

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО  
СЕРВІСУ ІМ. ПРОФ. ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

на тему: „ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИС-  
КОВОГО ПЛУГА”

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-62  
спеціальності 208 „Агроінженерія”  
(шифр і назва)

Юрко Андрій Геннадійович  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о. доц. Левчук О.В  
(прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Миронюк О.С.  
(прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

завдання

УДК 631.303:631.338

Юрко Андрій Геннадійович. Дослідження параметрів робочих органів дискового плуга. – Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича. –Дубляни, Львівський НУП, 2025.

54 с. текст. част., 13 рис., 2 табл., 29 джерел.

Проаналізовано сучасний стан способів та засобів для основного дискового обробітку ґрунту. Обґрунтовано необхідність досліджень робочих органів дискового плуга, обладнаного сферичними вирізними дисками.

Підтверджена гіпотеза щодо роботоздатності дискового плуга ПНД-4-40 з сферичними вирізними дисками на різних типах ґрунтів. Отримано аналітичні залежності для розрахунку основних конструктивно-технологічних параметрів та стійкості роботи дискового плуга.

Наведено методики та результати експериментальних досліджень з визначення опору сферичного вирізного диска з використанням лабораторного обладнання і ґрунтового каналу.

Розроблена карта умов праці для основного дискового обробітку ґрунту та логіко-імітаційну модель процесу виникнення травм під час технічного обслуговування дискового плуга ПНД-4-40.

Розраховано основні техніко-економічні показники використання дискового плуга ПНД-4-40.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1 АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	8
1.1 Типи ротаційних робочих органів сільськогосподарських машин.....	8
1.2 Існуючі типи дискових ґрунтообробних машин.....	10
1.3 Аналіз конструкцій дискових плугів.....	11
Висновки.....	15
<b>2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДИСКОВОГО ПЛУГА</b> .....	16
2.1 Обґрунтування робочого дискового плуга.....	16
2.2 Кінематичні параметри дискового робочого органу .....	17
2.3 Теоретичне дослідження взаємодії сферичного диска з ґрунтом.....	18
2.4 Дослідження геометричних параметрів пласта.....	22
2.5 Обґрунтування параметрів робочих органів дискового плуга.....	25
2.6 Розрахунок сил, що діють на дисковий плуг.....	26
Висновки.....	29
<b>3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	31
3.1. Мета і програма експериментальних досліджень.....	31
3.2 Передумови проведення дослідів.....	31
3.3 Дослідження тягового опору дискового робочого органу плуга.....	32
<b>4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	35
Висновки.....	37
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	38
5.1 Складання карти умов праці під час основного обробітку ґрунту дисковим плугом.....	38
5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм.....	41
<b>6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ</b>	

<b>ДИСКОВОГО ПЛУГА.....</b>	<b>46</b>
Висновки.....	49
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>50</b>
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>	<b>52</b>

## ВСТУП

Для основного та поверхневого обробітків ґрунту широко застосовують ґрунтообробні машини (знаряддя), обладнані дисковими робочими органами. Вони поділяються на дискові лушильники, дискові борони та дискові плуги. Останніми роками застосовуються також комбіновані агрегати з дисковими активними або пасивними робочими органами та різного роду котками [3, 4, 22].

Дискові лушильники мають робочі органи у вигляді сферичних дисків, діаметром 450мм, сформовані в окремі батареї, які кріпляться до рам бокових секцій і рухаються полем з кутом атаки, який можна змінювати в межах 25-35град. Глибина обробітку дисковими лушильниками 8-12см [3, 4, 22].

Важкі дискові борони мають сферичні вирізні диски діаметром до 650мм, які до рами борони кріпляться на індивідуальних стійках або згруповані у батареї. Самі батареї дискових борін запроєктовані так, що робочі органи заднього ряду перекривають оброблені ділянки переднього ряду дисків та ще й зміщують вирізаний пласт в сторону.

Дискові плуги застосовують для оранки переважно перезволожених ґрунтів, особливо під час обробітку ґрунту в технологіях виробництва рису. Вони мають робочі органи у вигляді сферичних дисків з діаметром до 900мм, встановлені на рамі плуга з певним перекриттям і кутом атаки, який може змінюватися в залежності від вологості ґрунтів та загального опору орного агрегату.

**Актуальність теми.** Процес взаємодії робочих органів дискового плуга із ґрунтом включає такі основні елементи, як відділення ґрунтового елемента від моноліту, рух його по поверхні робочого органу, траєкторію вільного польоту та розподіл ґрунтових елементів на поверхні обробленого поля. В залежності від типу робочого органу технологічний процес взаємодії його з ґрунтом може містити всі ці елементи або частин їх.

Детальний аналіз перелічених елементів дозволяє виявити особливості процесу роботи сферичного диска та прогнозувати ґрунтово-кліматичні умо-

ви, в яких він може працювати. Зокрема обертання диска полегшує обробку кам'янистих ґрунтів і ґрунтів, засмічених кореневищами, а відокремлення пласта від дна борозни при зсуві та відриві його виключає утворення ущільненого дна борозни, що позначається на фізичних властивостях ріллі.

Для обґрунтування ефективності роботи дискового плуга за різних кутів атаки його робочого органу доцільно провести аналітичні та експериментальні дослідження.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності процесу основного обробітку ґрунту через дослідження та обґрунтування технологічних параметрів сферичних вирізних дисків дискового плуга.

**Задачі досліджень:**

1. Проаналізувати існуючі способи та засоби для основного дискового обробітку ґрунту;
2. Аналітично дослідити взаємодію сферичного диска з ґрунтом;
3. Провести експериментальні дослідження системи «дисковий робочий орган-ґрунт»;
4. Розробити карту умов праці під час основного обробітку ґрунту дисковим плугом ПНД-4-40;
5. Виконати техніко-економічну оцінку застосування дискового плуга ПНД-4-40.

**Об'єкт дослідження** – сферичні вирізні диски дискового плуга ПНД-4-40 та технологічний процес основного обробітку ґрунту.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни показників ефективності основного обробітку ґрунту від параметрів сферичного вирізного диска дискового плуга ПНД-4-40.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 1 статтю у матеріалах і тезах наукових конференцій.

## 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Типи ротаційних робочих органів сільськогосподарських машин

Обертання робочих органів є основною відмітною ознакою ротаційних ґрунтообробних машин і знарядь.

Енергія від двигуна внутрішнього згоряння до активного робочого органу сільськогосподарської машини (знаряддя) у вигляді ротора може надходити через тяговий пристрій трактора. В цьому випадку ротор починає обертатися внаслідок пасивної взаємодії (торкання) робочих органів із ґрунтом (пасивний канал).

Коли енергія передається від двигуна до ротора через карданний вал, гідропривід або електро-, чи пневмопривід, то обертання ротора стає примусовим, тобто активним (активний канал). Енергія може надходити до ротора також по двох каналах одночасно: від енергетичного засобу та від ґрунтового середовища.

Якщо ротор отримує енергію тільки через пасивний канал, то весь пристрій, до якого він належить, зазвичай називають знаряддям, а якщо через пасивний і активний або через активний канал – машиною.

Наступною важливою ознакою, що характеризує ротаційні ґрунтообробні машини та знаряддя, є розташування осі обертання ротора в просторі.

Оскільки рух точок робочих органів роторів з однаковим розташуванням осі обертання у просторі описується однаковими рівняннями, то під час класифікації роторів ґрунтообробних машин (знарядь) слід враховувати цю особливість.

На рисунку 1.1 наведено схеми ротаційних робочих органів ґрунтообробних машин (знарядь) за розміщенням в просторі їх осі обертання.

Плоскі диски, робочі органи ротаційних культиваторів, ґрунтообробних фрез, обертових мотик, дискових ножів плугів загального призначення та ін. с.-г. машин в сукупності з осями, валами, підшипниковими опорами, на



яких вони закріплені, утворюють актині робочі органи (ротори) з горизонтально-поперечною (по відношенню до напрямку руху агрегату) віссю обертання, то вони відносяться до класу А (рисунок 1.1).

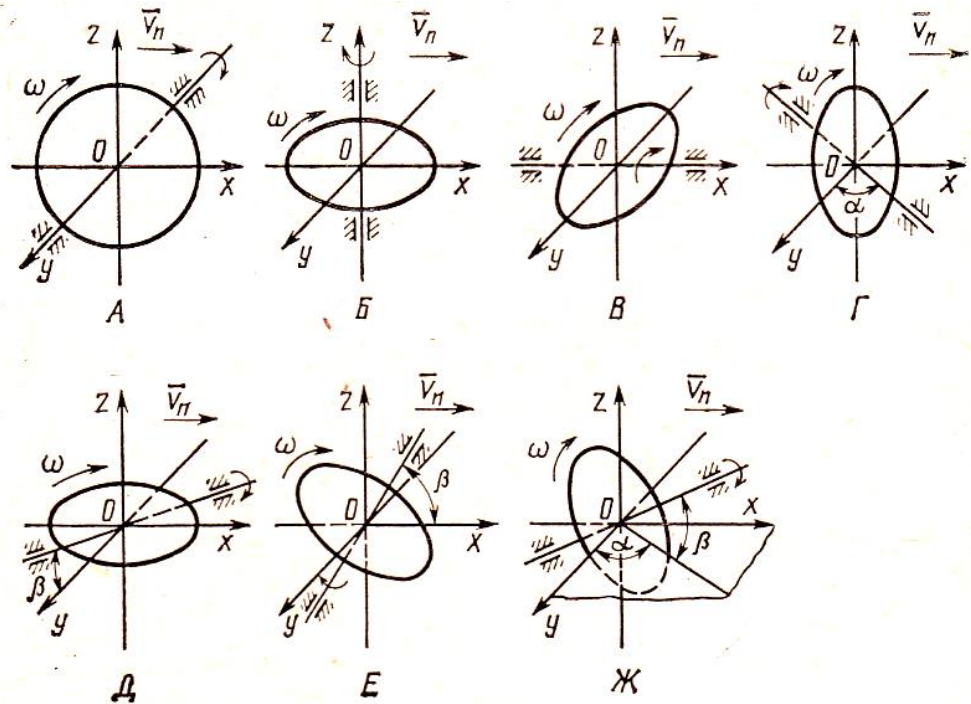


Рисунок 1.1 – Схема класифікації роторів ротаційних машин і знарядь за розміщенням осі обертання:

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

Вісі дискових луцильників і борін як правило повернуті до напрямку руху агрегату під певним кутом. Саме тому, їх ротори можна віднести до класу Г.

У дискових плугів вісь обертання дисків не тільки повернута до напрямку руху орного агрегату, але й має нахил до вертикалі, а тому такий ротор відносимо до класу Ж.

Вертикальне обертання роторів (клас Б) притаманне пальчиковим фрезам і культиваторам, а також робочим органам ротаційних косарок, машин для несення мінеральних добрив з ротаційним розкидним пристроєм відцентрового типу.

## 1.2 Існуючі типи дискових ґрунтообробних машин

Ґрунтообробні машини (знаряддя) широко застосовують для основного та поверхневого обробітків ґрунту. Вони поділяються на дискові лушчильники, дискові борони та дискові плуги. Останніми роками застосовуються також комбіновані агрегати, елементами яких є дискові робочі органи та різні типи котків.

Дискові лушчильники – це широкозахватні дискові знаряддя, призначені для лущення стерні після збирання зернових культур, вирівнювання поля й знищення бур'янів. Вони мають робочі органи у вигляді сферичних дисків, діаметром 450мм, сформовані в окремі батареї, які кріпляться до рам бокових секцій і рухаються полем з певним кутом атаки, який можна змінювати в межах 25-35град. Глибина обробітку дисковими лушчильниками 8-12см.

Дискові борони застосовують для дискування сидерату, заробляння післяжнивних решток, дискування полів після оранки, дискування забур'янених полів та староорних земель. Дискові борони поділяються на звичайні (обладнані вирізними дисками) та важкі, які мають сферичні вирізні диски діаметром до 650мм. Диски до рами борони кріпляться на індивідуальних стійках або згруповані у батареї. Самі батареї дискових борін запроектовані так, що робочі органи заднього ряду перекривають оброблені ділянки переднього ряду дисків та ще й зміщують вирізаний пласт в сторону.

Дискові борони можуть обробляти ґрунт на глибину до 24см завдяки індивідуальним стійкам дисків. Але переважно вони працюють на глибині до 16см. Кут атаки робочих органів дискових борін змінюється від 0 до 24град. Але за більших кутів атаки можливе налипання на робочі органи грудочок землі, особливо, якщо вологість ґрунту перевищуватиме 25%.

