

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:  
Т.в.о. завідувача кафедри  
к.т.н., доцент Швець Л.В.

---

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ  
ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

Робота на здобуття освітнього ступеня "Магістр"  
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи 62-АІ-Маг  
Берт В'ячеслав Олегович

---

Керівник: к.т.н., професор  
Середа Леонід Павлович

---

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 7  |
| <b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ</b>  |    |
| <b>ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....  | 10 |
| 1.1 Агротехнічні вимоги щодо дрібного обробітку ґрунту.....   | 10 |
| 1.2 Класифікація робочих органів машин для дрібної обробки<br>ґрунту.....   | 13 |
| 1.3 Огляд зарубіжних і вітчизняних технічних засобів для дрібного<br>обробітку ґрунту.....                        | 18 |
| 1.4 Огляд теоретичних досліджень по робочим органам дискового<br>типу.....  | 25 |
| Висновки, мета і завдання досліджень.....   | 31 |
| <b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ</b>  |    |
| <b>ГОРИЗОНТАЛЬНО РОЗТАШОВАНОГО ДИСКОВОГО</b>  |    |
| <b>РОБОЧОГО ОРГАНУ</b> .....  |    |
| 2.1 Обґрунтування параметрів горизонтально розташованого<br>дискового робочого органу.....                        | 33 |
| 2.1.1 Кінематика руху точки, що належить до робочого органу.....  | 33 |
| 2.1.2 Кінематика сферичної поверхні.....  | 35 |
| 2.2 Сили опору ґрунту при впливі на неї горизонтально<br>розташованого дискового робочого органу.....             | 37 |
| 2.2.1 Основні передумови до розробки методу розрахунку сил, що<br>діють на ґрунтообробні органи.....              | 37 |
| 2.2.1.1 Умова заглиблення дискового робочого органу .....   | 37 |
| 2.2.1.2 Умова ковзання пласта ґрунту по поверхні диска.....   | 38 |
| 2.2.1.3 Умова обертання дискового робочого органу.....  | 39 |
| 2.2.2 Опір ґрунту, що виникає при роботі горизонтально<br>розташованого сферичного дискового робочого органу..... | 47 |
| 2. 3 Розташування робочих органів на рамі ґрунтообробного<br>агрегату.....  | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Висновки з розділу .....  | 54 |
| <b>РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....                   | 55 |
| 3.1 Програма експериментальних досліджень.....  | 55 |
| 3.2 Методи дослідження агрофону.....  | 56 |
| 3.3 Експериментальна установка для динамометрування робочого органу.....                  | 57 |
| 3.4 Прилади та обладнання, що застосовуються в дослідженні.....                           | 59 |
| 3.5 Методика обробки експериментальних даних.....   | 63 |
| Висновки з розділу .....  | 64 |
| <b>РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....                  | 65 |
| 4.1 Тяговий опір пропонованого горизонтально розташованого дискового робочого органу..... | 65 |
| 4.2 Оптимальні параметри горизонтально розташованого дискового робочого органу.....       | 70 |
| 4.3 Інженерний розрахунок параметрів дискового робочого органу.....                       | 75 |
| 4.4 Порівняльні випробування ґрунтообробних робочих органів....                           | 78 |
| Висновки з розділу .....  | 82 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....  | 84 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....   | 86 |
| ДОДАТКИ.....  | 90 |

## РЕФЕРАТ

Берт В'ячеслав Олегович. Тема: "Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів дискового робочого органу для обробітку ґрунту ". Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 – Агроінженерія. Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2020.

Обробіток ґрунту є найважливішою операцією при вирощуванні різних сільськогосподарських культур. Значення обробітку ґрунту неможливо переоцінити, особливо в умовах інтенсивного землеробства. Якісний обробіток ґрунту підвищує ефективність інших процесів, спрямованих на розвиток сільськогосподарських культур. Удосконалення застосовуваних способів обробітку ґрунту, в тому числі і дрібної, направлено на підвищення її якості, що суттєво впливає на урожайність сільськогосподарських культур і на зниження всіх видів витрат: енергетичних, трудових, грошових.

Мета роботи - підвищення якості дрібного обробітку ґрунту шляхом оптимізації параметрів горизонтально розташованого дискового робочого органу.

Об'єкти дослідження - технологічний процес дрібного обробітку ґрунту горизонтально розташованим дисковим робочим органом.

Предмет дослідження - закономірності процесу обробітку ґрунту горизонтальним розташуванням дискових робочих органів і їх вплив на енергоємність.

Наукову новизну представляють:

- математичні моделі структурної оптимізації горизонтально розміщеного дискового робочого органу в ґрунтообробному агрегаті;
- закономірності зміни просторового і структурного положення дискового робочого органу від технологічних властивостей оброблюваного ґрунту;
- закономірності зміни тягового опору пропонованого робочого органу від його конструктивних параметрів і режимів роботи і характеристик ґрунту (тимчасовий опір відриву, об'ємне зминання ґрунту та інші);

Теоретична і практична значущість роботи полягає в наступному:

- технологічна схема пропонованого ґрунтообробного агрегату;
- науково обґрунтовані конструктивні параметри і технологічні режими обробітку ґрунту горизонтально розташованим диском.

