 3.4 наведено залежність вертикальної сили P_z в залежності від швидкості руху V_n і глибини обробітку ґрунту h .

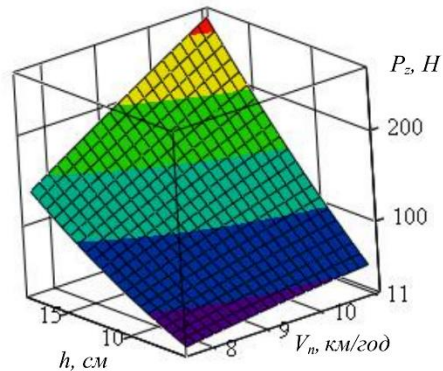


Рисунок 3.4 – Графік зміни вертикальної сили P_z в залежності від швидкості руху V_n та глибини обробітку ґрунту h

За рівнянням регресії:

$$P(V_n, h) = 842,45 - 242,19 \cdot h - 100,86 \cdot V_n^2 + 1,63 \cdot h^2 + 31,7 \cdot h \cdot V_n, \quad (3.5)$$

На рис. 3.5 наведено графік зміни узагальненої сили P дії на СДРО в залежності від швидкості руху V_n і глибини обробітку h .

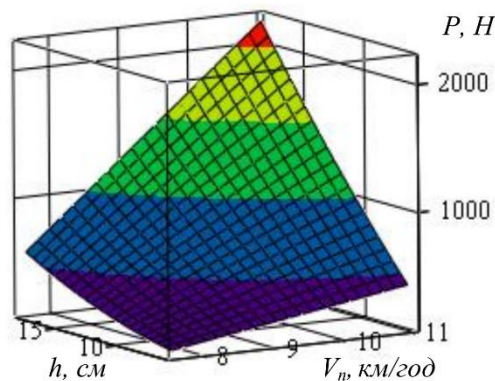


Рисунок 3.5 – Залежність узагальненої сили P від швидкості руху V_n та глибини обробітку ґрунту h

Розглянувши наведені залежності (рис. 3.2 – 3.4) і формули регресії (3.2 – 3.4), можна зробити висновок про їх квадратичний характер.

$$P_x = f(V_n \cdot h)$$

$$P_y = f(V_n \cdot h)$$

$$P_z = f(V_n \cdot h)$$

Слід зазначити, що функція $P = f(Vn \cdot h)$ до експлуатації ніякого практичного значення не має. В експлуатаційному плані більш доцільніше виконати аналіз P_x , яка є величиною тягового зусилля, P_y має значення як сила, яку потрібно зрівноважити при роботі СДРО борони, а P_z має важливе значення для рівномірності ходу по глибині. Тому більш детально проаналізуємо їх окремо.

На рис. 3.6 (а, б, в) наведено дані P_x , P_y , P_z з застосуванням ПЕОМ та відповідного програмного забезпечення. Розглянемо більш детально ці графіки.

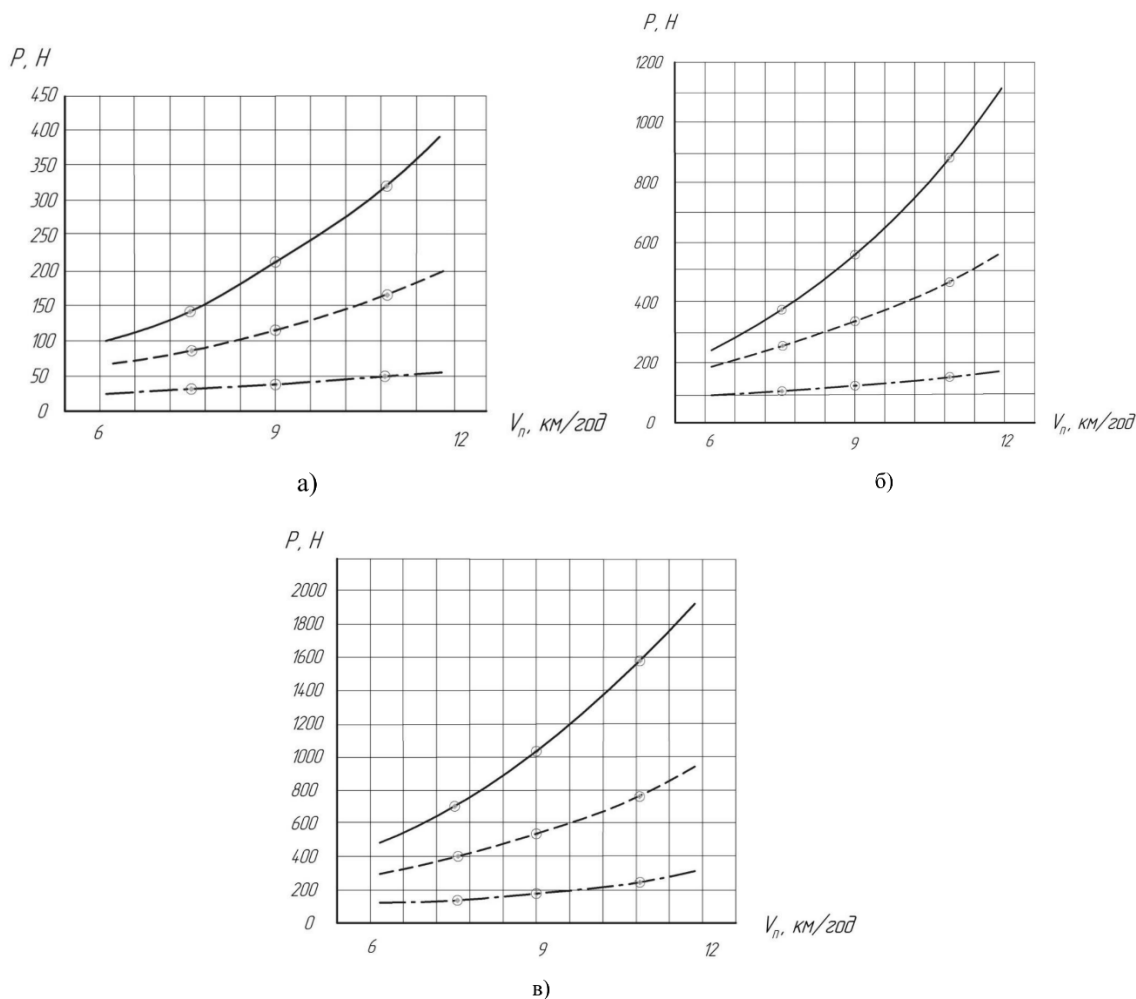


Рисунок 3.6 – Залежність сил $-P_x$, $-P_y$, $-P_z$, діючих на СДРО, від швидкості руху при глибині обробітку ґрунту: а – 6 см; б – 12 см; в – 18 см