Дискові плуги застосовують для оранки переважно перезволожених ґрунтів, особливо під час обробітку ґрунту в технологіях виробництва рису. Вони мають робочі органи у вигляді сферичних дисків з діаметром до 900мм, встановлені на рамі плуга з певним перекриттям і кутом атаки, який може

змінюватися в залежності від вологості ґрунтів та загального опору орного агрегату. Плуги мають право обертові дискові корпуси, а за способом агрегування – можуть бути причіпними і начіпними.

### 1.2 Аналіз конструкцій дискових плугів

Плуг дисковий начіпний ПНД-4-30 призначений для глибокої (до 30см) оранки «всклад» і «врозгін» важких за механічним складом ґрунтів з питомим опором до  $1,275 \text{ кг/см}^2$ . Це переважно зволожені рисові поля та осушені болота з наявністю великої кількості кореневищ деревини та післяжнивних решток.

Плуг обладнаний чотирма сферичними дисками 6 (рисунок 1.2), перед якими змонтовано чотири передплужники 5 у вигляді кутознімів та стільки ж ножів-розпушувачів 4, змонтованих на рамі 3, що опирається на опорне колесо з гвинтовим механізмом 1 регулювання глибини обробітку. У передній частині рами міститься начіпний пристрій 2 для з'єднання плуга з енергетичним засобом [4].

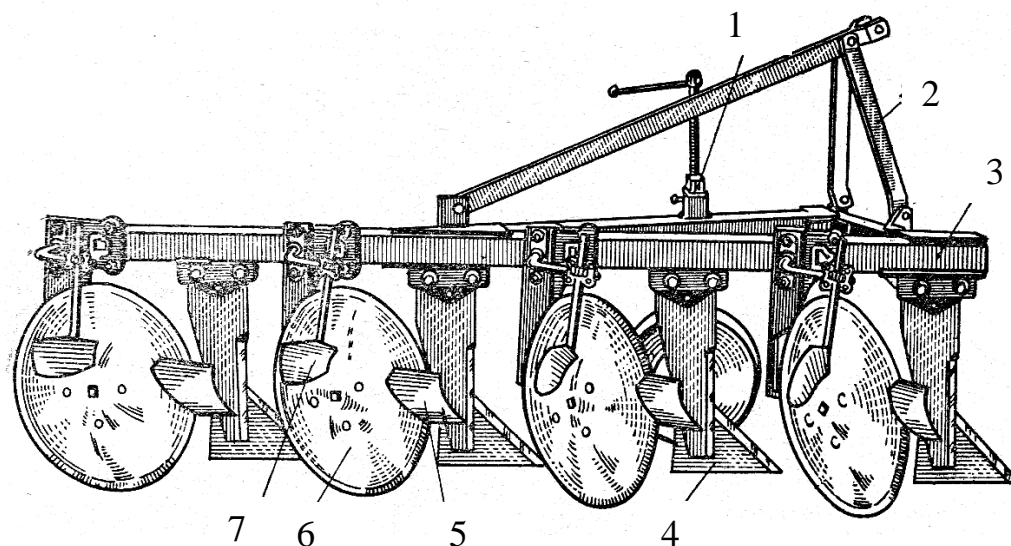


Рисунок 1.2 – Плуг дисковий начіпний ПНД-4-30:

1 – опорне колесо з гвинтовим механізмом; 2 – начіпний пристрій; 3 – рама; 4 – ніж-розпушувач; 5 – передплужник (кутознім); 6 – дисковий робочий орган; 7 – очисник.

Сферичні диски 6 встановлені на рамі 3 з відхилення від вертикалі на кут 15-20град. і від напрямку руху агрегату – на кут 40-45град. Біля кожного диска змонтовано очисники 7 для постійного очищення його поверхні від землі та рослинних решток. Під час роботи, внаслідок поступального руху плуга, диски під дією реактивного опору ґрунту вільно обертаються навколо горизонтальних або нахилених осей, піднімають, кришать та обертають скибу, попередньо відрізану від моноліту ножами-розпушувачами 4.

Перевагою дискового плуга є досить якісне кришіння ґрунту, подрібнення післяжнивних решток і кореневищ, менші енергозатрати на виконання технологічного процесу. Проте, робочі органи дискового плуга не достатньо якісно обертають пласт та загортають післяжнивні рештки та бур'яни.

Після проходу робочих органів дискового плуга на зораному полі наявна велика кількість скиб, дно борозни не вирівняне, а підорний шар не вирівняний, а має хвилеподібний вигляд.

Плуг дисковий ПНД-3 має таке ж призначення, що і плуг ПНД-4-40. Це навісна конструкція, основою якої є рама 1 (рисунок 1.3), в передній частині якої змонтовано систему начіпки 5, а у задній – борозенне колесо 2 [18].

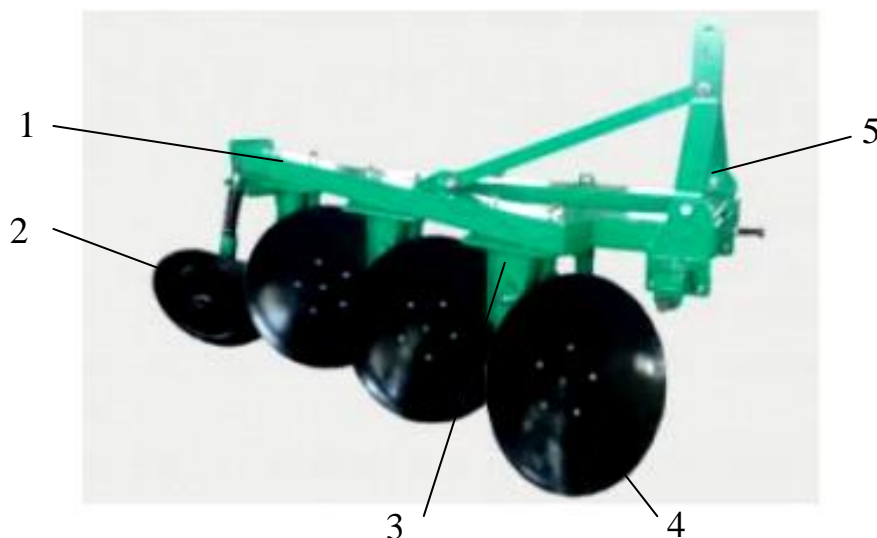


Рисунок 1.3 – Плуг дисковий навісний ПНД-3:

- 1 – рама; 2 – борозенне колесо; 3 – індивідуальна стійка;  
4 – сферичний диск; 5 – система начіпки.

Робочими органами плуга є сферичні диски 4, змонтовані на осях індивідуальних стійок 3. Його принцип роботи подібний до вищенаведеного. Недоліком плуга ПНД-3 є підвищена імовірність налипання вологого ґрунту та рослинних решток на поверхню сферичного диска через відсутність на ньому спеціальних очисників. Крім того, у вертикальній площині стінка борозни, а у горизонтальній площині дно борозни мають округлу конфігурацію, що унеможливує утворення однакових скиб під час органки і утруднює процес оранки. Поле після роботи такого плуга має досить багато нерівностей у вигляді різних за розмірами скиб.

Чотирикорпусний дисковий плуг має таке саме призначення, що і попередні моделі. Особливістю конструкції даного плуга є наявність двох рам – жорсткої 3 (рисунок 1.4) та шарнірної 1 [1].

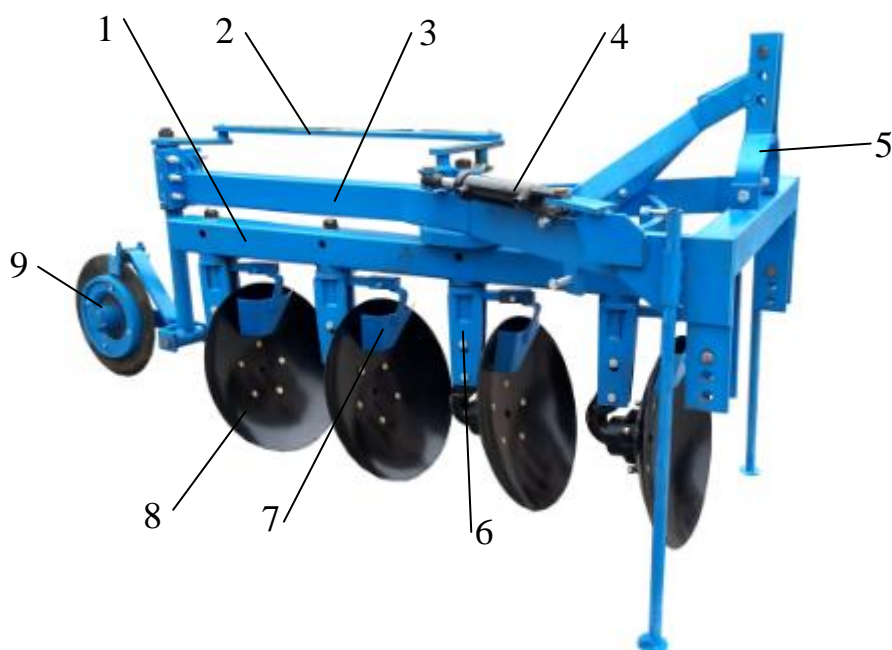


Рисунок 1.4 – Плуг дисковий навісний:

1 – рама шарнірна; 2 – тяга; 3 – рама жорстка; 4 – гідроциліндр;  
5 – система начіпки; 6 – стійка індивідуальна; 7 – очисник; 8 – диск сферичний; 9 – колесо борозенне.

На жорсткій рамі 3 змонтовано систему начіпки 5 та механізм повороту дисків, який містить гідроциліндр 4 та тягу 2. Змінюючи їх положення можна регулювати кут атаки робочих органів плуга дистанційно.

На шарнірній рамі 1 плуга змонтовано борозенне колесо 9 та робочі органи у вигляді сферичних дисків 8, закріплених у осях індивідуальних стійок 6. Біля кожного диска кріпиться очисник 7.

Технологічний процес роботи плуга аналогічний, як і у попередніх моделей. Його особливістю є можливість плавної зміни кута атаки дисків під час оранки, особливо ґрунтів, за механічним складом які та наявністю на поверхні поля різної кількості післяжнивних решток мають неоднакову структуру.

Дисковий плуг GN 151 ZIRKA призначений для обробітку кам'янистих, важких, болотистих та сильно засмічених бур'янами та післяжнивними рештками ґрунтах [8].

Плуг має раму 1 (рисунок 1.5) із жорстко закріпленими індивідуальними стійками 3, на осях 4 яких змонтовано сферичні вирізні диски 5, кут атаки та кут встановлення яких до горизонту можна регулювати гвинтовими механізмами 2.



Рисунок 1.5 – Плуг дисковий GN 151 ZIRKA

В основу принципу його роботи покладена технологія з використанням робочих органів, які виконують складний обертово-поступальний рух. При зустрічі з перешкодою у ґрунті дисковий плуг перекочується через неї, саме це робить можливим широке застосування плугів дискового типу як в сільському, так і в лісовому господарствах. У сільському господарстві дисковий плуг GN 151 ZIRKA використовується переважно для лущення стерні, а та-

кож для передпосівного обробітку ґрунту, на якому вирощувалися культури з товстими стеблами, оскільки доволі якісно знищує бур'яни та загортає післяжнивні рештки.

Слід відмітити, що в цілому дискові плуги добре себе зарекомендували під час роботи на схилах і ґрунтах, схильних до вітрових та водних ерозій, а на сухих ґрунтах після таких плугів залишається менше нерозбитих брил.

### Висновки

1. На сучасному етапі розвитку техніки і технологій для основного дискового обробітку ґрунту застосовують дискові борони та дискові плуги, обладнані вирізним сферичними дисками діаметром 650 та 900мм відповідно;

2. У дискових плугів вісь обертання дисків не тільки повернута до напрямку руху орного агрегату, але й має нахил до вертикалі, а тому такий ротор, за розміщенням осі обертання, відносимо до класу Ж.

3. Одним із шляхів підвищення ефективності застосування дискових плугів в різних ґрунтово-кліматичних умовах є попередні аналітичні та експериментальні дослідження їх технологічних параметрів.

## 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДИСКОВОГО ПЛУГА

### 2.1 Обґрунтування робочого процесу дискового плуга

Процес взаємодії робочих органів дискового плуга із ґрунтом включає такі основні елементи, як відділення ґрунтового елемента від моноліту, рух його по поверхні робочого органу, траєкторію вільного польоту та розподіл ґрунтових елементів на поверхні обробленого поля. В залежності від типу робочого органу технологічний процес взаємодії його з ґрунтом може містити всі ці елементи або частина їх.