Методи дослідження передбачали розробку математичної моделі взаємодії робочого органу з оброблюваним середовищем і наступні експериментальні дослідження на основі стандартних і оригінальних методик, планування багатofакторних експериментів і аналіз дослідних даних із застосуванням ЕОМ. При виконанні досліджень використовували закони механіки і математичної статистики.

Ключові слова: обробіток ґрунту, ґрунт, дисковий робочий орган, тяговий опір, енергоємність.

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Обробіток ґрунту є найважливішою операцією при вирощуванні різних сільськогосподарських культур. Значення обробітку ґрунту неможливо переоцінити, особливо в умовах інтенсивного землеробства. Якісний обробіток ґрунту підвищує ефективність інших процесів, спрямованих на розвиток сільськогосподарських культур.

Останнім часом спостерігається тенденція до скорочення термінів обробітку ґрунту і її підготовки до посіву, удосконалення технологічного процесу обробітку культур. Внаслідок деградації ґрунтів відзначається зниження родючості ґрунтів і врожайності.

Нині обробіток ґрунту при вирощуванні зернових культур, як галузь виробництва сільськогосподарської продукції є актуальним. Однак, застосовувані технологічні процеси по відновленню властивостей ґрунту і вирощування зерна, використовують машини, які хоча і відповідають вихідним вимогам на базові технології обробітку ґрунту, але вони являються енергоємними і витрачається до 40 % коштів при виконанні технологічної операції обробітку ґрунту.

Удосконалення застосовуваних способів обробітку ґрунту, в тому числі і дрібної, направлено на підвищення її якості, що суттєво впливає на урожайність сільськогосподарських культур і на зниження всіх видів витрат: енергетичних, трудових, грошових. Використовувані машини для дрібного обробітку ґрунту часто не відповідають агротехнічним вимогам за ступенем крихкості, структурно-агрегатному складу ґрунту, рівномірності глибини обробітку, подрізання кореневої системи бур'янів і пожнивних залишків, рівності поверхні та інше. В зв'язку з цим вдосконалення конструкції робочих органів машин для дрібного обробітку ґрунту має **актуальність і практичну значимість** для сільськогосподарського виробництва.

При обробітку ґрунту під посів необхідні якісне подрібнення, рівномірність глибини обробки, подрібнення пожнивних залишків і їх

рівномірний розподіл в оброблюваному шарі, в значній мірі має сприяти збереженню грантової вологи.

Плоскорізи не забезпечують рівномірного глибини, в тому числі в складі комбінованих ґрунтообробних агрегатів, при цьому відбувається ущільнення ґрунту рушіями агрегатів. Таким чином, необхідна розробка нових робочих органів, що дозволяють скоротити кількість проходів агрегату.

На підставі викладеного сформульовані мета і завдання даної роботи.

**Робоча гіпотеза** - зниження тягового опору при дрібному обробітку ґрунту дисковим робочим органом досягається шляхом вибору оптимальних параметрів в залежності від фізико-механічних властивостей оброблюваного середовища і необхідних якісних показників.

**Мета роботи** - підвищення якості дрібного обробітку ґрунту шляхом оптимізації параметрів горизонтально розташованого дискового робочого органу.

**Об'єкти дослідження** - технологічний процес дрібного обробітку ґрунту горизонтально розташованим дисковим робочим органом.

**Предмет дослідження** - закономірності процесу обробітку ґрунту горизонтальним розташуванням дискових робочих органів і їх вплив на енергоємність.

**Завдання дослідження:**

- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему робочого органу і розробити математичні моделі оптимізації параметрів горизонтального дискового робочого органу в ґрунтообробному агрегаті;

- отримати закономірності зміни просторового і структурного положення дискового робочого органу від технологічних властивостей оброблюваного ґрунту;

- оцінити закономірності зміни тягового опору запропонованого робочого органу від його конструктивних параметрів і режимів роботи, характеристик ґрунту;

- провести експериментальні дослідження технологічного процесу дрібного обробітку ґрунту горизонтально розташованим дисковим робочим органом.

**Наукову новизну представляють:**

- математичні моделі структурної оптимізації горизонтально розміщеного дискового робочого органу в ґрунтообробному агрегаті;
- закономірності зміни просторового і структурного положення дискового робочого органу від технологічних властивостей оброблюваного ґрунту;
- закономірності зміни тягового опору пропонованого робочого органу від його конструктивних параметрів і режимів роботи і характеристик ґрунту (тимчасовий опір відриву, об'ємне зминання ґрунту та інші);

**Теоретична і практична значущість** роботи полягає в наступному:

- технологічна схема пропонованого ґрунтообробного агрегату;
- науково обґрунтовані конструктивні параметри і технологічні режими обробітку ґрунту горизонтально розташованим диском.