На рис. 3.6, а наведено графік зміни сил P_x , P_y та P_z при дискуванні ґрунту на глибину $h=6$ см в залежності від швидкості руху робочого органу.

Сили P_x , P_y та P_z мають квадратичний характер зміни їх величини. При цьому P_x апроксимується математичним виразом:

$$P_x = 31,9 V_n^2 + 28,67 V_n + 27,66, \quad (3.6)$$

Апроксимуюча функція бокової сили P_y має вигляд:

$$P_y = 20,9 V_n^2 - 18,07V_n + 67,64 , \quad (3.7)$$

Визначення вертикальної сили P_z можна здійснити за формулою:

$$P_z = 1,211 V_n^2 + 8,279V_n + 17,77 , \quad (3.8)$$

При глибині дискування $h = 12$ см ці формули відповідно мають вигляд:

$$P_x = 88,06 V_n^2 + 79,14V_n + 76,35 , \quad (3.9)$$

$$P_y = 57,68 V_n^2 - 49,88V_n + 186,7 , \quad (3.10)$$

$$P_z = 3,344 V_n^2 + 22,85V_n + 49,04 , \quad (3.11)$$

При глибині дискування $h = 18$ см математичні формули відповідно мають вигляд:

$$P_x = 158 V_n^2 + 142V_n + 137 , \quad (3.12)$$

$$P_y = 103,5 V_n^2 - 89,5V_n + 335 , \quad (3.13)$$

$$P_z = 6 V_n^2 + 42V_n + 88 , \quad (3.14)$$

Порівнюючи дані графіків на рис. 3.6, а, б, в, а також аналізуючи математичні формули (3.6 – 3.14), можна зробити висновок, що сили P_x , P_y і P_z змінюються непропорційно, а з деяким відхиленням у бік збільшення їх величини. При цьому при глибині дискування $h = 6$ см і зміні швидкості руху від 7,6 до 11,1 км/год, тобто в півтора рази, сила P_x збільшується від 88,2 до 400,8 Н, тобто в 4,54 раза. При глибині дискування $h = 12$ см це збільшення сили P_x знаходиться в межах від 243,6 до 1106,3 Н, тобто в 4,54 раза, що відповідає попередній зміні сили P_x для глибини дискування $h = 6$ см.

Якщо порівняти зміну величини P_x при глибині дискування $h = 18$ см, то вона здійснюється в межах 43,7 – 1985,0 Н, тобто це збільшення також дорівнює 4,54.

Аналізуючи таким же чином зміну бокової P_y і вертикальної P_z сил, одержимо такі показники збільшення:

- для бокової сили P_y при зміні глибини дискуванням $h = 6$ см, 12 см і 18 см відповідно маємо 2,85; 2,85 і 2,85;

- для вертикальної P_z сили при зміні глибини дискування $h = 6$ см, 12 см і 18 см цей показник дорівнює 1,95; 1,96 і 1,96.

На основі цього аналізу можна зробити висновок, що в залежності від швидкості руху СДРО мають рівновелику зміну величин сил P_x , P_y і P_z при різних глибинах дискування.

На рис. 3.7 (а, б, в) наведено графіки зміни складових сил, що діють на сферичний дисковий робочий орган, в залежності від глибини обробітку ґрунту.