Технологічна схема роботи сферичного диска плуга (рисунок 2.1) включає такі елементи: відділення пласта від моноліту, залучення його диском у обертальний рух, переміщення пласта щодо поверхні диска та наступне відділення від нього, траєкторію вільного польоту пласта та порядок розподілу брил на ораному полі.

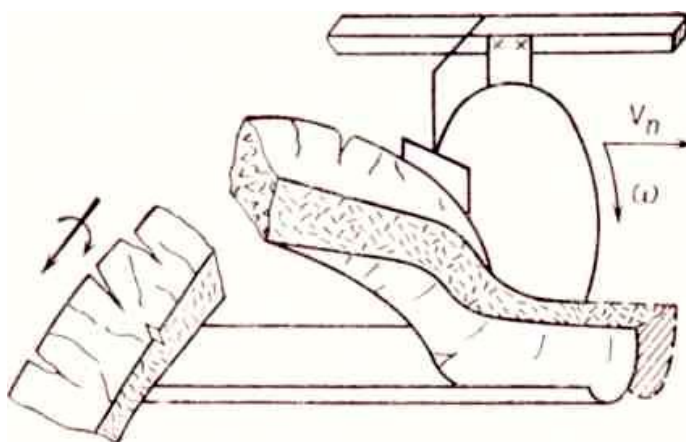


Рисунок 2.1 – Технологічна схема роботи сферичного диска плуга

Детальний аналіз перелічених елементів дозволяє виявити особливості процесу роботи сферичного диска та прогнозувати ґрунтово-кліматичні умови, в яких він може працювати. Зокрема обертання диска полегшує обробку кам'янистих ґрунтів і ґрунтів, засмічених кореневищами, а відокремлення пласта від дна борозни при зсуві та відриві його виключає утворення ущільненого дна борозни, що позначається на фізичних властивостях ріллі.



Рух шару ґрунту (після відділу від диска) по крутій параболі інтенсифікує процес його кришення, виключає утворення довгих стрічкових пластів при обробці вологого злитого ґрунту. Крім того, для дискового робочого органу допускається зміна положення осі його обертання у просторі та регулювання, таким чином, якісних показників його роботи при зміні властивостей ґрунту.

## 2.2 Кінематичні параметри дискового робочого органу

Дискові робочі органи плугів та інших ґрунтообробних машин і знарядь рухаються по прямолінійній траєкторії, тому інтенсивність деформації та розпушування ґрунту залежить в основному від їхньої геометричної форми.

Основними характеристиками руху дискового робочого органу (простого ротора) є вид траєкторії, величина й напрям швидкості найбільш характерної його точки, а в ряді випадків величина та напрям прискорення.

Опис кінематики робочого органу дискового плуга слід розпочинати з розгляду руху будь-якої точки, що належить даному робочому органу, який має повернену і нахилену вісь обертання (див. рисунок 1.1, Ж), розташовану на відстані  $R_i$  від осі його обертання. Оскільки вісь такого диска розташована довільно у просторі, то рівняння кінематики цього робочого органу є загальними і з них легко отримати рівняння, що характеризують кінематику диска з притаманним його розташуваннями осі обертання.

Загальні рівняння, що описують траєкторію будь-якої точки диска з поверненою і нахиленою віссю обертання, мають вигляд [27]

$$\left. \begin{aligned} x &= V_n t + R_i \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t + R_i \cos \alpha \cos \omega t; \\ y &= R_i \cos \beta \cos \alpha \sin \omega t - R_i \sin \alpha \cos \omega t; \\ z &= -R_i \cos \beta \sin \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де  $V_n$  - швидкість поступального руху диска плуга;

$t$  - час (тривалість) руху диска плуга;

$R_i$  - відстань від осі обертання диска плуга до  $i$ -тої точки на ньому;

$\alpha$  – кут атаки диска плуга;

$\beta$  – кут нахилу осі обертання диска плуга до горизонту;

$\omega$  – кутова швидкість диска плуга;

$\omega t$  – кут повороту диска плуга, що відраховується від осі  $OX$  (див. рисунок 1.1) за годинниковою стрілкою.

Абсолютна швидкість диска становить:

$$V = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} = V_n \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda(\sin \alpha \sin \beta \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t)} \quad (2.2)$$

де  $\lambda$  – кінематичний параметр ротора.

Напрямок вектора абсолютної швидкості в просторі визначають напрямні косинуси, тобто:

$$\left. \begin{aligned} \cos(x, V) &= \frac{\frac{dx}{dt}}{V} = \frac{V_x}{V}; \\ \cos(y, V) &= \frac{\frac{dy}{dt}}{V} = \frac{V_y}{V}; \\ \cos(z, V) &= \frac{\frac{dz}{dt}}{V} = \frac{V_z}{V}. \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Абсолютне прискорення точки визначаємо із залежності

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} = \omega^2 R_i. \quad (2.4)$$

Таким чином, отримані формули (2.2) та (2.4) дають змогу визначити основні кінематичні параметри дискового робочого органу плуга.

### 2.3 Теоретичне дослідження взаємодії сферичного диска з ґрунтом

Проаналізуємо взаємодію сферичного диска, яким обладнують дискові плуги з ґрунтом, який має кут атаки  $\alpha$  (див. рисунок 1.1) та кут нахилу  $\beta$ .

Лезо диска плуга може бути заточене із зовнішньої чи внутрішньої сторони. При внутрішньому заточуванні зменшується реакція ґрунту на лезо і майже усувається поява негативних потиличних кутів  $\varepsilon$  (рисунок 2.2 ,а) – ку-

тів між напрямом руху робочого органу або вектором його абсолютної швидкості та потиличною поверхнею робочого органу.

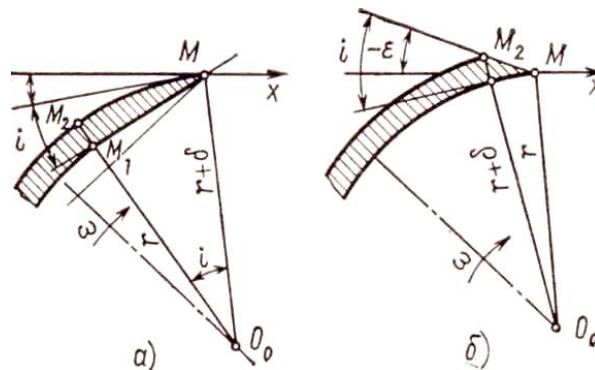


Рисунок 2.2 – Схема заточування леза сферичного диска:  
а – внутрішнє заточування; б – зовнішнє заточування

Коли диск заточений із зовнішнього боку, то заглиблення його в ґрунт утруднене через появу від'ємних потиличних кутів  $\varepsilon$  (див. рисунок 2.2 ,б).

При внутрішньому заточуванні зменшується також сила тертя у зоні сходу пласта. Найбільш сприятливі умови для роботи диска створюються при внутрішньому заточенні, що забезпечує плавне сполучення фаски заточування з внутрішньою поверхнею сфери.

Таке заточування легко виконати, якщо відомий кут  $i$  між дотичними, проведеними з точки леза до внутрішньої та зовнішньої сферичних поверхонь (кут заточування), або ширина фаски заточування.

Перетинаючи сферичний диск площиною, що проходить через вісь його обертання, отримаємо нормальний переріз леза диска. Тоді ширина фаски заточування (див. рисунок 2.2, а) становить

$$MM_1 = b_b = (r + \delta) \sin i, \quad (2.5)$$

де  $r$  – радіус внутрішньої сферичної поверхні диска;

$\delta$  – товщина диска.

З трикутника  $O_0MM_1$  маємо

$$MM_1 = \sqrt{(r + \delta)^2 - r^2}. \quad (2.6)$$

При спільному вирішенні виразів (2.5) і (2.6) знайдемо кут заточування, при якому забезпечується плавний перехід між фаскою заточування і внутрішньою поверхнею диска.

$$i = \arcsin \frac{\sqrt{(r + \delta)^2 - r^2}}{r + \delta}. \quad (2.7)$$

Залежність між кутом  $i$  та шириною  $b_n$  фаски при зовнішньому заточенні визначимо з трикутника  $O_0MM_2$  (див. рисунок 2.2 ,б). Враховуючи, що кут  $O_0MM_2$  дорівнює  $(0,5\pi+i)$ , використовуючи теорему косинусів, будемо мати

$$b_n = MM_2 = \sqrt{r^2 \sin^2 i + 2r\delta + \delta^2} - r \sin i. \quad (2.8)$$

Таким чином, контролювати точність кута заточки можна виміром ширини фаски заточування, обчисливши її за формулою (2.5) для внутрішньої і за формулою (2.8) для зовнішнього заточування.

Для зменшення реакції ґрунту лезу, що представляє двогранний клин у нормальному перерізі, прагнуть надати робоче положення, при якому воно контактує з ґрунтом однією лицьовою гранню  $MM_1$  (див. рисунок 2.2, а). Тоді між напрямком руху та потиличною гранню  $MM_2$  утворюється позитивний потиличний кут  $+\epsilon$ .

Лицьовою гранню клин деформує ґрунт зазвичай у напрямі відкритої поверхні ґрунту (борозни), тому реакцію на цю грань характеризує питомий опір  $k_0$  пласта. Потиличною гранню клин деформує ґрунт у напрямку моноліту, тому реакція на цю грань визначається твердістю  $k_t$  ґрунту.

Таким чином, під час обробітку легких і вологих ґрунтів, у яких  $k_m < k_0$  допустима зовнішня заточка леза. У сухих твердих ґрунтів  $k_t > k_0$  тому їх обробляти легше дисками з внутрішнім заточенням.

Лезо диска відокремлює пласт від моноліту і деформує їх у зоні відділення. Загальну деформацію пласта здійснюють поверхні робочого органу. Вони можуть бути плоскими, криволінійними та комбінованими. Робочою поверхнею сферичного диска є частина сфери. Якщо периметр поперечного перерізу леза значно менший за периметр такого ж перерізу поверхні робочо-

го органу, то при розгляді деформації всього пласта форму леза можна не враховувати.

При цьому, вважаючи основним геометричним елементом, що визначає ступінь деформації пласта в момент його відокремлення від моноліту є кут різання  $\gamma$ , то для диска плуга його можна записати у вигляді

$$\gamma = i + \varepsilon. \quad (2.9)$$

Якщо у робочого органу взаємодіють із ґрунтом лицьова та потилична поверхні, то  $\gamma = i$ .

Розглянемо найпростіший випадок – зміна потиличного кута  $\varepsilon$  в горизонтальному перерізі загальмованого сферичного диска. Для цього представимо диск частиною сфери (рисунок 2.3).

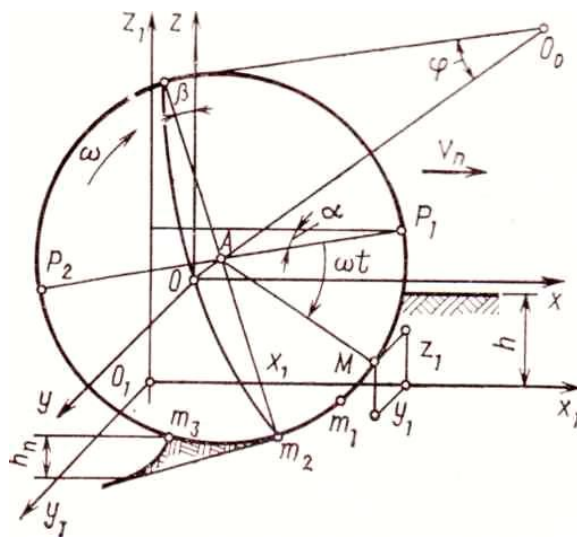


Рисунок 2.3 – Схема взаємодії сферичного диска з ґрунтом

Рівняння сфери у системі  $x_1y_1z_1$  має вигляд:

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2 = r^2, \quad (2.10)$$

де  $x_0, y_0, z_0$  – координати центру сфери, що визначаються (при повертанні точки  $A$  в площині  $y_1O_1z_1$ ) за формулами [19, 27].

$$x_0 = \sqrt{r^2 - R^2} \sin \alpha \cos \beta, \quad (2.11)$$

$$y_0 = R \sin \alpha + \sqrt{r^2 - R^2} \cos \alpha \cos \beta. \quad (2.12)$$

Підставивши координати центру сфери в рівняння (2.10), після перетворень отримаємо

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - 2A_1x_1 - 2B_1y_1 - 2C_1z_1 - D_1 = 0, \quad (2.13)$$

де  $A_1 = x_0$ ;  $B_1 = y_0$ ;  $C_1 = z_0$ ;

$$D_1 = r^2 + R^2(\cos^2 \beta - \cos^2 \alpha) + 2R\sqrt{r^2 - R^2}(\sin \alpha \cos \alpha - \sin \beta) \cos \beta.$$

Щоб визначити потиличний кут  $\varepsilon_r$  для загальмованого диска ( $V=V_n$ ) у будь-якій точці М (див. рисунок 2.3) леза, необхідно знати її координати. У прийнятій системі  $x_1y_1z_1$  координати  $x_1$  і  $y_1$  визначимо за формулами:

$$x_1 = V_n t + R \sin \alpha \sin \beta - z_1 \sin \alpha \operatorname{tg} \beta \pm E_1 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}, \quad (2.14)$$

$$y_1 = R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta - z_1 \cos \alpha \operatorname{tg} \beta \pm E_1 \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}, \quad (2.15)$$

де  $E_1 = \sqrt{2Rz_1 \cos \beta - z_1^2}$ .