**Методи дослідження** передбачали розробку математичної моделі взаємодії робочого органу з оброблюваним середовищем і наступні експериментальні дослідження на основі стандартних і оригінальних методик, планування багатофакторних експериментів і аналіз дослідних даних із застосуванням ЕОМ. При виконанні досліджень використовували закони механіки і математичної статистики.

**Структура і обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 38 найменувань, і додатків. Робота викладена на 90 сторінках машинописного тексту, містить 47 рисунків та 12 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Агротехнічні вимоги щодо дрібного обробітку ґрунту

Ґрунт - унікальне природне тіло, яке характеризується родючістю. Неправильне, нераціональне поводження з ґрунтом неминуче призведе до зниження її родючості, тому важливо знайти прийоми, розробити технічні засоби обробітку ґрунту, спрямовані на створення найбільш сприятливих умов для життєдіяльності культурних рослин, безперервного підвищення родючості ґрунту, усунення причин, що заважають формуванню цих умов. [1, 2, 3].

Основною умовою родючості ґрунту є міцна грудкувата структура, представлена в більш-менш пухкому шарі з окремих грудочок раз-мером від 1 до 10 мм. Природною протилежністю грудкуватої структури є роздільно-частковий стан ґрунту, що позбавлений структури; в цьому випадку окремі частинки ґрунту не входять між собою в будь-які особливі відношення і складають суцільну масу всього орного шару.

Для водного режиму зазначений стан має зовсім різне значення. Волога, що випадає з атмосфери в товщу безструктурного ґрунту, може проникати лише по волосним каналах з великим уповільненням, бо кожна крапля води, що надійшла таким шляхом в ґрунт, перешкоджає проникненню наступних; вода накопичується на поверхні ґрунту і стікає по ухилах в долини річок або на замкнуті знижені рівні. Ще гірші умови з водою, яка утворюється при таненні снігу навесні; в цьому випадку доступ снігової води в орний шар абсолютно виключається, так як волосяні канали верхнього шару ґрунту заповнені льодом.

Залежно від особливостей обробітку тієї чи іншої сільськогосподарської культури для створення найбільш сприятливих умов розвитку рослини і отримання високих врожаїв застосовують різні способи обробки ґрунту: оранку, фрезерування, лушення, боронування і так далі [1, 4].



При обробітку ґрунт кришать, розпушують, переміщують частки в вертикальному і горизонтальному напрямках, ущільнюють, а також підрізають і витягують з неї бур'яни.

Подрібнення має на меті зруйнувати шар ґрунту на дрібні грудки. Ґрунт стає більш пухкий, проте надмірне подрібнення неприпустимо, оскільки воно призводить до її розпорошення. Якість кришення оцінюють агрегатним аналізом за допомогою поділу частинок ґрунту на фракції за відповідними розмірами. Фракційний склад ґрунту визначають за вагою кожної фракції і виражають у відсотках, враховуючи при цьому вагу фракцій з частинками, що мають найбільш бажані розміри, і вага фракцій, що складаються з великих грудок і пилу.

Рихленням досягають збільшення проміжків між ґрунтовими агрегатами, зміни їх взаємного розташування. За рахунок малої міцності ґрунтових агрегатів розпушування зазвичай супроводжується кришенням. Грудки ґрунту після переміщених займають більший об'єм. Якість розпушування оцінюють відношенням товщини обробленого шару ґрунту до товщини його до обробки. Це відношення (розпушеності) при рихленні завжди більше одиниці (до 1,3-1,4).

Якість обробітку ґрунту залежить від форми робочих органів, їх розташування, розмірів, швидкості руху машини. Велике значення при цьому має стан ґрунту, її механічний склад, вологість, рослинний покрив, що передують обробці. Для обробітку ґрунту промисловість випускає плуги, лушпильники, борони, культиватори і т. п. [4].

Агротехнічні вимоги до якості підготовки ґрунту і сівби озимих колосових культур слід розглядати комплексно, тобто не тільки з точки зору надання ґрунті таких характеристик, які сприяли б збереженню вологи, що залишилася в ґрунті і накопичення вологи від опадів, що випадають, а й з точки зору здатності посівних машин якісно закласти насіння в ґрунт з досягнутою якістю його обробітку [5, 6].

Агротехнічні вимоги до підготовки ґрунту під посів озимих колосових культур після просапних попередників повинні повністю враховувати

грунтово-кліматичні умови, біологічні особливості культури і охорону навколишнього середовища.