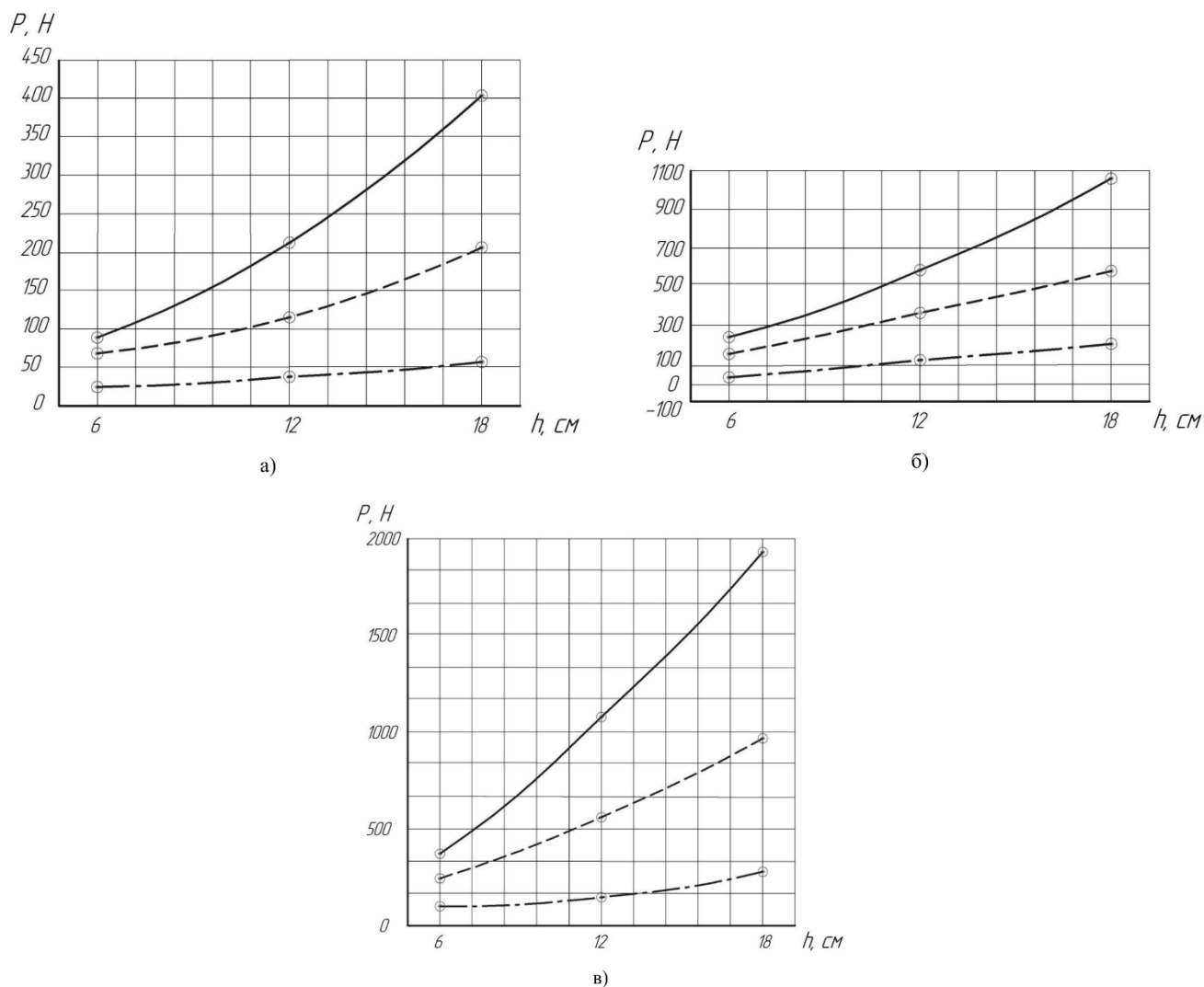


Рисунок 3.7 – Залежність сил ($-P_x$, $--P_y$, $-\cdot-P_z$) від глибини обробітку ґрунту при швидкості руху: а – 7,6 км/год; б – 9 км/год; в – 11,1 км/год

При цьому математичні вирази для визначення P_x , P_y і P_z будуть мати такий вигляд:

- при зміні швидкості 7,6 км/год, 9 км/год і 11,1 км/год в залежності від глибини дискування від 6 см до 18 см для поздовжньої сили P_x :

$$P_x = 19,06 h^2 + 98,13h - 28,94 , \quad (3.15)$$

$$P_x = 45,93 h^2 + 236,4h - 37,75 , \quad (3.16)$$

$$P_x = 86,58 h^2 + 445,7h - 131,4 , \quad (3.17)$$

- відповідно для бокової сили P_y :

$$P_y = 15,22 h^2 + 78,37h - 23,11 , \quad (3.18)$$

$$P_y = 24,86 h^2 + 128h - 37,75 , \quad (3.19)$$

$$P_y = 43,53 h^2 + 224,1h - 66,10 , \quad (3.20)$$

- відповідно також для вертикальної сили P_z :

$$P_z = 5,88 h^2 + 30,31h - 8,941 , \quad (3.21)$$

$$P_z = 24,86 h^2 + 43,56h - 12,85 , \quad (3.22)$$

$$P_z = 11,55 h^2 + 59,5h - 17,55 , \quad (3.23)$$

Якщо проаналізувати показники зміни сил P_x , P_y і P_z при різних швидкостях руху в залежності від глибини дискування ґрунту будемо мати такі показники збільшення:

- для сили P_x – 4,95; 4,95; 4,95.

- для сили P_y – 4,95; 4,95; 4,95.

- для сили P_z – 4,945; 4,95; 4,95.

Отже, при різних швидкостях руху СДРО в залежності від глибини дискування ґрунту в межах 6-18 см показник збільшення сил P_x , P_y і P_z залишається незмінним і дорівнює 4,95.

Даний характер відношення P_y/P_x і P_z/P_x в залежності від зміни кутів атаки α дисків наведено в багатьох відомих джерелах [13] і загально рекомендований для практичного використання.

Нами проведено аналіз зміни відношення сил P_y і P_z до P_x від швидкості руху V_n та глибини обробітку ґрунту h (рис. 3.8) і виявлено, що $P_y/P_x = n$, $P_z/P_x = m$ при зміні швидкості від 7,6 до 11,1 км/год майже не змінюється і знаходиться в межах

$n=0,49 - 0,51$, а $m=0,130 - 0,139$ і тільки при швидкості близькій до 6 км/год і глибині обробітку ґрунту біля 6 см коефіцієнти збільшуються в 1,5 – 2,0 рази. Найбільш імовірно це пояснюється за рахунок відносного зменшення величини P_x при зменшенні глибини обробітку ґрунту менше 10 см.

Розрахункові дані n і m апроксимовані математичними виразами:

$$n = 0,135 \left(\frac{P_y}{P_x} \right)^2 - 0,675 \frac{P_y}{P_x} + 1,34, \quad (3.24)$$

$$m = 0,085 \left(\frac{P_z}{P_x} \right)^2 - 0,425 \frac{P_z}{P_x} + 0,64, \quad (3.25)$$

Характер зміни n і m наведено на рис. 3.8.

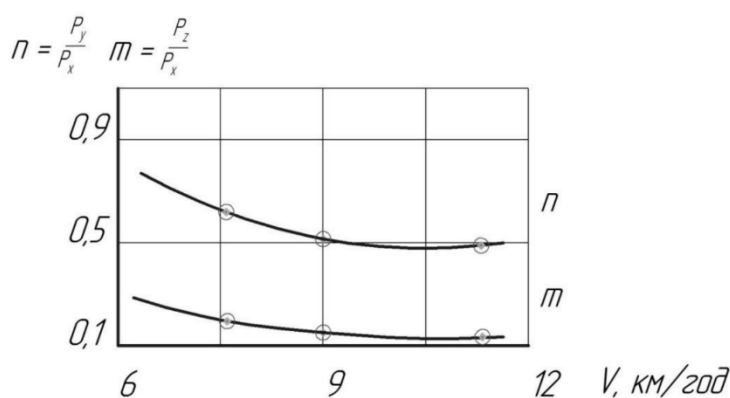


Рисунок 3.8 – Залежність коефіцієнтів n і m від швидкості руху

На основі виконаного аналізу можна зробити висновок для умов роботи на опідзоленому чорноземі з певною твердістю і вологістю диском, встановленим під кутом атаки $\alpha = 30-35^\circ$ і куті нахилу диска $\beta = 15^\circ$ коефіцієнти n і m не залишаються незмінними. Тому така методика визначення величини сил P_x , і P_z , коли відома величина P_x , не завжди вірна.