Перетинаючи сферу площиною та диференціюючи отримане рівняння по  $x_1$  знайдемо кут  $\varepsilon_r$  між віссю  $x_1$  і дотичними в точках перетину леза диска з горизонтальними колами:

$$\varepsilon_r = \operatorname{arctg} \frac{dy_1}{dx_1} = \operatorname{arctg} \frac{A_1 - x_1}{y_1 - B_1}. \quad (2.16)$$

Таким чином, із збільшенням кута різання  $\gamma_c$  та  $\gamma_k$  зростають напруження в пласті ґрунту і його руйнування. Сферичний диск діє на пласт найбільшою деформацією в момент, коли останній опиняється на його поверхні в зоні  $\omega t > (0,5\pi)$ . Відповідно, результуюча нормальних сил пласта на внутрішню поверхню диска прикладена саме в цій зоні.

#### 2.4 Дослідження геометричних параметрів пласта

Основним геометричним параметром пласта, що відокремлюється сферичним диском плуга є його поперечний переріз. Оскільки він обмежується лезом диска, то поперечний переріз пласта є частиною проекції кола диска на площину  $y_1O_1z_1$  (рисунок 2.4). Воно обмежується проекцією лінії леза, глибиною оранки  $h$  і площею перекриття суміжних дисків.

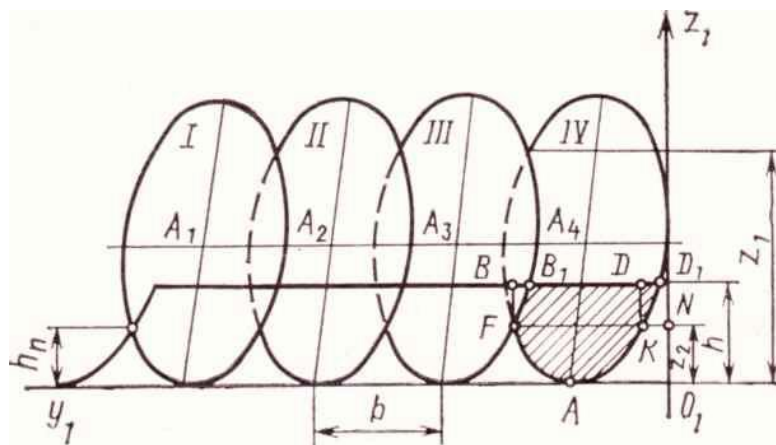


Рисунок 2.4 – Поперечне січення пласта, відділене диском плуга

Система координат  $x_1y_1z_1$  (див. рисунок 2.3) розташована нижче системи  $xuz$  на величину  $R_i \cos \beta$  та зміщена по осі  $y$  на величину  $R_i \sin \alpha$ . Тому в системі  $x_1y_1z_1$  рівняння (2.1) мають вигляд [26, 27]:

$$x_i = V_n t + R_i \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t + R_i \cos \alpha \cos \omega t, \quad (2.17)$$

$$y_i = R_i \sin \alpha + R_i \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t - R_i \sin \alpha \cos \omega t, \quad (2.18)$$

$$z_i = R_i (1 - \sin \omega t) \cos \beta. \quad (2.19)$$

Вважаючи  $R = R_i$  і розв'язуючи спільно рівняння (2.18) і (2.19), отримаємо рівняння проекції леза диска на площину  $y_1O_1z_1$  (див. рисунок 2.4, еліпс IV):

$$y_{IV} = R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin - z_i \cos \omega t \operatorname{tg} \beta - R \sin \alpha \cos \arcsin \left( 1 - \frac{z_i}{R \cos \beta} \right). \quad (2.20)$$

Відстань між суміжними дисками у проекції на фронтальну площину становить:

$$b = y_{III} - y_{IV}. \quad (2.21)$$

Висота поздовжнього гребеня  $Z_l = h_n$  утворюється при перетині лівої та правої частин еліпсів IV та III.

Тому вираз буде аналогічним до виразу в рівнянні (2.20), але з протилежним знаком перед останнім членом. Враховуючи це і вирішуючи формулу (2.21) щодо  $z_1$  знайдемо

$$z_{1,2} = (R \pm \sqrt{R^2 - A_2^2}) \cos \beta, \quad (2.22)$$

де  $A_2 = \frac{b}{2 \sin \alpha}$ .

Теоретична висота поздовжнього гребеня на дні борозни становить:

$$h_n = z_2 = (R - \sqrt{R^2 - A_2^2}) \cos \beta. \quad (2.23)$$

Площа поперечного перерізу пласта  $S_{\Pi}$  дорівнює площі фігури  $AFB_1D_1K$  та може бути визначена за формулою

$$S_n = S_{AFB_1D_1K} = S_{AFK} + S_{FB_1D_1K}, \quad (2.24)$$

Тут  $S_{AFK} = S_{O_1AFN} - S_{O_1AKN}$ , (2.25)

причому  $S_{FB_1D_1K} = S_{FBDK}$  внаслідок паралельності кіл дисків.

Оскільки для визначення  $S_{O_1AFN}$  береться ліва гілка еліпса  $IV$ , то в рівнянні (2.20) останній член потрібно взяти зі знаком плюс, а при визначенні площі  $S_{O_1AKN}$  – зі знаком мінус.

Підставляючи необхідні дані у формулу (2.25), після перетворення отримуємо

$$S_{AFK} = 2R \sin \alpha \int_0^{z_2} \cos \arcsin \left( 1 - \frac{z}{R \cos \beta} \right) dz. \quad (2.26)$$

Після інтегрування та перетворень

$$S_{AFK} = E_2 R^2 \sin \alpha \cos \beta, \quad (2.27)$$

$$\text{де } E_2 = \arcsin \left[ \frac{A_2}{R} - \left( \frac{A_2}{R} \right) \sqrt{1 - \frac{A_2^2}{R^2}} \right]. \quad (2.28)$$

Площа прямокутника частини вирізаного диском пласта становить:

$$S_{FBDK} = B(h - h_n) \quad (2.29)$$

В результаті підстановки необхідних даних у формулу (2.24) знайдемо площу поперечного перерізу пласта, що відокремлюється сферичним диском плуга

$$S_n = b(h - h_n) + E_2 R^2 \sin \alpha \cos \beta. \quad (2.30)$$



## 2.5 Обґрунтування параметрів робочих органів дискового плуга

Під час дослідження дискового плуга обґрунтуванню підлягають параметри робочих органів, сили та моменти сил, які діють робочі органи і плуг загалом. Як критерій для розрахунку радіуса диска візьмемо ширину  $b$  захвату корпусу при допустимій гребнистості  $h_n$  на дні борозни.

Тоді, вирішуючи рівняння (2.23) щодо  $R$ , будемо мати

$$R = \frac{b^2 \cos \beta + 4h_n^2 \sin^2 \alpha}{8h_n \cos \beta \sin^2 \alpha}. \quad (2.31)$$

Таким чином, для розрахунку  $R$  потрібно задати ширину  $b$  захвату диска, допустиму агротехнічними вимогами, поздовжню гребніст  $h_n$  дна борозни, кут нахилу  $\beta$  і кут атаки  $\alpha$  диска.

В результаті численних досліджень встановлено, що диск плуга стійко відокремлює і обертає пласт ґрунту за  $\alpha = 35-45$ град. і  $\beta = 10-20$ град. [2, 6, 7].

Якщо дисковий плуг буде працювати на максимальну глибину  $h=0,25$ м, то, враховуючи руйнування гребеня під час його роботи, можна припустити, що теоретична величина  $h_n = 0,075$ м. Вважаючи ширину захвату одного корпусу  $b = 0,3$ м, згідно (2.31) отримаємо  $R=0,393$ м, тобто приймаємо  $R=0,4$ м.

Дійсна висота гребеня  $h_n$  на дні борозни буде близька до теоретичного значення лише під час обробітку пластичного ґрунту. Якщо орють ґрунт з іншими властивостями, пласт, як правило, руйнується частково або повністю.

Радіус сфери диска визначаємо за формулою

$$r = \sqrt{\frac{R^2 + x_l}{\sin \alpha \cos \beta}}. \quad (2.32)$$

Для заданих умов, а саме:  $R=0,4$ м;  $\alpha = 40$ град. і  $\beta = 15$ град.;  $h=0,25$ м радіус сфери  $r = 0,85$ м.

Скориставшись формулою (2.7) отримаємо кут  $i$  загострення фаски сферичного диска плуга, який становить 8град. за товщини самого диска  $\delta=0,008$ м. Тоді площа  $S_n$  поперечного перерізу пласта, що відокремлюється сферичним диском плуга (формула 2.30) становить  $0,00675$ м<sup>2</sup>.

## 2.6 Розрахунок сил, що діють на дисковий плуг

Для розрахунку тягового опору дискового плуга та аналізу стійкості його руху складемо схеми сил і моментів, що діють на вертикальній площині. Показуючи сили (рисунок 2.5), що діють у тягах навішування, необхідно врахувати, що в місцях з'єднання з трактором і плугом вони мають шарові шарніри, і тому при роботі агрегату результуючі сили спрямовані вздовж тяги. Щоб спроектувати ці сили на координатні осі, колінеарні осі  $x_1y_1z_1$  (див. рисунок 2.3) і рівноспрямовані з ними, необхідно знайти напрямні косинуси їх векторів.

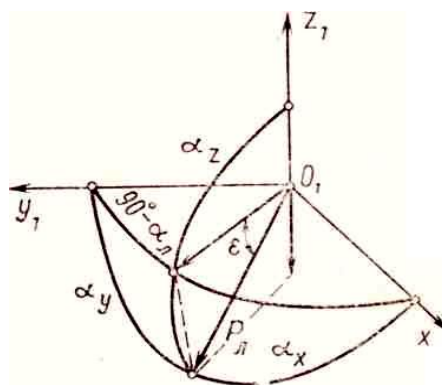


Рисунок 2.5 – Схема для визначення кутів направляючих косинусів векторів сил, які діють в лівій тязі начіпного пристрою трактора

На рисунку 2.5 введені такі позначення:  $P_L$  – сила, що діє у лівій тязі трактора;  $\varepsilon$  – кут між вектором  $P_L$  та горизонтальною площиною;  $\varepsilon_L$  – кут між віссю  $x$  та проекцією вектора  $P_L$  на горизонтальну площину. У відповідності з цим

$$\begin{aligned} \cos \alpha_x &= \cos \alpha_n \cos \varepsilon, \\ \cos \alpha_y &= \cos \varepsilon \sin \alpha_n, \\ \cos \alpha_z &= \cos(90^\circ + \varepsilon) = -\sin \varepsilon. \end{aligned} \quad (2.33)$$

Аналогічно визначаємо направляючі косинуси вектора сили, яка діє в правій тязі системи начіпки трактора.

На рисунку 2.6 показано, що горизонтальна складова сили  $P_n \cos \alpha_n \cos \varepsilon$  та  $P_n \cos \alpha_n \cos \varepsilon$  виконує корисну роботу, переміщуючи плуг, а вертикальні складові  $P_n \sin \alpha_n \cos \varepsilon$  та  $P_n \sin \alpha_n \cos \varepsilon$  стискають елементи конструкції плуга і корисної роботи не здійснюють. Якщо існує різниця між вертикальними складовими сил  $P_n$  і  $P_n$ , то порушується стійкість прямолінійного руху плуга.