В проблемі взаємодії ходових систем сільськогосподарської техніки з ґрунтами багато незрозумілих положень, і головне в них - наскільки велика здатність чорноземів протистояти деформації і відновлювати початкові властивості. У наявній літературі зустрічаються суперечливі думки з питання взаємодії ходових систем техніки з ґрунтом. Так, в роботах В. В. Ведмедева, М. А. Шипілова відзначається, що переущільнення чорноземів призводить до погіршення фізичних властивостей і зниження врожаю сільськогосподарських культур.

І.В. Кузнєцова та В.І. Данилова [7] поряд з ущільнюючим дією техніки відзначають і здатність ґрунтів до розущільненню, пов'язуючи її з дією високоеластичних і високомолекулярних органічних сполук, що мають досить міцну і гнучку просторову сітку, здатну значно розпушуватися при набуханні

Численними дослідженнями [1, 5, 8] доведено, що обробіток ґрунту в цих умовах на глибину 8-12 см (дрібна обробка ґрунту) є достатньою і оптимальною. Поглинання опадів, що випадають при збільшенні глибини основного обробітку ґрунту також не підвищується. Відомо, що ступінь кришення визначає здатність ґрунту регулювати водно-температурний режим і зберігати ґрунт від ерозії і дефляції. Рекомендовано мати в шарі ґрунту, що обробляється вміст ґрунтових фракцій до 50 мм не менше 80 %. При цьому бажано більшу фракцію зберегти на поверхні ґрунту. Брили понад 100 мм не допускаються. Однак слід зауважити, що така висока ступінь кришення ґрунту, очевидно, диктується більше нездатністю серійних сівалок висіяти насіння на потрібну глибину рівномірно в більш грубо оброблений ґрунт [5, 8].

До дрібного обробітку ґрунту висувають такі основні вимоги [5, 6,9]:

- руйнування ґрунтової кірки і рівномірне розпушування верхнього шару ґрунту при обробітку в залежності від культури, що висівається з відхиленням глибини від заданої  $\pm 0,015$  м і рівномірністю не менше 95%;

- повне подрібнення поверхневих брил більш 0,03-0,05 м на дрібні грудочки (показник подрібнення - не менше 80%);
- не допускається винесення на поверхню оброблюваної ділянки нижніх шарів ґрунту;
- повне підрізання бур'янів;
- з метою зменшення втрат вологи і підвищення якості подальших операцій, пов'язаних з посівом культур, висота гребенів не повинна перевищувати 0,04 м.

Підводячи підсумки вищевикладеного, можна зробити висновок, що при обробі ґрунту необхідно керуватися не тільки показниками, необхідними для сприятливого росту і розвитку рослин, але також створювати умови для збереження і накопичення ґрунтом вологи. Крім того необхідно враховувати можливість існуючих посівних агрегатів висівати насіння в ґрунт на потрібну глибину при тому чи іншому фракційному складі ґрунту.

## **1.2 Класифікація робочих органів машин для дрібної обробки ґрунту**

Робочі органи машин для дрібного обробітку ґрунту можна класифікуються за деякими ознаками, наприклад, за призначенням, за конструктивними особливостями, розташуванню в просторі (рис. 1.1). Основними робочими органами для дрібного обробітку ґрунту є лапи культиваторів і дискові робочі органи [1, 3, 4].

Для культиваторів розроблені набори змінних робочих органів, основними з яких виступають плоскоріжучі, універсальні і розпушувальні лапи. Робочі органи культиваторів (лапи) розрізняють за конструктивними особливостями, деякі з яких розглянуті на рисунках 1.2-1.4.

Одним з головних недоліків існуючих універсальних стрілочастих лап з площинними деформаторами є односпрямована дія бокових граней на оброблюваний пласт, що призводить до неякісного розпушування ґрунту. Збільшення крутизни постановки бічних площин збільшує деформаційний

процес зсуву, що веде до більш інтенсивного подрібненню, але призводить до зростання витрат енергії.



Рис 1.1 - Класифікація робочих органів для поверхневого обробітку ґрунту

Рис 1.2 - Типи лап культиваторів: а- одностороння плоскоріжуча (брита), б - стрілчата універсальна, в - долотоподібна розпушувальна, г - зворотна, д – списоподібна

Ступінь виробленого лапою рихлення безпосередньо залежить від значення величини кута подрібнення і ширини крила лапи. Внаслідок

постійного контакту лапи з абразивом ґрунту, відбувається швидке зношування робочого органу, що призводить до неякісного подрібнення ґрунту. У зв'язку з цим необхідний постійний контроль за конструктивними характеристиками робочих органів [4, 10].