Розглянемо і проаналізуємо розрахункові дані статистичних показників, які характеризують динаміку роботи СДРО (рис. 3.9).

Із даних P_x , наведених на рисунку 3.7, отримано розрахункові дані середньо-квадратичного відхилення σ (а) та коефіцієнта варіації V (б), наведені на рисунку 4.9.

При цьому математичний вираз апроксимований за формулами:

$$\sigma = 75V_n^2 - 125V_n + 150, \quad (3.26)$$

$$V = 6,5V_n^2 + 34,5V_n - 22, \quad (3.27)$$

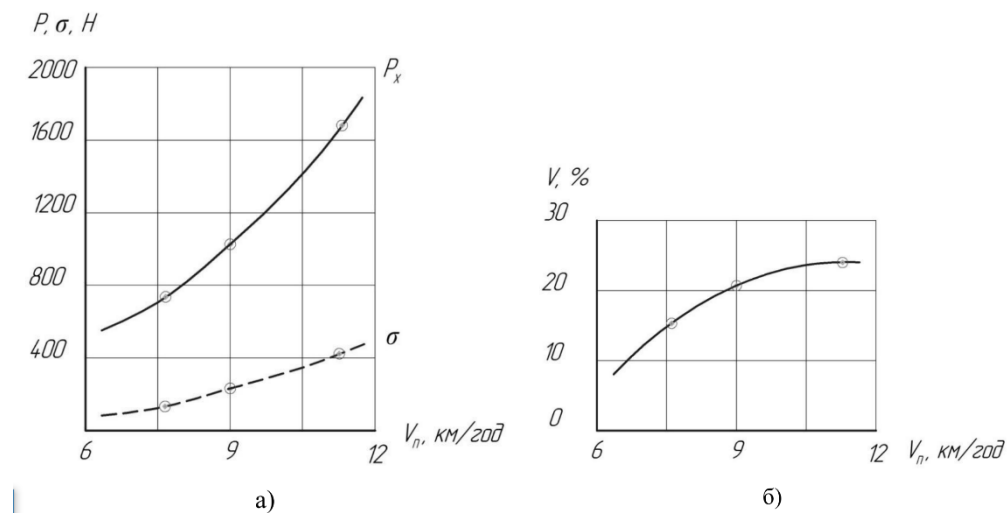


Рисунок 3.9 – Залежність P_x та середньоквадратичного відхилення σ (а) і коефіцієнта варіації V (б) від швидкості руху ($D_{\text{дис}}=660$ мм, $R_{\text{сф}}=660$ мм, $h=18$ см, $\alpha=30^\circ$, $\beta=15^\circ$)

З цих даних можемо з'ясувати, що при збільшенні глибини дискування до $h=18$ см коефіцієнт варіації V спочатку при зміні швидкості руху від 7,6 до 9 км/год збільшується, а коефіцієнт варіації при збільшенні швидкості руху до 11,1 км/год сповільнюється в межах 0,205 - 0,225. Середнє квадратичне відхилення σ (стандарт) при збільшенні швидкості руху з 7,6 до 9 км/год становить 71,7 - 215,8 Н, а при збільшенні швидкості руху з 9 до 11,1 км/год σ становить 215,8 - 446,6 Н, що в якісь мірі відповідає характеру збільшення сили тяги P_x .

Порівняння даних експериментальних і теоретичних досліджень з врахуванням параметрів $D_{\text{дис}}=660$ мм, $R_{\text{сф}}=660$ мм, $h=18$ см, $\alpha=30^\circ$, $\beta=15^\circ$, та режиму $V_n=11,1$ км/год наведено на рис. 3.10, Звідки видно, що відмінність розрахункових даних від експериментальних знаходиться в межах 11,3 - 14,4 % при зміні глибини обробітку ґрунту h від 6 до 18 см.

На основі одержаних експериментальних даних можна проаналізувати характер зміни питомого тягового зусилля в залежності від глибини дискування при швидкості руху 11,1 км/год, для $D_{\text{дис}}=660$ мм, $R_{\text{сф}}=660$ мм, $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 15^\circ$. Питоме тягове зусилля дискування змінюється від 3,5 Н/см² при глибині $h = 6$ см до 3,24

Н/см² при глибині $h = 18$ см. При глибині дискування $h = 12$ см питоме тягове зусилля дорівнює 3,05 Н/см².

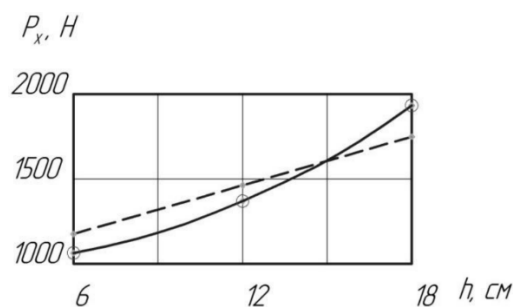


Рисунок 3.10 – Залежність сили тяги P_x від глибини обробітку ґрунту h при $D_{\text{дис}}=660$ мм, $R_{\text{сф}}=660$ мм, швидкість руху $V_n=11,1$ км/год, $\alpha=30^\circ$, $\beta=15^\circ$:
 --- визначеної теоретично і — експериментально

Дані величини питомого зусилля в залежності від глибини дискування апроксимовані математичними виразом:

$$P_n = 0,375h^2 - 1,625h + 4,75, \quad (3.28)$$

Графік змін питомого тягового зусилля в залежності від глибини дискування наведений на рисунку 3.11, з якого можна зробити висновок, що мінімальне питоме тягове зусилля спостерігається при глибині дискування ґрунту 12-16 см.