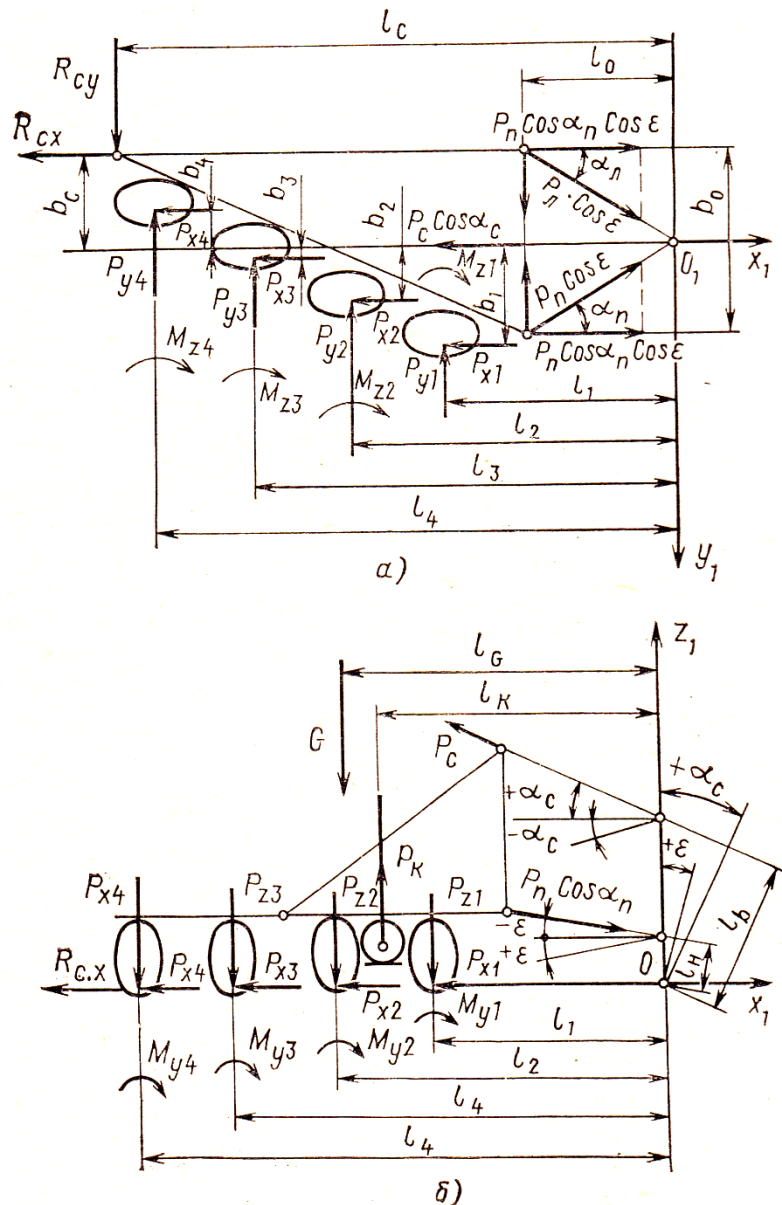


Рисунок 2.6 – Схема сил і моментів, які діють на дисковий плуг в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площинах за двоточковою системою навішування

Вважаючи, що орний агрегат рухається прямолінійно й рівномірно, складемо рівняння рівноваги дискового плуга:

$$\sum P_x = P_n \cos \alpha_n \cos \varepsilon + P_n \cos \alpha_n \cos \varepsilon - P_c \cos \varepsilon_c - R_{cx} - 4P_x = 0, \quad (2.34)$$

$$\sum P_y = P_n \sin \alpha_n \cos \varepsilon + P_n \sin \alpha_n \cos \varepsilon + R_{cy} - 4P_y = 0; \quad (2.35)$$

$$\sum M_z = -P_y(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) - P_x(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) + R_{cy}(b_c f + l_c) - 4M_z = 0, \quad (2.36)$$

де  $P_y = P_{y1} = P_{y2} = P_{y3} = P_{y4}$ ;  $P_x = P_{x1} = P_{x2} = P_{x3} = P_x$ .

Тяговий опір стабілізуючого пристрою визначаємо з умови

$$R_{cz} = f_k R_{cy}, \quad (2.37)$$

де  $f_k$  – коефіцієнт опору коченню.

Зі схеми (див. рисунок 2.6, а) видно, що  $R_{cy}$  створюється ґрунтовим шаром на глибину занурення стабілізатора або стінкою борозни. Отже, зусилля  $R_{cy}$  залежить не тільки від суми проєкцій сил  $P_y$  на вісь  $y_1$ , але й від властивостей ґрунту.

Вертикальну несучу здатність ґрунту оцінюють коефіцієнтом змінання  $k_T$  (твердість ґрунту), а горизонтальну – горизонтальним коефіцієнтом змінання  $k_{HT}$  (горизонтальна твердість). У певних умовах коефіцієнти  $k_T$  і  $k_{HT}$  можуть значно відрізнятись особливо за різної вологості ґрунту по глибині.

Можливі випадки, коли горизонтальна несуча здатність ґрунту виявиться недостатньою і плуг буде виводитися силами опору, що діють на диск, у лівий (за ходом трактора) бік. При цьому виявиться недостатнім момент  $R_{cy}l_c$ , що стабілізує рух плуга в горизонтальній площині. Очевидно, що в цьому випадку кут  $\alpha_n$  зменшиться, а кут  $\alpha_d$  збільшиться.

Розподіл сил у нижніх тягах навісної системи трактора можна проаналізувати, представивши рівняння (2.34) у вигляді

$$P_n = \frac{P \sin \alpha_n \cos \varepsilon + R_{cy} - 4P_y}{\sin \alpha_n \cos \varepsilon}. \quad (2.38)$$

Відхилення плуга в ліву (за ходом трактора) сторону призведе до збільшення  $\alpha_d$  і зменшення  $\alpha_n$ . Тоді чисельник у формулі (2.38) збільшиться, а знаменник зменшиться і для збереження рівності сила  $P_n$  повинна зменшити-

ся. Отже, зі збільшенням перекоосу плуга зусилля  $P_{\Pi}$  збільшується, а  $P_{\Delta}$  зменшується.

Це погіршує роботу плуга та відхиляє трактор від прямолінійного руху, ускладнюючи роботу агрегату. Щоб позбавитися цього недоліку, необхідно домогтися умови, за якої  $\alpha_n = \alpha_{\Delta}$  і  $P_{\Pi} = P_{\Delta}$ .

Позначаючи  $\alpha_n = \alpha_{\Delta} = \alpha_m$ , проаналізуємо фактори, що впливають на горизонтальну стійкість руху плуга. Рівняння (2.34)-(2.36) в цьому випадку набудуть вигляду

$$\sum P_x = (P_n + P_{\Delta}) \cos \alpha_T \cos \varepsilon - P_c \cos \alpha_c - R_{cx} f - 4P_x = 0, \quad (2.39)$$

$$\sum P_y = (P_{\Delta} - P_n) \sin \alpha_T \cos \varepsilon + R_{cy} - 4P_y = 0; \quad (2.40)$$

$$\sum M_z = -P_y(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) - P_x(b_1 + b_2 + b_3 - b_4) + R_{cy}(b_c f + l_c) - 4M_z = 0 \quad (2.41)$$

Зі схеми сил і моментів, що діють на дисковий плуг у вертикальній площині (див. рисунок 2.6, б) будемо мати наступні рівняння:

$$\sum P_y = P_k + P_c \sin \alpha_c - G_n - 4P_z - (P_n + P_{\Delta}) \sin \varepsilon = 0 \quad (2.42)$$

$$\sum M_y = P_z(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) + G_n l_G + P_c l_B - P_k l_k - (P_n + P_{\Delta}) l_H - 4M_n = 0 \quad (2.43)$$

де  $P_z = P_{z1} = P_{z2} = P_{z3} = P_{z4}$ ;

$P_k$  – вертикальна реакція ґрунту на опорне колесо;

$G_{\Pi}$  – вага плуга;

$l_c$  – відстань від осі  $z_1$  до вертикальної лінії, що проходить через центр ваги плуга.

Таким чином, отримані рівняння (2.42) та (2.43) дають змогу аналітично визначити сили і моменти, що діють на дисковий плуг у вертикальній площині за умови стійкості його роботи.

## Висновки

1. Теоретичними дослідженнями отримано формули (2.2) та (2.4), які дають змогу визначити основні кінематичні параметри дискового робочого

органу плуга, а саме абсолютну швидкість та абсолютне прискорення диска.

2. Теоретичними дослідженнями встановлено, що із збільшенням кута різання  $\gamma_c$  та  $\gamma_k$  зростають напруження в пласті ґрунту і його руйнування; сферичний диск діє на пласт найбільшою деформацією в момент, коли останній опиняється на його поверхні в зоні  $\omega t > (0,5\pi)$ ; відповідно, результуюча нормальних сил пласта на внутрішню поверхню диска прикладена саме в цій зоні.

3. Аналітичними дослідженнями встановлено, що кут  $i$  загострення фаски сферичного диска плуга становить 8град. за товщини самого диска  $\delta=0,008\text{м}$ , а площа  $S_n$  поперечного перерізу пласта (формула 2.30), що відокремлюється сферичним диском плуга становить  $0,00675\text{м}^2$ .

4. Аналітичними дослідженнями встановлено, що горизонтальна складова сили  $P_d \cos \alpha_d \cos \varepsilon$  та  $P_n \cos \alpha_n \cos \varepsilon$  виконує корисну роботу, переміщуючи плуг, а вертикальні складові  $P_d \sin \alpha_d \cos \varepsilon$  та  $P_n \sin \alpha_n \cos \varepsilon$  стискають елементи конструкції плуга і корисної роботи не здійснюють.

### 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Мета і програма експериментальних досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень ставилося завдання підтвердити й доповнити теоретичні дослідження системи “сферичний диск–грунт”, а також визначити опір, який чинить сферичний диск плуга під час взаємодії з ґрунтом та параметри обробітку ґрунту диском плуга.

Для досягнення сформульованої мети була розроблена програмою експериментальних досліджень, яка передбачала наступне:

- 1). Дослідження параметрів основного обробітку ґрунту сферичним диском плуга;
- 2). Визначити опір, який чинить сферичний диск плуга під час взаємодії з ґрунтом.

#### 3.2 Передумови проведення дослідів

На перебіг технологічного процесу взаємодії дискового робочого органу плуга з ґрунтом доволі суттєвий вплив мають ґрунтово-кліматичні умови, мікрорельєф поля, наявність післяжнивних решток, кореневищ рослин у верхньому шарі ґрунту та вологість ґрунту [2, 19, 26, 27].

Об’єктом експериментальних досліджень була взаємодія сферичного вирізного робочого органу дискового плуга під час основного обробітку (оранки) ґрунту на глибину до 0,25м. Досліди проводились в ґрунтовому каналі кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича Львівського НУП з використанням лабораторної установки і контрольно-вимірювальної та реєструвальної апаратур.

Під час проведення експериментів й обробки їх результатів використовувались загальноприйняті та розроблені методики з кінцевим підбором емпіричних формул, які в цілому аналітично описують експериментально отримані закономірності [2, 19, 26, 27].

### 3.3 Дослідження тягового опору дискового робочого органу плуга

Тяговий опір дискового робочого органу плуга визначався в стаціонарних умовах з використанням лабораторної установки на базі ґрунтового каналу 7 (рисунок 3.1) кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича.