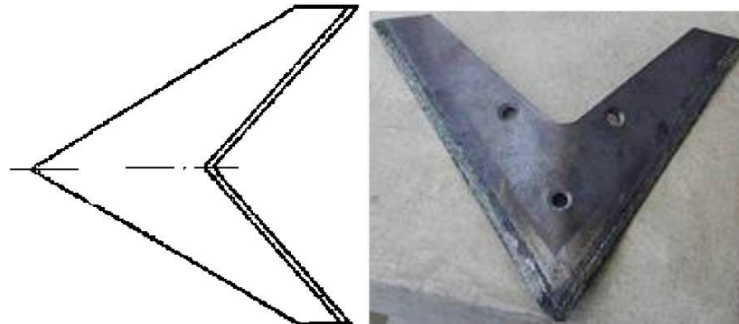


Рис. 1.3 - Стрілчаста лапа без хвостовика

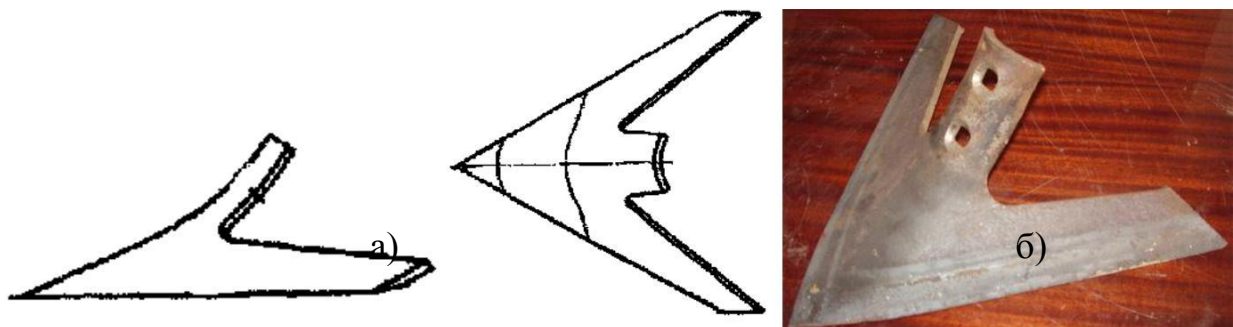


Рис. 1.4 - Стрілчаста лапа з хвостовиком

Так само до недоліків стрілчастої лапи можна віднести високий хвостовик, який має великий лобовий перетин, за рахунок якого відбувається підвищення тягового опору лапи, виникнення великої борозни по сліду робочого органу, винос нижніх шарів ґрунту на поверхню, що веде до втрати вологи. Зміна умов роботи стрілчастої лапи (наприклад, зміна кута при вершині) потребує установки на машину нового комплекту робочих органів. Прямолінійний профіль крила сприяє утворенню ерозійно-небезпечних частинок особливо на підвищених швидкостях роботи [10].

Робочим органом всіх дискових ґрунтообробних машин є сферичний сегмент. Гладкі сферичні диски застосовуються при обробці ґрунту на глибину до 14 см і наявності на її поверхні пожнивних залишків. Найбільш повно перерізають пожнивні залишки диски із суцільним лезом, але за певних

умов, таких як підвищена вологість, збільшена глибина обробітку ґрунту забиваються через утворення явища протягування з втратою обертів. Вирізні диски завдяки своїй формі, довше за часом знаходяться в зачепленні з дном борозни, що сприяє збереженню обертів диска, надійно перерізають пожнивні залишки і заглиблюються в ґрунт, менше забиваються ґрунтом і рослинними залишками (рис. 1.5) [4, 6].

Рис. 1.5 - Типи дискових робочих органів: *a* - диск борони «ромашка» з трапецеїдальним вирізом; *б* - диски круглими вирізами по периферії диска; *в*, *г* - диски для обробки ґрунту і подрібнення крупностебельних пропашних культур і чагарникових рослин; *д* - диск конічної форми; *е* - сферичний диск з рифленим лезом; *ж* - сферичний диск із змінним кутом атаки

Зацікавленість представляють диски конічної форми (рис. 1.5), у яких, не дивлячись на знос робочої поверхні, зберігається робочий кут, тобто кут нахилу дотичній до поверхні диска до горизонталі. Не дивлячись на їх добре заглиблення в оброблюваний шар, вони погано кришать ґрунт зі збільшенням глибини обробітку. Тому такі диски застосовують в поєднанні з робочими органами, що забезпечують додаткове подрібнення. Застосування сферичних дисків з рифленим лезом, забезпечує більш інтенсивне подрібнення пожнивних залишків, подрібнення ґрунту і їх перемішування (рис. 1.5).

Незважаючи на всі переваги, які застосовуються сучасні дискові робочі органи мають ряд недоліків, таких як їх незахищеність і поломки при наїзді на каміння та інші сторонні предмети, що є у ґрунті.

Для забезпечення необхідного заглиблення потрібне застосування додаткових баластних пристроїв, робота на підвищених швидкостях, що призводить до підвищення енергоємності процесу обробітку. Спостерігається слабка стійкість ходу на заданій глибині обробітку. Крім того для досягнення необхідної якості розпушування ґрунту і підрізання бур'янів необхідно робити кілька проходів агрегату [5, 11].