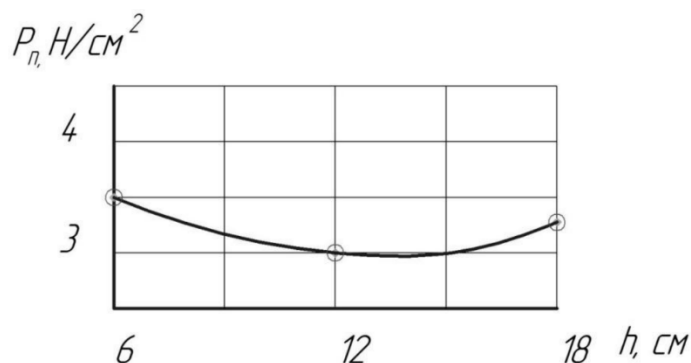


Рисунок 3.11 – Залежність питомого тягового зусилля від глибини дискування ($D_{\text{дис}}=660$ мм, $R_{\text{сф}}=660$ мм, $\alpha=30^\circ$, $\beta=15^\circ$, $V_n=11,1$ км/год)

На рисунку 3.12 наведено залежність зміни необхідної потужності трактора від швидкості руху дискового робочого органу при зміні глибини обробітку ґрунту.

Розрахункові дані потужності енергетичного засобу апроксимовані математичними формулами:

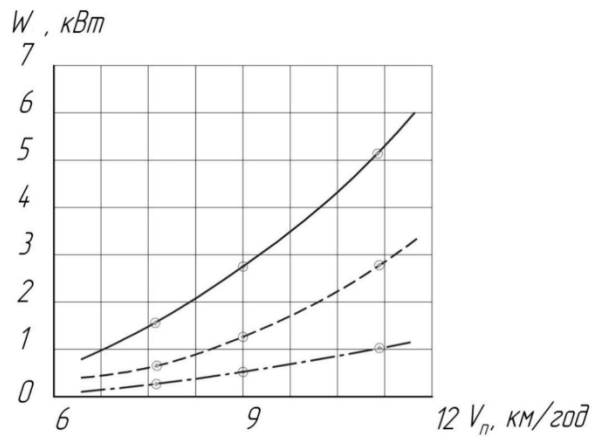


Рисунок 3.12 – Залежність необхідної потужності трактора від швидкості руху дискового робочого органу та глибини:

- · - · - $h = 6$ см, --- $h = 12$ см, - $h = 18$ см

для глибини дискування $h = 6$ см

$$W = 0,15V_n^2 - 0,05V_n, \quad (3.29)$$

для глибини дискування $h = 12$ см

$$W = 0,8V_n^2 - 1,5V_n + 1, \quad (3.30)$$

для глибини дискування $h = 18$ см

$$W = 0,7V_n^2 + 0,1V_n - 0,2, \quad (3.31)$$

На рисунку 3.13 наведено залежність витрат енергії від V_n при різній глибині обробітку ґрунту.

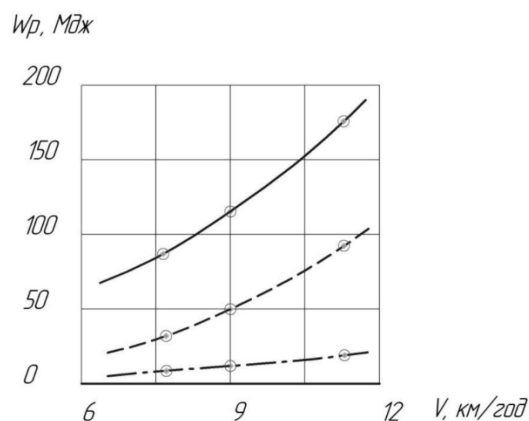


Рисунок 3.13 – Залежність витрат енергії від швидкості руху при формуванні борозни диском на глибину:

- · - · - $h = 6$ см, --- $h = 12$ см, — $h = 18$ см

З наведених даних при швидкості руху 11,1 км/год і при глибині дискування від 6 до 18 см потужність зростає до 1,33-6,59 кВт. Відповідно при швидкості руху диска 11,1 км/год потрібна потужність при зміні глибини дискування від 6 до 18 см знаходиться в межах 0,53-2,75 кВт. З рис. 3.12 видно, що з підвищенням швидкості руху характер зміни в деякій мірі змінюється в бік підвищення потужності.

На рисунку 3.13 наведено витрати енергії сферичним диском при формуванні борозни довжиною 50 м і глибиною 6, 12 і 18 см в залежності від швидкості руху диска в межах 7,6-11,1 км/год.

Визначення витрат енергії в $M_{дж}$, наприклад на проході довжиною 50 м однодискового робочого органу здійснено розрахунковим методом.

Наведена залежність витрат енергії від швидкості руху формування борозни диском на ділянці довжиною 50 м та глибиною $h=6,12$ і 18 см. З даних цього графіка можна визначити, що витрати енергії при формуванні борозни довжиною 50 м змінюються від 8 $M_{дж}$, якщо глибина борозни дорівнює 6 см, до 178 $M_{дж}$ при глибині $h=18$ см. При цьому швидкість руху диска змінюється від 2,1 до 3,1 м/с. При формуванні борозни глибиною 18 см витрати енергії в залежності від швидкості руху в межах 2,1-3,1 м/с збільшується від 33,7 до 178 $M_{дж}$. При цьому характер зміни витрат енергії змінюється в бік збільшення відповідно зростанню швидкості руху.

У таблиці 3.1 наведено розрахункові дані статистичної похибки замірів сили тяги P_x СДРО. Всі значення сили тяги P_x в межах $P_x \pm \Delta_n$, знаходяться в межах точності замірів, а отримана її величина в процесі замірів знаходиться в межах 0,49-0,73 при глибині дискування 6-18 см і швидкості руху 7,6-11,1 км/год, що не виходить за межі $x - a \leq \Delta_n$ і не попадає в зону випадкової похибки.