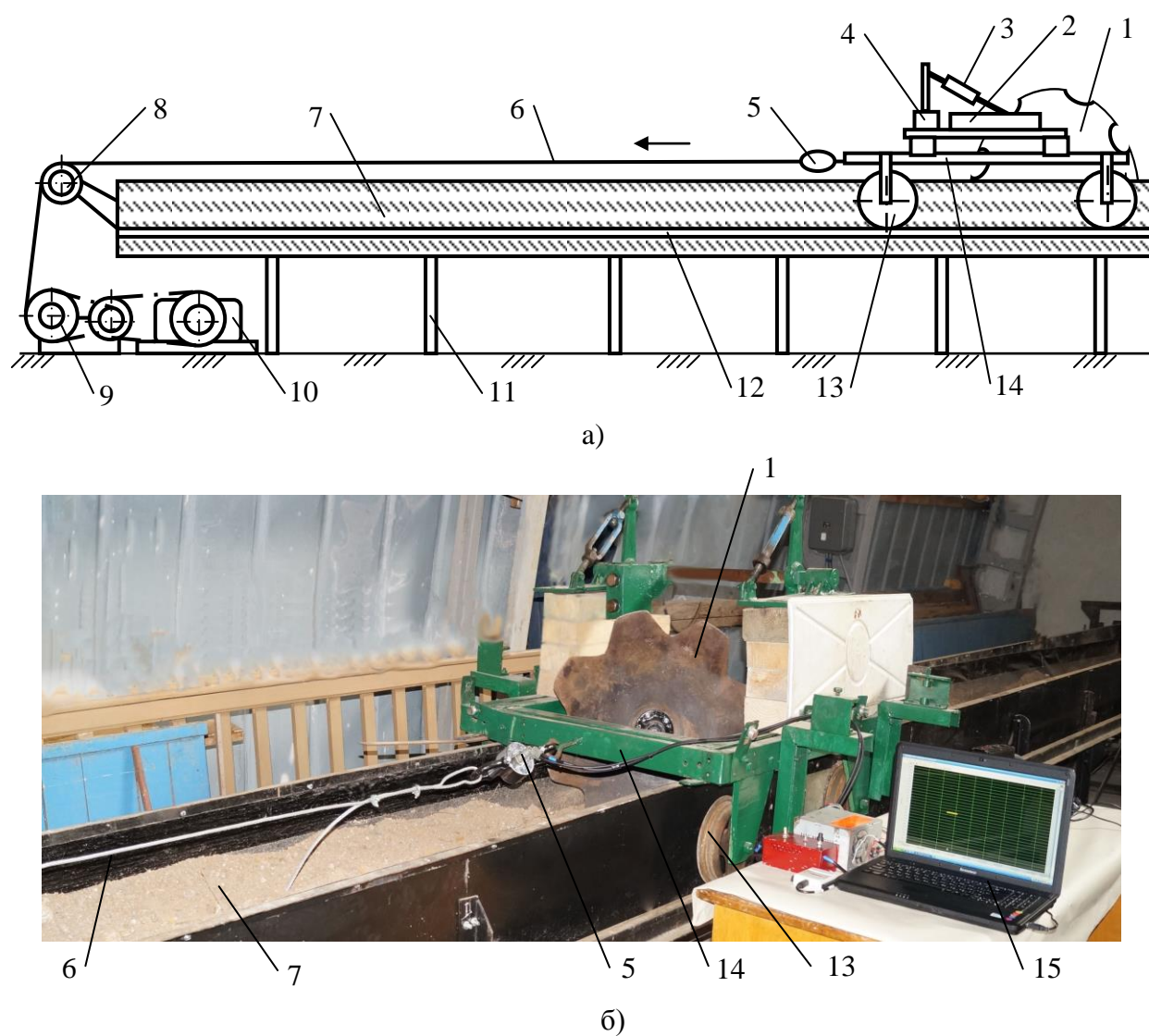


Рисунок 3.1 – Лабораторна установка для дослідження опору робочого органу дискового плуга:

а) схема; б) загальний вигляд; 1 – робочий орган (сферичний вирізний диск); 2 – гряділь; 3 – тяга регульовальна; 4 – кронштейн; 5 – динамограф електричний; 6 – трос; 7 – ґрунтовий канал; 8 – шків; 9 – варіатор швидкостей; 10 – електродвигун; 11 – опора; 12 – рейси; 13 – колесо візка; 14 – візок; 15 – контрольно-вимірвальна і реєструвальна апаратура.



Сам ґрунтовий канал 7 – це жолоб, наповнений ґрунтом, шар якого становить 0,4м. Ґрунтовий канал змонтований на металевих опорах 11, а з двох сторін жолоба містяться рейси 12, по яких рухаються колеса 13 візка 14 лабораторної установки.

Сама лабораторна установка для дослідження опору робочого органу дискового плуга має візок 14 у вигляді прямокутної рами, яка опирається на чотири колеса 13. На рамі візка 14 змонтовано кронштейн 4 з валом квадратного перерізу, на якому міститься гряділь 2 з дисковим робочим органом 1. Тяга 3 кронштейна служить для регулювання кута входження дискового робочого органу в ґрунт каналу 7 (див. рисунок 3.1, а).

Суть експериментів полягала у переміщенні візка 14 з робочим органом 1 рейсами 12 за допомогою електродвигуна 10 через варіатор швидкостей 9, шківів 8 та трос 6. Завдяки тяговому електричному динамографу 5, встановленому між візком 14 та тросом 6 усі значення опорів диска передавались на персональний комп'ютер 15, де реєструвались у вигляді осцилограм та піддавались обробці й аналізу.

Під час кожного експерименту візок 14 з сферичним диском встановлювався на початку ґрунтового каналу 7. Робочий орган встановлювався на відповідну глибину й переводився у робоче положення. Далі включався електродвигун 10 і здійснювався робочий хід вздовж каналу на заданій варіатором 9 швидкості. При цьому на осцилограф персонального комп'ютера 15 записувалися осцилограми, що відображали зміну опору сферичного диска плуга.

Тривалість переміщення візка 14 ґрунтовим каналом 7 вимірювалася секундоміром. Знаючи довжину пройденого шляху і час його проходження візком з робочим органом 1, визначалась робоча швидкість  $V_p$  під час проведення кожного дослідження.

Після обробки осцилограм, визначався тяговий опір сферичного дискового робочого органу плуга за відомою залежністю [19]:

$$R_{aep} = Y \cdot \delta, \quad (3.1)$$

де  $Y$  – середнє значення ординати осцилограми, мм;

$\delta$  – масштаб динамографа.

Експериментальні дослідження проводились за кутів атаки сферичного диска плуга 15, 25 та 35град. на глибинах обробітку 0,20; 0,25 та 0,30м.

Перед кожною серією дослідів ґрунт вздовж жолоба каналу вирівнювався ущільнювався. Вологість ґрунту в каналі під час проведення усіх експериментів не перевищувала 24%.

#### 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На підставі експериментальних досліджень встановлено, що опір сферичного диска дискового плуга змінюється в залежності від кута його атаки й швидкості переміщення робочого органу під час оранки. Величина тягового опору дискового робочого органу плуга змінюється також від глибини обробітку ґрунту. Це пов'язано насамперед із зміною вологості ґрунту за глибиною його обробітку, і як наслідок, сили адгезії, які діють на диск з боку ґрунтового середовища теж змінюється.

Для сферичного вирізного диска дискового плуга, який переміщувався у ґрунтовому каналі візком лабораторної установки з швидкістю 1,6м/с, закономірність зміни середніх значень його опору  $R_{\delta(I)}$  в залежності від кута атаки  $\alpha$  наближено описується поліноміальним рівнянням другого ступеня, що має такий вигляд:

$$R_{\delta(I)} = 0,0012 \alpha^2 - 0,0478 \alpha + 0,602. \quad (4.1)$$

Для сферичного вирізного диска дискового плуга, який переміщувався у ґрунтовому каналі візком лабораторної установки з швидкістю 2,2м/с, закономірність зміни середніх значень його опору  $R_{\delta(II)}$  в залежності від кута атаки  $\alpha$  наближено описується поліноміальним рівнянням другого ступеня, що має такий вигляд:

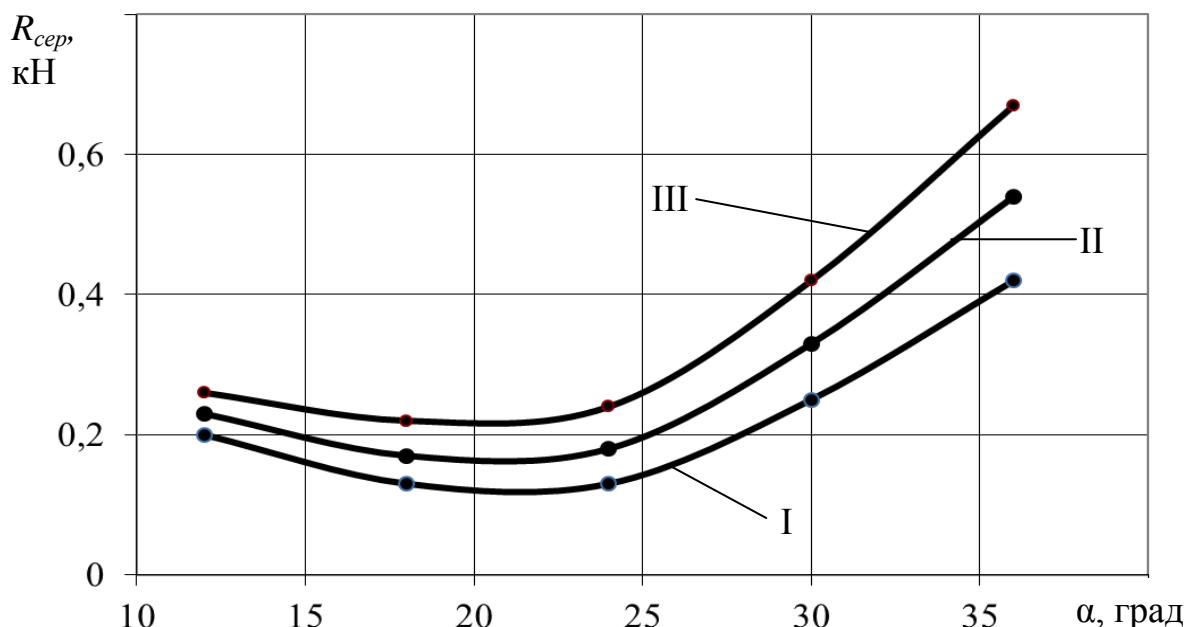
$$R_{\delta(II)} = 0,0013 \alpha^2 - 0,0518 \alpha + 0,658. \quad (4.2)$$

Для сферичного вирізного диска дискового плуга, який переміщувався у ґрунтовому каналі візком лабораторної установки з швидкістю 2,8м/с, закономірність зміни середніх значень його опору  $R_{\delta(III)}$  в залежності від кута атаки  $\alpha$  наближено описується поліноміальним рівнянням другого ступеня, що має такий вигляд:

$$R_{\delta(III)} = 0,0015 \alpha^2 - 0,0535 \alpha + 0,14. \quad (4.3)$$

Графічна інтерпретація (рисунок 4.1) отриманих аналітичних залежностей для усіх діапазонів змінних швидкостей переміщення візка лабораторної

установки за глибини обробітку 0,25м показує зменшення середнього значення тягового опору  $R_{сер}$  сферичного вирізного диска плуга в діапазонах кутів атаки 12-22град., причому за  $\alpha = 18\div 22$ град. опір диска плуга мінімальний.



**Рисунок 4.1** Закономірність зміни опору сферичного вирізного диска плуга від кута його атаки  $\alpha$ , за робочої швидкості 1,6м/с (I), 2,2м/с (II) і 2,8м/с (III) та глибини обробітку 0,25м.

Після цього середнє значення опору диска плуга зростає, причому за  $\alpha > 20$ град відбувається різке зростання середнього тягового опору сферичного диска майже за пропорційною закономірністю. Це обумовлюється ще й тим, що за  $\alpha = 30-35$ град. зростає бокова сила, що діє на сферичний диск у процесі його переміщення в ґрунтовому каналі, досягаючи свого максимуму орієнтовно за  $\alpha = 40$ град. та зростають також сили адгезії на більших глибинах обробітку.

Як видно з рисунка 4.1, графічні залежності отримані за результатами експериментальних досліджень, вказують на те, що опір сферичного диска плуга для всього діапазону зміни середніх швидкостей  $V_{сер}$  переміщення в ґрунтовому каналі в інтервалі кутів атаки  $\alpha$  від 25 до 36град. характеризується суттєвим зростанням, причому спостерігається певна закономірність – із

збільшенням середньої швидкості переміщення сферичного диска плуга, зростає й середній опір самого диска.

Збільшення кута атаки  $\alpha$  сферичного вирізного диска плуга супроводжується підвищенням затрат енергії на зсув і перевертання вирізаної ним скиби та збільшення його середнього тягового опору; поряд з цим, зменшення кута атаки  $\alpha$  сферичного диска до 12град. супроводжується виникненням надмірної дії його тильної сторони на стінку борозни, а, значить, й підвищення середнього тягового опору  $R_{сер}$  сферичного вирізного диска плуга, досліджуваного в ґрунтовому каналі.

### Висновки

1. Графічна інтерпретація аналітичних залежностей (4.1)-(4.3) для усіх діапазонів змінних швидкостей переміщення візка лабораторної установки за глибини обробітку 0,25м показує зменшення середнього значення тягового опору  $R_{сер}$  сферичного вирізного диска плуга в діапазонах кутів атаки 12-22град., причому за  $\alpha = 18\div 22$ град. опір диска плуга мінімальний.