Одним з перспективних напрямків розвитку ґрунтообробної техніки є вібраційні і імпульсні методи підвищення ефективності технологічних процесів. Перевага їх полягає в тому, що концентруючи енергія в часі, вони дають можливість витратити її більш раціонально і ефективно [12].

Останніми роками ведуться численні дослідження з розробки і застосування на обробітку ґрунту машин з коливальними робочими органами, переваги яких до теперішнього часу визначилися з достатньою точністю. Вони дозволяють [12, 13]:

- підвищити ККД багатьох сільськогосподарських машин, у першу чергу ґрунтообробних;
- поліпшити якість багатьох виробничих процесів;
- видозмінити конструкцію машин, зменшити їх вагу, підвищити надійність и довговічність;
- механізувати нові технологічні процеси.

Після аналізу вищевикладеного запропоновано використовувати сферичний дисковий робочій орган (рис. 1.6; 1.7) при обробітку ґрунту.

Запропонований робочий орган функціонує в горизонтальній площині, встановлений на вертикальній осі і має виступи (лопатки) з двома поверхнями (рис. 1.7), перший з яких має більший кут підйому, ніж другий. Диск має заточку по всьому колу. При русі в ґрунті диск здійснює коливальний рух [14, 15]. Заточеною кромкою диск підрізає пласт ґрунту, одночасно кришучи його за допомогою взаємодії ґрунту з виступами.

Рис. 1.6 - Запропонований дисковий робочий орган (1, 2, 3, 4 - лопатки)

Рис. 1.7 – Переріз А-А: I і II - поверхні;  $\alpha$  і  $\beta$  - кути нахилу поверхонь до площини диска

### **1.3 Огляд зарубіжних і вітчизняних технічних засобів для дрібного обробітку ґрунту**

Технічний прогрес сільського господарства найбільш повно відображається в механізації його технологічних процесів. Якісний механічний обробіток ґрунту в поєднанні з іншими агротехнічними прийомами переслідує за собою мету створення таких умов для зростання і розвитку культурних рослин, при яких будуть отримані найбільш високі і стійкі врожаї. Способи обробітку ґрунту різноманітні і залежать від зони і біологічних особливостей оброблюваної культури, а також необхідної якості обробітку.

В сучасному виробництві продукції рослинництва широко використовують різні машини і технології [12].



Проведемо огляд вітчизняних і зарубіжних технічних засобів для здійснення поверхневої обробітку ґрунту.

Суцільна культивуація дозволяє зробити знищення бур'янів і розпушування верхнього шару ґрунту без його обертання як при підготовці ґрунту до посіву, так і при догляді за парами з метою створення необхідного водно-повітряного балансу в ґрунті.

Серед вітчизняних виробники техніки для обробітку ґрунту можна виділити ПАТ «Агромаш-Калина», «Велес Агро», «Краснянське СП «Агромаш», «Лозівські машини», «Ельворті» та інші.

Культиватори спільного виробництва «Horsch» (Німеччина) і «АгроСоюз» (Україна) використовуються як універсальні машини, які здійснюють обробку ґрунту чітко на задану глибину від 5 см (рис. 1.8).



Рис. 1.8 - Широкозахватних культиватор " Horsch-Агро-Союз" (FG)

Культиватор «Horsch-Агро-Союз» має високу продуктивність. Залежно від ширини захвату (11,7 і 18,3 м) розрізняють два варіанти культиваторів: FG 12.30 і FG 18.30, кожен з яких забезпечений гідроциліндром, для приводу машини в транспортне положення. Завдяки використанню культиваторів «Horsch-Агро-Союз» досягається вирівнювання поверхні ґрунту, дроблення великих грудок ґрунту, приготування рівномірного мілкоґрунтового посівного ложа, забезпечується механічна боротьба з бур'янами при збереженні понад 80 % поживних залишків на поверхні поля. Шар мульчі і органічна субстанція, створювані при обробці, запобігають випаровування вологи, ерозії, замулювання і перегрів ґрунту [17].

Крім культиваторів для виконання технологічних операцій розпушування, вирівнювання верхнього шару ґрунту, руйнування поверхневої кірки, подрібнення грудок ґрунту, знищення кореневої системи бур'янів, закладення насіннєвого матеріалу і добрив застосовують борони. Розрізняють легкі і важкі дискові борони в залежності від оброблюваної поверхні і необхідної глибини обробки.

Борона дисколапова БДТП «Краснянка» (рис. 1.9) є комбінованим ґрунтообробним агрегатом, що виконує функції чизельного плуга і важкої борони [18].



Рис. 1.9 - Борона дискова БДТП «Краснянка»

Застосовується для поверхневого обробітку ущільнених ґрунтів, обробітку ґрунту після оранки, розпушування необроблених ґрунтів різного механічного складу, обробітку ґрунту під посів сільськогосподарських культур з подрібненням пожнивних і інших рослинних залишків з подальшим їх закладенням.