Таблиця 3.1 – Розрахункові дані статистичної похибки при замірах сили тяги СДРО

Глибина обробітку, см	Швидкість руху, км/год					
	7,6		9		11,1	
		%		%		%
6	0,548	54,8	0,740	74,0	0,62	62
12	0,519	51,9	0,696	69,6	0,73	73
18	0,490	49,0	0,580	58,0	0,67	67

Висновки по розділу.

В результаті експериментальних досліджень отримані наступні висновки:

1) встановлено, що тягове зусилля змінюється в межах від 88,2 Н (при глибині $h=6$ см, $V_n=7,6$ км/год) до 1985,0 Н (при глибині $h=18$ см і $V_n=11,1$ км/год). Проаналізовано характер цієї зміни;

2) встановлено, що коефіцієнт варіації і середнє квадратичне відхилення зміни сили тяги при зміні швидкості руху в межах 7,6-11,1 км/год знаходиться між 16,4 і 22,5 %, а середнє квадратичне відхилення (стандарт) від середньої величини сили тяги змінюється від 71,7 до 446,0 Н.

3) визначено і проаналізовано питоме зусилля дискування і характер його зміни при швидкості руху $V_n=11,1$ км/год при зміні глибини обробітку ґрунту від 6 до 18 см. Встановлено, що це мінімальне питоме зусилля знаходиться в межах 3,05-3,50 Н/см² при глибині дискування $h=12-16$ см;

4) виконано порівняння зміни тягового зусилля при глибині $h=12-18$ см одержаного при теоретичних дослідженнях з експериментальними. Різниця цих даних знаходиться в межах 11,3-14,4 % при глибині дискування $h=12$ і 18 см;

5) експериментально підтверджено, що напрямок різання ґрунту здійснюється убік повздовжнього руху диска, про що наочно свідчить профіль борозни, сформований після проходу сферичним диском з вирізами його леза;

6) потрібна потужність в розрахунку на один СДРО знаходиться в межах 0,403-3,670 кВт при $h=12$ см і швидкості руху від 7,6 до 11,1 км/год, а при $h=18$ см і швидкості руху 7,6-11,1 км/год потрібна потужність змінюється від 0,665 до 6,690 кВт;

7) визначена найбільша можлива статистична похибка Δ_n при глибині дискування 6-18 см і швидкості руху 7,6-11,1 км/год, яка знаходиться в межах 0,49-0,73, тобто всі значення тягового зусилля знаходяться в межах $a \pm \Delta_n$, а процес дискування ґрунту є стаціонарним.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація і заходи охорони праці в господарстві.

Більшість нещасних випадків та професійних захворювань в сільськогосподарському виробництві трапляються через особисту необережність та невиконання працівниками елементарних норм безпеки праці. Тому, працівникам і роботодавцям необхідно особливу увагу приділяти нормам охорони праці при виконанні сільськогосподарських робіт.

Виконання вимог нормативно-правових актів про охорону праці здійснюється у господарстві шляхом забезпечення ефективного функціонування систем управління охороною праці, тобто шляхом планомірного і своєчасного виконання всіх завдань і функцій управління охороною праці на виробництві [15].

Основні завдання охорони праці в господарстві:

- запобігання виробничим травмам, професійним захворюванням, пожежам та аваріям;
- дотримання вимог колективних договорів, законодавства і нормативно-правових актів з охорони праці;
- виховання самосвідомості працівників господарства з питань безпеки праці з метою їх ставлення до них, як до головних своїх обов'язків;
- залучення працівників господарства до планування, організації, мотивації, контролю та оцінки ефективності заходів з охорони праці;
- визначення і розподіл обов'язків, прав і відповідальності за стан охорони праці між всіма керівниками підприємства;
- забезпечення необхідної компетенції посадових осіб, спеціалістів та всіх працівників в питаннях, що пов'язані з виконанням покладених на них обов'язків, розумінням своїх прав, обов'язків і відповідальності;
- раціональне розподілення фінансових, матеріальних та людських ресурсів для забезпечення ефективного функціонування охорони праці;

- забезпечення працівникам соціальних гарантій в сфері охорони праці у колективному договорі (угоді, трудовому договорі).

Виробничі будівлі, споруди, машини, механізми, устаткування, транспортні засоби, що впроваджуються в дію, та технологічні процеси повинні відповідати вимогам нормативно-правових актів з охорони праці. Відповідальність щодо забезпечення цих вимог покладається на роботодавця. Роботодавець також повинен отримати дозвіл на початок роботи та види робіт господарства, діяльність якого пов'язана з виконанням робіт та експлуатацією об'єктів, машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки.

4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з ґрунтообробним агрегатом.

Проблеми аварійності та травматизму в господарствах пояснюються не тільки низькою культурою безпечності і відсутністю технологічної дисципліни, але й конструктивною недосконалістю та значним спрацюванням виробничого і транспортного устаткування.

Превентивні заходи попередження небезпечних подій мають особливу актуальність в усіх сферах виробництва, недооцінка небезпечних чинників призводить до загибелі людей, виходу з ладу обладнання, забрудненню навколишнього середовища.. Тому, з метою підвищення безпечності життєдіяльності людини та зниження збитків від травмонебезпечних та аварійних ситуацій, необхідно вивчати обставини їх появи, використовуючи методи системного аналізу та моделювання досліджуваних небезпечних ситуацій у техносфері.

У даному пункті розглядається модельний підхід превентивного визначення появи небезпечностей та розрахунок імовірності виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій.

Метод логічного моделювання потенційних аварій і травм надає можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності на виробництві, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх

поглибленому логічному аналізу і терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Аналіз побудованої логічної моделі технологічного процесу дозволяє знайти подію, з якої починається утворення небезпечної ситуації.