2. Графічні залежності отримані за результатами експериментальних досліджень, вказують на те, що опір сферичного диска плуга для всього діапазону зміни середніх швидкостей  $V_{сер}$  переміщення в ґрунтовому каналі в інтервалі кутів атаки  $\alpha$  від 25 до 36град. характеризується суттєвим зростанням, причому спостерігається певна закономірність – із збільшенням середньої швидкості переміщення сферичного диска плуга, зростає й середній опір самого диска.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Складання карти умов праці під час основного обробітку ґрунту дисковим плугом

Для сучасного сільськогосподарського виробництва характерним є вплив на організм людини різних технічних, біологічних та інших факторів. З метою прогнозування цих факторів необхідно провести паспортизацію робочого місця механізатора [10, 11, 16].

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочого місця є виявлення усіх виробничих небезпек для розробки проектів та прийняття інженерно-технічних і організаційних рішень, спрямованих на створення безпечних і нешкідливих умов праці. Відповідно до типової ієрархічної структури сільськогосподарського виробництва (цех, дільниця, робоча зона бригади, робоче місце) одиничним елементом виробництва є робоче місце. На ньому проявляються всі небезпечні і шкідливі фактори, які діють на працюючого і визначають ефективність його виробничої діяльності. Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, в якій представлені фактори безпеки по трьох напрямках факторів безпеки: трудовому, санітарно-гігієнічному та технічному [27].

Карта умов праці передбачає виявлення на робочому місці шкідливих і небезпечних виробничих факторів та причин їх виникнення; дослідження санітарно-гігієнічних факторів виробничого середовища, важкості й напруженості трудового процесу, комплексну оцінку факторів виробничого середовища і характеру праці на відповідність їх вимогам стандартів, норм і правил; обґрунтування віднесення робочого місця до відповідної категорії з шкідливими умовами праці, підтвердження (встановлення) права працівників на пільгове пенсійне забезпечення та інші пільги залежно від умов праці.

Карта умов праці на робочому місці становить основу санітарно-технічного паспорту виробничої дільниці (бригади, майстерні, ферми тощо).

Паспорт господарства складається з паспортів діляниць і містить додаткову характеристику засобів загальногосподарського користування, об'єкти колективного захисту. Кожний головний спеціаліст господарства організовує обстеження умов праці і стан технічної безпеки і підпорядковані їй йому галузі. Значно зменшити об'єми робіт при паспортизації можна шляхом групування типових робочих місць.

За гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік факторів умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустиму концентрацію (ГДР, ГДК), які заносять в графи 1, 2 та 3 таблиці 5.1.

Складаємо карту умов праці робочого місця механізатора під час основного обробітку ґрунту дисковим плугом, виконавши розрахунки окремих коефіцієнтів за наступними формулами.

Коефіцієнт нормозабезпеченості визначаємо за формулою

$$K_n = 1 \pm \frac{A_e - A_n}{A_n}, \quad (5.1)$$

де  $A_e$  – фактичне значення умов праці;

$A_n$  – гранично допустимий рівень або концентрація.

Коефіцієнт небезпечності від дії фактора можна визначити з виразу:

$$K_{\partial\phi} = K_n \cdot T_{\partial\phi}, \quad (5.2)$$

де  $T_{\partial\phi}$  – час дії фактора у частках тривалості зміни.

Коефіцієнт небезпечності від усіх факторів становить:

$$K = \frac{K_{\partial\phi}}{n}, \quad (5.3)$$

де  $n$  – кількість факторів умов праці.

Під час складання умов праці на робочому місці механізатора використовуємо дані нормативних документів:

- ДСТУ 12.1.003-83 – Шум. Санітарно-гігієнічні вимоги;
- ДСТУ 12.1.005-86 – Повітря робочої зони. Санітарно-гігієнічні вимоги;





На підставі аналізу даних таблиці 5.1 можна зробити висновок, що фактичне значення умов праці механізатора під час під час основного обробітку ґрунту дисковим плугом дещо перевищують граничні показники, регламентовані відповідними нормативними документами. Особливо шкідливими є вібраційні фактори, пов'язані з технологічним процесом взаємодії робочих органів дискового плуга з ґрунтовим середовищем, під час якого на острів енергетичного засобу, а відповідно і механізаторам можуть передаватися вібраційні коливання.

Шкідливими є також пари нафтопродуктів (дизельного палива, оливи гідросистеми та гідроприводу). Для запобігання шкідливої дії вказаних небезпек механізатору необхідно щогодини робити технологічні перерви на 5–10 хв., вимкнувши при цьому двигун та покинувши кабіну енергетичного засобу.

## 5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, робочих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварій, травм або катастроф залежно від досліджуваного явища.

Для того щоб оцінку рівня небезпек певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-кого випадкового явища [21]. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварії або травмонезпечні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головними.

Після вибору головної події розпочинають побудову моделі. Використовуючи оператори „і” та „або”, виконують набір ситуації, які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна.

Після визначення відповідних аварійних, травмонебезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із використанням операторів „і”, „або”. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Повністю побудована модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначають за даними виробництва. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50 або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність становить 1, якщо контроль ідеальний, відповідна ймовірність дорівнює 0.

1. Нехай дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора „і” входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події  $P_3$  можна визначити за формулою

$$P_3 = P_1 \cdot P_2.$$

2. За допомогою оператора „і” три події з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$  формують четверту подію  $P_4$ , яку обчислюють

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

3. Оператор „і” об’єднує  $n$  подій з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , ...,  $P_n$ . Тоді ймовірність вихідної події  $P$  буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n.$$

4. Дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора „або” входять до третьої події. Тоді ймовірність  $P_3$  буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2.$$

5. Оператор „або” об’єднує три базові події з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$ , які за допомогою цього оператора входять у наступну подію з ймовірністю  $P_4$ . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

6. Якщо в оператора „або” входять чотири і більше випадкових базових подій з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення аж поки не залишиться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції.

Так, поступово обчислюють ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Значення ймовірності головних подій, що досліджуються, нажаль, не можна порівняти з нормативними значеннями певного ступеня ризику для певної людино – машинної системи, бо таких даних просто не існує. Але значення ймовірностей тієї чи іншої події, обчислені при дослідженні конкретної моделі, дає уяву про високу, середню і незначну небезпеку.

Для проведення обчислень ймовірності травми використаємо логіко – імітаційну модель процесу її формування

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2.$$

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,2.$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 + P_3 \cdot P_6 = 0,32.$$

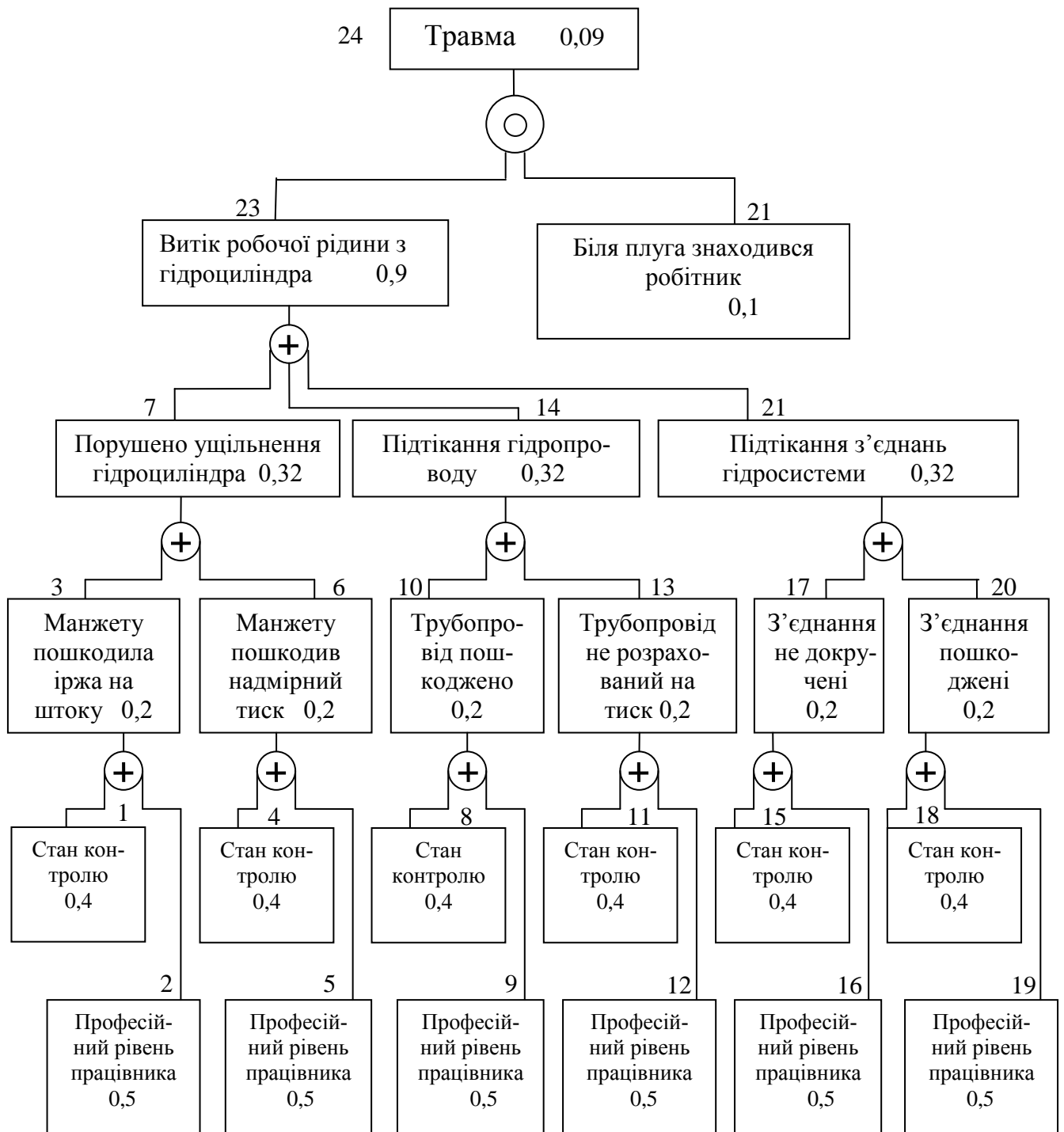
$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,2.$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,2.$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13} + P_{10} \cdot P_{13} = 0,32.$$

$$P_{17} = P_{15} + P_{16} - P_{15} \cdot P_{16} = 0,2.$$

$$P_{20} = P_{18} + P_{19} - P_{18} \cdot P_{19} = 0,2.$$



Оператори:



Рисунок 5.1–Схема логіко-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час переведення дискового плуга з робочого положення у транспортне:

1, 2, 3 – номери подій; 0,3; 0,4 – ймовірність подій.

$$P_{21} = P_{17} + P_{20} - P_{17} \cdot P_{20} + P_{17} \cdot P_{20} = 0,32.$$

$$P_{23} = P_7 + P_{14} + P_{21} - P_7 \cdot P_{14} \cdot P_{21} = 0,9.$$

$$P_{24} = P_{23} \cdot P_{22} = 0,09.$$

Таким чином, під час переведення дискового знаряддя із робочого положення у транспортне з використанням роздільно-агрегатної системи енергетичного засобу і системи гідропроводів та гідроциліндрів дискового плуга вимагає дотримання вимог безпеки, через можливе виникнення травм та аварій.

Переведення дискового плуга у транспортне положення здійснюється гідросистемою, а тому знаходитись поблизу допоміжним працівникам не рекомендується. Використання елементів роздільно-агрегатної гідравлічної системи трактора та дискового плуга під час переведення його з робочого у транспортне положення за наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 9,0 травм. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень робітників, поліпшити контроль та замінити пошкоджені елементи гідроприводу), то можна побачити на моделі, шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до нуля, а рівень безпеки до одиниці. Слід мати на увазі, що на даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, які призведуть до травми з інших причин.

Використання логіко-імітаційних моделей для дослідження аварій і травм та обґрунтування заходів з охорони праці, дають можливість знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які враховують усі стани обладнання та самого робочого місця, а також поведінку механізатора і розрахувати ймовірність виникнення можливих травм.

## 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ДИСКОВОГО ПЛУГА

Основними техніко-економічними показниками роботи дискового плуга є прямі питомі експлуатаційні затрати, витрата палива, продуктивність та затрати праці [20, 24, 25].