Для розглянутого сімейства машин якість розпушування не залежить від ширини захвату. Конструктивні особливості даної борони забезпечують широкий діапазон регулювань по глибині обробітку, співвісності борони, щодо трактора при роботі, розташуванню очисників щодо робочих поверхонь дисків, а також перекриття робочих зон дискових батарей. Завдяки цьому вдається зменшити утворення хвильової поверхні дна обробленого шару

грунту, що є найважливішим показником з точки зору агропотреб. Завдяки V-подібної компоновки і оригінальної конструкції робочих органів сімейство борін «Краснянка» виконує рівномірне розпушування ґрунту на задану глибину обробітку в межах конструктивної ширини захоплення.

Найчастіше перед оранкою проводять розпушування ґрунту на невелику глибину з метою скорочення випаровування вологи, закладення в ґрунт пожнивних решток, провокації до проростання насіння бур'янів, тобто так зване лушення ґрунту. Далі під час оранки пророслі бур'яни знищуються в слідстві їх закладення в ґрунт. При застосуванні даного типу обробки спостерігається зниження енергетичних витрат при подальшій оранці, підвищення родючості ґрунту, зниження ущільнення і висихання ґрунту. Залежно від застосовуваних робочих органів, розрізняють дискові і лемішні луцильники.

В дискових луцильниках застосовують сферичний диск, і машини такого типу використовують на лушенні стерні зернових культур, засміченою переважно багаторічними бур'янами. Ґрунт після збирання кукурудзи та соняшнику, внаслідок його значного ущільнення, а так само ділянки, засмічені коренепаростковими бур'янами, обробляють лемішним луцильником.

Луцильниками з дисковими робочими органами проводять обробіток ґрунту на глибину від 4 до 10 см, в той час як лемішними від 6 до 12 см.

Причіпний дисковий луцильник ЛДГ-5 (рис. 1.10) призначений для лушення ґрунту після збирання зернових культур, для догляду за парами, для оброблення пластів і роздрібнення брил після оранки. Застосовується в агрегаті тракторами класу тяги 0,9 і 1,4 [4, 6].

Луцильники гідрофіковані дискові ЛДГ-10, ЛДГ-15 і ЛДГ-20 влаштовані аналогічно луцильником ЛДГ-5.

Великий діапазон кутів атаки луцильника дозволяє прекрасно видаляти бур'яни. Простота конструкції полегшує його обслуговування, за рахунок чого він широко застосовується в землеробстві. Використання гідросистем полегшує переклад знаряддя з робочого положення в транспортне.

Негативною рисою є неможливість використання на ділянках з

кам'янистими ґрунтами.

Рис. 1.10 - Дисковий гідрофікований луцильник ЛДГ-5

Полеві культиватори Wil-Rioh XL2 (рис. 1.11) використовують на передпосівної обробки ґрунту, а як додатково, може застосовуватися для внесення аміачної води в ґрунт. Культиватор забезпечує оптимальне огинання рельєфу поверхні.

Функціональні особливості конструкції роблять цей культиватор найбільш раціональним вибором при роботі на великих швидкостях.

За результатами випробувань встановлено, що культиватор забезпечує глибину обробітку по всій ширині захоплення машини і задану якість кришення ґрунту. Висота гребнів не перевищує вимог технологічного процесу, виконується повне підрізання бур'янів, але при цьому зростає вміст ерозійно небезпечних частинок. Конструкція машини дозволяє виключити забивання робочих органів ґрунтом і залишками рослин.



Рис. 1.11 - Польовий культиватор Wil-Rich XL2

Негативною якістю даного агрегату є його не пристосованість до далекого транспортування за рахунок невідповідності габаритних розмірів вимогам ГОСТ.

Дискові культиватори Wil-Rich DC III (рис. 1.12) призначені для передпосівного обробітку ґрунту перед посівом. Комбінована машина здатна підготувати насінневе ложе за один прохід, а також має можливість внесення аміачної води в ґрунт.



Рис. 1.12 - Дисковий культиватор Wil-Rich DC III

Розроблений модельний ряд культиваторів Wil-Rich DC III включає агрегати з шириною захвату від 5,8 м до 13,72 м, здатних обробити ґрунт на глибину до 15 см.

Багатофункціональним чизель-культиватором Kuhn Cultimer (рис. 1.13) в залежності від набору робочих органів виконують як передпосівний обробіток ґрунту (6-8 см) так і глибоку (до 30 см) [18]. Машина забезпечує



необхідне розпушування і перемішування ґрунту, її вирівнювання і ущільнення. Завдяки значному кліренсу є можливість обробляти поля з великою кількістю рослинних залишків.