Тому модель виникнення небезпечних ситуації при роботі з ґрунтообробним агрегатом має вигляд [15]:

$$НУ — НД — НС — (А;Т)$$

У процесі роботи були забиті робочі органи машини (НУ), робітник намагається усунути недолік при працюючій машині (НД), це призводить до захоплення руки (НС) та травмуванню (Т) робітника.

Отже, при побудові логічних моделей виникнення виробничих небезпек можна уникнути травматизму на робочому місці при виконанні сільськогосподарських робіт.

Висновки по розділу.

Таким чином, в даному розділі наведені основні питання щодо організації охорони праці в господарстві та заходи відповідно нормативно-правовим нормам дотримання правил з охорони праці при виконанні сільськогосподарських робіт.

Визначено модель виникнення травматичних ситуацій при роботі з ґрунтообробним агрегатом для уникнення аварій і травмування працівників.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ЗІ СФЕРИЧНИМИ ДИСКОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ З НАХИЛЕНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

Економічний ефект від використання запропонованого дискового ґрунтообробного знаряддя досягається за рахунок економії енергетичних витрат на обробіток ґрунту. Ефективність використання цього дискового ґрунтообробного знаряддя для обробітку ґрунту, диски якого мають кут нахилу β до вертикалі, здійснена в порівнянні із дисковою бороною, диски якої не мають кута нахилу β .

Визначення енергетичної ефективності виконано за даними [16].

На основі результатів протоколів випробувань дискових борін для порівняння вибрано два варіанта борін:

- БДН-2,4 (виробник ПП «Бартощук») без кута β нахилу дисків до вертикалі (базовий);

- БДН-2,4 (виробник ВАТ «Луцьке РТП») з кутом нахилу β до вертикалі.

Вихідні дані цих дискових борін наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані щодо порівняльних варіантів дискових борін

Показники	Умовні позначення	Значення показників	
		БДН-2,4 без кута нахилу β	БДН-2,4 з кутом нахилу β
Агрегування (трактор тягового класу)		1,4	1,4
Робоча ширина захвату, м	B	2,4	2,4
Робоча швидкість, км/год	V_n	8,2-8,9	8-12
Глибина обробітку, см	h	11,3-13,8	8-18
Продуктивність за годину основного часу, га/год	$П_{agr.}$	1,97-2,14	1,97
Нормативне річне навантаження, год:			
- трактора,	$T_{тр.}$	1350	1350
- борони	$T_{б.}$	200	200
Теплоємність палива, МДж/кг	A_n	52,8	52,8

В таблиці 5.2 наведено дані відповідно до протоколів результатів випробувань дискових борін [16].

Таблиця 5.2 – Дані відповідно до протоколів результатів випробувань дискових борін

Показники	Умовні позначення	Значення показників	
		БДН-2,4 без кута нахилу β	БДН-2,4 з кутом нахилу β
Питомі енерговитрати, кВт/га	E_b	18,5-22,5	14,4-21,6
Коефіцієнт використання експлуатаційної потужності двигуна, %	$K_{в.п.д}$	58-82	52,4-72,1
Кришення ґрунту (фракції до 50 мм), %	$K_{кр}$	73,5-86,6	67,5-87,0
Гребнистість поверхні поля, см	$h_{гр}$	3,4	3,4
Коефіцієнт використання експлуатаційного часу	$K_{екс}$		0,7

Аналіз даних, що наведені в табл. 5.1 і 5.2, свідчить про те, що при відносно однакових вихідних даних (табл. 5.1) спостерігається зменшення питомих енерговитрат (табл. 5.2). Це зменшення дорівнює 4,1-0,9 кВт/га при застосуванні борони БДН-2,4 з кутом β нахилу дисків до вертикалі, що при різних режимах роботи (швидкості руху) і глибини дискування ґрунту до 18 см складає 22,12-4,0 %. До того ж потрібно відзначити, що коефіцієнт використання експлуатаційної потужності двигуна також на 7,60-9,95 менше використовується потужність двигуна трактора з бороною БДН-2,4 з кутом нахилу β до вертикалі. Це свідчить про те, що потрібне тягове зусилля також менше ніж для борони БДН-2,4 без кута β нахилу дисків. Загально відомо, що ступінь подрібнення будь-якого матеріалу безпосередньо пов'язане з витратами енергії. Якщо порівняти кришення ґрунту обох дискових борін при роботі, то можна установити, що ці показники в середньому однакові. Тобто, для однакового кришення ґрунту при використанні борони БДН-2,4 з кутом β нахилу дисків до горизонталі витрати енергії менші, що

свідчить про більш досконалу конструкцію цієї борони. Якщо порівняти глибину обробітку ґрунту обох, то середня його величина дорівнює $8+18:2=13$ см, що відповідає глибині обробітку базової борони $14,3+13,8:2=12,55$ см. Це є підставою для того, щоб можна визначити середню величину питомих енерговитрат:

- для базової борони, кВт/га

$$E_6 = 18,5 + 22,5 : 2 = 20,5$$

- для борони з кутом нахилу дисків до вертикалі, кВт/га

$$E_6 = 14,4 + 21,6 : 2 = 18$$

Отже, зменшення енерговитрат дорівнює 2,5 кВт/га, що складає 12,2 %.