Прямі питомі експлуатаційні затрати визначаються за формулою

$$I = Z_n + A + R + П + Z_{зб}, \quad (6.1)$$

де  $Z_n$  – сума заробітної плати механізаторів і допоміжних працівників, грн./га;

$A$  – амортизаційні відрахування, грн./ га;

$R$  – відрахування на ремонт і технічне обслуговування, грн./ га;

$П$  – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн./ га;

$Z_{зб}$  – відрахування на зберігання, грн./ га.

Відрахування на зарплату визначаються з виразу

$$Z_n = \sum (n_i \tau_i k_i) / W_{зм}, \quad (6.2)$$

де  $n_i$  – чисельність  $i$ -го виробничого персоналу, чол.;

$\tau_i$  – годинна тарифна ставка працівників, грн./год;

$k_i$  – коефіцієнт, що враховує всі види доплат і нарахувань;

$W_{зм}$  – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Визначаємо годинну продуктивність агрегату за формулою:

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

де  $\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни, що визначається за формулою:

$$\tau = T_p / T_{зм}, \quad (6.4)$$

Чистий робочий час в загінці:

$$T_p = \varphi (T_{зм} - T_{зуп}), \quad (6.5)$$

де  $T_{зм}$ ,  $T_{зуп}$  – відповідно тривалість зміни та зупинок з працюючим двигуном, год.;

Амортизаційні відрахування всіх складових агрегату визначаються з виразу:

$$A = \sum (B_i a_i / (W_{зм} T_{ф.p.i})), \quad (6.6)$$

де  $B_i$  – балансова вартість  $i$ -ої складової агрегату та допоміжного обладнання, грн.;

$a_i$  – коефіцієнт відрахувань на реновацію усіх складових агрегату;

$T_{ф.р.i}$  – тривалість фактичного річного використання складових МТА, год.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування визначаються за формулою

$$R = \Sigma (B_i (p_i + \kappa_i) / (W_{зм} T_{н.р.i})), \quad (6.7)$$

де  $p_i$  – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування  $i$ -ої складової агрегату;

$\kappa_i$  – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт трактора або складних самохідних машин;

$T_{н.р.i}$  – нормативне річне завантаження  $i$ -ої складової агрегату, год.

Вартість паливно-мастильних матеріалів можна визначити з виразу

$$П = QЦ / W_{зм}, \quad (6.8)$$

де  $Q$  – витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/год:

$$Q = \frac{G_{зм}}{W_{зм}} = \frac{G_p T_p + G_x T_x + G_3 T_3}{0,1 B_p V_p T_{зм} \tau}, \quad (6.9)$$

де  $G_p, G_x, G_3$  – годинна витрата палива двигуном відповідно при роботі з навантаженням, на холостому ходу агрегату та роботі двигуна на зупинках, кг/год;

$T_p, T_x, T_3$  – час роботи агрегату, який визначають залежно від умов роботи, год.

$Ц$  – комплексна вартість нафтопродуктів, грн./кг.

Витрати на зберігання машин визначаються виходячи із затрат на їх консервацію та підготовку до використання й приймаються в межах 6,5% від витрат на ремонти і технічне обслуговування, тобто

$$З_{зб} = 0,065 R. \quad (6.10)$$

Затрати праці на виконання операції:

$$З_{зб} = П_о / W_{зм}, \quad (6.11)$$

де  $П_о$  – чисельність обслуговуючого персоналу, чол.

Вихідні дані для проведення досліджень техніко-економічних показників використання дискового плуга вибирались на основі найсприятливіших умов його застосування.

Ціна техніки вибиралась на основі рекламної інформації заводів-виготовлювачів станом на 1.09.2024р. [28]; годинні тарифні ставки обслуговуючого персоналу визначались з умови отримання середньої заробітної плати в межах 17500 грн.

Результати розрахунків техніко-економічних показників використання дискового плуга зводимо в таблицю 6.1 для остаточного аналізу.

Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники використання дискового плуга

Показники	ХТЗ-150К-09.172.00+ ПНД-4-40
1	2
Продуктивність годинна, га/год.	1,61
Витрата палива, кг/га	21,40
Прямі затрати, грн./га на:	
- оплату праці	68,32
- паливно-мастильні матеріали	1171,50
- ТО, поточний і капітальний ремонт	568,50
- реновацію	386,20
- затрати на зберігання	36,95
- всього прямих затрат	2231,47
Затрати праці, люд. год/га	0,62

Як видно з проведених розрахунків годинна продуктивність орного агрегату в складі трактора ХТЗ-150К-09.172.00 та дискового плуга ПНД-4-40 становить 1,61га/год. При цьому сума прямих питомих експлуатаційних затрат сягає 2231,47грн/га, а затрат праці – 0,62люд. год./га.



## Висновки

1. Під час основного обробітку ґрунту дисковим плугом ПНД-4-40 в агрегаті з трактором ХТЗ-150К-09.172.00 його годинна продуктивність становить 1,61га/год.
2. Прямі питомі експлуатаційні затрати під час використання вказаного дискового плуга становлять 2231,47грн./га.
3. Затрати праці під час використання дискового плуга ПНД-4-40 становлять 0,62люд.год/га.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На сучасному етапі розвитку техніки і технологій для основного дискового обробітку ґрунту застосовують дискові борони та дискові плуги, обладнані вирізним сферичними дисками діаметром 650 та 900мм відповідно;

2. У дискових плугів вісь обертання дисків не тільки повернута до напрямку руху орного агрегату, але й має нахил до вертикалі, а тому такий ротор, за розміщенням осі обертання, відносимо до класу Ж.

3. Одним із шляхів підвищення ефективності застосування дискових плугів в різних ґрунтово-кліматичних умовах є попередні аналітичні та експериментальні дослідження їх технологічних параметрів.

4. Теоретичними дослідженнями отримано формули (2.2) та (2.4), які дають змогу визначити основні кінематичні параметри дискового робочого органу плуга, а саме абсолютну швидкість та абсолютне прискорення диска.

5. Теоретичними дослідженнями встановлено, що із збільшенням кута різання  $\gamma_c$  та  $\gamma_k$  зростають напруження в пласті ґрунту і його руйнування; сферичний диск діє на пласт найбільшою деформацією в момент, коли останній опиняється на його поверхні в зоні  $\omega t > (0,5\pi)$ ; відповідно, результуюча нормальних сил пласта на внутрішню поверхню диска прикладена саме в цій зоні.

6. Аналітичними дослідженнями встановлено, що кут  $i$  загострення фаски сферичного диска плуга становить 8град. за товщини самого диска  $\delta=0,008\text{м}$ , а площа  $S_n$  поперечного перерізу пласта (формула 2.30), що відокремлюється сферичним диском плуга становить  $0,00675\text{м}^2$ .

7. Аналітичними дослідженнями встановлено, що горизонтальна складова сили  $P_n \cos \alpha_n \cos \varepsilon$  та  $P_n \cos \alpha_n \cos \varepsilon$  виконує корисну роботу, переміщуючи плуг, а вертикальні складові  $P_n \sin \alpha_n \cos \varepsilon$  та  $P_n \sin \alpha_n \cos \varepsilon$  стискають елементи конструкції плуга і корисної роботи не здійснюють.

8. Графічна інтерпретація аналітичних залежностей (4.1)-(4.3) для усіх діапазонів змінних швидкостей переміщення візка лабораторної установки за глибини обробітку 0,25м показує зменшення середнього значення тягового опору  $R_{сер}$  сферичного вирізного диска плуга в діапазонах кутів атаки 12-22град., причому за  $\alpha = 18\div 22$ град. опір диска плуга мінімальний.

9. Графічні залежності отримані за результатами експериментальних досліджень, вказують на те, що опір сферичного диска плуга для всього діапазону зміни середніх швидкостей  $V_{сер}$  переміщення в ґрунтовому каналі в інтервалі кутів атаки  $\alpha$  від 25 до 36град. характеризується суттєвим зростанням, причому спостерігається певна закономірність – із збільшенням середньої швидкості переміщення сферичного диска плуга, зростає й середній опір самого диска.

10. Під час основного обробітку ґрунту дисковим плугом ПНД-4-40 в агрегаті з трактором ХТЗ-150К-09.172.00 його годинна продуктивність становить 1,61га/год.

11. Прямі питомі експлуатаційні затрати під час використання вказаного дискового плуга становлять 2231,47грн./га.

12. Затрати праці під час використання дискового плуга ПНД-4-40 становлять 0,62люд.год/га.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Agricultural plow tractor disc plough. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005006538676207.html?src=google&pdp\\_npi](https://www.aliexpress.com/item/1005006538676207.html?src=google&pdp_npi) (дата звернення: 12.10.2024).
2. Василенко П.М. Основи аналітичних методів землеробської механіки. Київ: Видавництво НАУ, 1998. 29 с.
3. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Іщенко В.В., Дубровін В.О., Онищенко В.Б., Волянський М.С., Мартишко В.М., Погорілець О.М., Ямков О.В., Барановський В.І., Шевченко В.І., Борхаленко Ю.О. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Агроосвіта, 2015. 679 с.
4. Войтюк Д.Г., Гаврилук Г.Р. Сільськогосподарські машини. Київ. Урожай, 1994. 446 с.
5. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. Київ. Вища освіта, 2004. 544 с.
6. Гуменюк Ю.О. Стан та напрямки досліджень ґрунтообробних робочих органів вібраційного типу. *Науковий вісник НАУ*. Київ, 2002. Вип.40. С.142 – 147.
7. Гуменюк Ю.О., Дімчев О.М., Ковбаса В.П., Кучер М.М. Установка для дослідження взаємодії робочих органів з ґрунтом. *Зб. наукових праць НАУ: Механізація сільськогосподарського виробництва*. Київ, 2000. Т.9. С.271 – 273.
8. Плуг дисковий GN 151 ZIRKA. URL: <https://hydrolider.com.ua/ua/p838539135-plug-diskovyj-151.html> (дата звернення: 20.10.2024).
9. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (ч.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків. Око, 2001. 444 с.: іл.
10. Іванух Р.А. Охорона і раціональне використання природно-ресурсного потенціалу сільського господарства. Київ. Урожай, 1985. 286 с.
11. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. та ін. Основи охорони праці. Київ. Основа, 2000. 416 с.
12. Лихочвор В.В., Петриненко В.Ф., Іващук П.В., Корнійчук О.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур 3-є вид.,

- виправ., допов. Львів: НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
13. Офіційний сайт АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО ЕЛЬВОРТИ. [URL: https://elvorti.com/](https://elvorti.com/) (дата звернення: 21.10.2024).
  14. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. -2-ге вид., стереотип. Київ. Техніка, 2004. 512 с: іл.
  15. Петриченко В., Лихочвор В.В. Рослинництво. Львів. НВФ Українські технології» 2014. 326 с.
  16. Піскунов В.Т. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності. Київ. Вища школа, 1995. 128 с.
  17. Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П. Охорона праці (гігієна та виробнича санітарія). Львів: «Тріада плюс», 2015. 224с.
  18. Плуг дисковий навісний. URL: <https://avtek.ua/ua/p-plug-navesnoj-diskovyj-pnd-3> (дата звернення: 21.10.2024).
  19. Рибарук В.Я., Ріпка І.І. Сільськогосподарські машини: Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: ЛДАУ. 1998. 264 с.
  20. Ріпка І.І., Семен Я.В., Крунич О.М., Бендера І.М., Рудь А.В. Основи механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. посібник. Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с.;
  21. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Сторожук В.М. та ін; За ред. Жидецького В.Ц.. Львів: Афіша, 2000. 352 с.
  22. Рудь А.В., Бендера І.М., Войтюк Д.Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. У 2 т.: Т1. Київ. Агроосвіта, 2012. 584 с.; іл.
  23. Рудь А.В., Бендера І.М., Войтюк Д.Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. У 2 т.: Т2. Київ. Агроосвіта, 2012. 432 с.; іл.
  24. Сидорчук О.В. Інженерний менеджмент в АПК. Львів: Львів. держ. агр. ун-т, 2005. 87с.

25. Сосновська О.О., Ярошенко П.П., Іванюта М.В. Техніко-економічне обґрунтування господарських рішень у рослинництві. Навчальний посібник. Київ. Центр навчальної літератури. 2006. 384 с.
26. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. посібник. Київ : УСГА, 1992. 240 с.
27. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. Київ: НМК ВО, 1992. 320 с.
28. Харківський тракторний завод. Електронний ресурс: URL: <http://xtz.ua/ua/kolisni-tractory/xtz-150k-09-172.html>. (дата звернення: 21.09.2024).
29. Шевчук Р.С., Крупич О.М. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки: *Метод. рекомендації* Львів. ДАУ. Львів, 1994. 27 с.