Враховуючи величину коефіцієнта використання експлуатаційного часу роботи борони ($K_{\text{екс}}=0,7$), продуктивність за годину основного часу ($\Pi_{\text{агр}}=1,97$ га/год) і нормативне річне навантаження борін ($T_6=200$ год), річне напруцювання W_p борін дорівнює, га:

$$W_p = \Pi_{\text{агр}} \cdot K_{\text{екс}} \cdot T_6 = 1,97 \cdot 0,7 \cdot 200 = 275,8$$

а річне зменшення енерговитрат $E_{p,p}$ складає, кВт/ год:

$$E_{p,p} = E_6 \cdot W_p = 2,5 \cdot 275,8 = 689,5$$

із співвідношення $1\text{Вт}=1\text{Дж/с}$, $1\text{Дж}=1\text{Вт}\cdot\text{с}$. Тоді можна вирахувати цю енергію, МДж:

$$E_{p,p} = 689,5 \cdot 103 \cdot 3600 = 2482,5$$

Враховуючи теплоємність ($A_{\text{п}}=2482,5$ МДж/кг) і середню величину коефіцієнта використання експлуатаційної потужності двигуна:

$$K_{\text{е.п.д}} = 0,625 \text{ } 0,524 + 0,721 : 2$$

можна визначити річну економію палива ($M_{\text{п}}$) на дискуванні ґрунту, кг

$$M_{\text{п}} = 2482,5 : 52,8 : 0,625 = 75,2$$

За результатами виконаних розрахунків доведено, що річна економія енерговитрат при використанні ґрунтообробної борони, диски якої нахилені до вертикалі, дорівнює 689,5 кВт·год або 2482,5 МДж, що дорівнює 75,2 кг палива.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі наведено узагальнення досліджень і нове вирішення задачі підвищення ефективності роботи та скорочення питомих витрат енергії ґрунтообробних знарядь з СДРО шляхом нахилення вісі обертання робочих органів.

1. Проведеними дослідженнями встановлено, що найбільший економічний ефект технологічного процесу обробітку ґрунту під сівбу злакових культур досягається при використанні знарядь з СДРО, який за якісними показниками відповідає агро вимогам, зменшуючи витрати до 22 % порівняно з оранкою.

2. Одержано математичну модель для визначення кута різання ґрунту залежно від параметрів робочих органів дискової борони, найменше значення якого може бути критерієм оцінки при аналізі та виборі раціональних параметрів робочих органів дискової борони. Можливі межі при глибині дискування 12-18 см дорівнюють: $D_{\text{дис}} = 600-670$ мм; $R_{\text{сф}} = 600-670$ мм; $\alpha = 25-45^\circ$; $\beta = 10-25^\circ$; $\gamma_{\text{різ}} = 35-56^\circ$.

3. Експериментально встановлено (визначено) значення питомого зусилля $3,05-3,24$ Н/см² та потужності на приводу одного дискового робочого органу в межах $0,403 - 6,590$ кВт за умов дискування ґрунту з твердістю 127 близько $2,3$ МПа, щільністю $1,10-1,25$ г/см³, вологістю до 20 %, швидкості руху агрегату $7,6-11,1$ км/год та глибини обробітку 12-18 см.

4. Досліджено змінення тягового зусилля на глибині $h=18$ см і швидкості $V_n=7,6-11,1$ км/год та встановлено значення його середньоквадратичного відхилення в межах $71,7-446,6$ Н (коефіцієнт варіації $6,4-22,49$ %), що уможливорює стабільність робочого процесу диска. Порівняння тягового опору при теоретичних дослідженнях з експериментальними свідчить, що відхилення їх знаходиться в межах 14,4 %.

5. Використання дискової борони БДН-2,4, яка містить робочі органи з нахиленою віссю обертання, у порівнянні із батарейною бороною забезпечує річну економію енерговитрат на рівні $689,5$ кВт·год ($2482,5$ МДж), або в перерахунку на паливо – $75,2$ кг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрегати ґрунтообробні фірми ТОВ НВП «БілоцерківМАЗ». URL: <http://www.bcmaz.com.ua/catalog/2>.
2. Ветохін В.М., Панов І.М., Шмонін В.А. Тягово-комбіновані ґрунтообробні машини. Київ : Феникс, 2009. 207 с.
3. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Київ, 1999. 279 с.
4. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України : 2. вид., доп. Київ : ДІА, 2007. 276 с.
5. Далін А.Д., Павлов П.В. Ротаційні ґрунтообробні та землерийні машини Київ, 1980. 258 с.
6. Диски. Ґрунтообробна техніка. URL: <https://www.google.com.ua>.
7. Дискові борони фірми ПАТ «Червона Зірка». URL: <http://www.chervonazirka.com/index.php?part=production#tab7>.
8. Дискові робочі органи фірми «AgrisemInternational». URL: <http://www.agrisem.com/mulch-ru/mulch-ru/disc-o-mulch-ru/>
9. Дискові борони фірми «HORSCH». URL: <https://www.horsch2.com/ru/produkcija/mashiny-dlja-obrabotki-pochvy/diskovye-borony>.
10. ДСТУ 4744:2007. Якість ґрунту; Визначення структурно-агрегатного складу ситовим методом модифікації Н.І. Саввінова. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 7 с.
11. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків : Око. 2001. Т.1. Ч.1. 444 с.
12. Заїка П.М., Мачинський Ю.А., Морозов І.В. і ін. Довідник з машин та знарядь для рослинництва. Харків : Прапор, 1982. 144 с.
13. Канарьов Ф.М. Ротаційні ґрунтообробні машини та знаряддя. Київ : Вища школа, 1983. 142 с.

14. Ковбаса В.П. Механіко-технологічне обґрунтування оптимізації взаємодії робочих органів з ґрунтом: Автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.05.11 / В.П. Ковбаса; Нац. аграр. ун-т. Київ, 2006. 35 с.

15. Коробко О.В., Троян Ю.І. Методичні вказівки до практичної роботи. Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 18 с.

16. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машини для обробітку ґрунту та сівби. Навчальний посібник. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2009. 288 с.

17. Лучинський Л.Д., Про розрахунок впливу ґрунту на плоский та сферичний диски Київ. 1983. № 5. С. 38-39.

18. Синєоков Г.М. Дискові робочі органи ґрунтообробних машин. Теорія та розрахунок Київ : Вища школа, 1989. 86 с.

19. Синєоков Г.М., Панов І.М. Теорія та розрахунок ґрунтообробних машин Київ : Вища школа, 1977. 328 с.

20. Система техніко-технічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В.В. Адамчука, М.І. Грицишина. Київ : Аграр. наука, 2012. 416 с.

21. Johnston R.C.R., Birtwitlet R. Wheatland Disk Plough Investigations. II Disk Forces. Journal of Agricultural Engineering Research, 1983, vol 8, №4, p. 312-326.