Поєднання декількох робочих операцій знижує витрати на підготовку ґрунту. Виконується створення точного і однорідного передпосівного ложа для всіх рослин. Поєднання ущільнюючих котків і фініш котків ідеально подрібнюють брили і грудки, причому ступінь подрібнення підвищується зі збільшенням швидкості обертання котків.

Малий радіус повороту забезпечує легкість маневрування, а подвійні секції - підвищує точність копіювання рельєфу поля.



Рис 1.13 - пожнивної культиватор KUNH Cultimer

Розглянуті вище машини мають один спільний недолік: вони виконують за один прохід тільки одну операцію. Це призводить до потреби кілька разів проходів ґрунтообробних агрегатів по полю для виконання декількох операцій по обробітку ґрунту. Багаторазові проходи ведуть до значного ущільнення і розпорошення ґрунту, що знижує її якість.

Розглянуті нами конструкції вітчизняних технічних засобів для обробітку ґрунту не повністю відповідають вимогам волого, енерго-, ресурсозберігаючих технологій, а отже мають низьку конкурентоспроможність.

Використання, при цьому, зарубіжних машин прийнятне виключно

тільки на полях з високим агрофоном. У звичайних умовах агрофону полів закордонні машини неприйнятні. Вони призводять до різкого підвищення собівартості зерна, внаслідок високої вартості і витрат на обслуговування машин.

#### 1.4 Огляд теоретичних досліджень по робочим органам дискового типу

Основною позитивною якістю дискових робочих органів є їх менша, ніж поступально рухомих (лемішними), схильність забивання бур'янами, соломною та іншими волокнистими матеріалами. Позитивною якістю дискових плугів і луцильників є також те, що при їх роботі на сухих спікливих ґрунтах не відбувається утворення таких великих брил ґрунту, які виникають при роботі в тих же умовах лемішними плугів.

Кут загострення  $i$  леза дисків у борін і луцильників дорівнює  $10^\circ - 20^\circ$ , а у плугів -  $15^\circ - 25^\circ$ . Від стану робочих органів машини безпосередньо залежить якість робіт, що виконуються сільськогосподарською технікою. Зокрема технічний стан ґрунторіжучих деталей впливає на врожайність сільськогосподарських культур, якість виконання технологічного процесу, витрат на його проведення і терміни виконання робіт.

Суцільні дискові робочі органи застосовують на плугах і луцильниках, а на боронах використовують диски з суцільним і вирізним лезом.

Товщина  $\delta$  сферичних дисків, призначених для звичайних ґрунтів, може бути визначена відповідно до емпіричної залежності [1, 10]:

$$\delta = 0,008 \cdot D \quad (1.1)$$

для важких ґрунтів:

$$\delta = 0,008 \cdot D + 1 \quad (1.2)$$

де  $D$  - діаметр диска, мм

Диски плугів, борін і луцильників мають різний спосіб монтажу. Діаметр диска слід вибрати найменшим з допустимих за умовами роботи

значень, так як зі збільшенням діаметра диска різко зростає навантаження, необхідна для заглиблення дисків в ґрунт. Величина діаметра буває певною мірою зумовлена заданою глибиною обробки ґрунту ( $a$ ) так як  $D$  і  $a$  пов'язані між собою залежністю:

$$D = k \cdot a \quad (1.3)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що залежить від типу машини: для плугів  $k = 3-3,5$ , для лушцильників  $k = 5-6$ , для борін  $k = 4-6$ .

Чим більше кривизна площини диска, тим інтенсивніше подрібнення ґрунту, проте вибір значення радіуса  $R$  кривизни залежить від діаметра диска  $D$  кута установки  $a$ , кута загострення леза  $i$  глибини обробки  $a$  і кута зазору  $\varepsilon_a$  (заднього кута різання).

Позитивні значення кута зазору  $\varepsilon_a$  в горизонтальному перетині леза диска площиною, що відповідає поверхні поля при найбільшому зануренні диска в ґрунт, обов'язкові для плугів і лушцильників. Порушення цієї умови викликає зминання верхньої частині стінки борозни, внаслідок чого відбувається розпорошення ґрунту, порушення стійкості глибини ходу дисків і збільшення їх тягового опору. У борін, диски яких не відокремлюють стружку від моноліту, а розрізають окремі пласти і брили, допустимі негативні значення кута  $\varepsilon_a$  а за умови, що він буде менше кута загострення леза  $i_a$  в перерізі диска.

Діаметр і радіус кривизни диска пов'язані залежністю (рис. 1.14):

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

де  $R$  - радіус кривизни диска, мм;

$2\varphi$  - кут при вершині сектора.

У перетині вертикального диска горизонтальною площиною, проведеної через вісь його обертання (рис. 1.14), співвідношення кутів наступне:

$$a = \omega + \varepsilon, \quad (1.5)$$

де  $\omega = \varphi + i$ .



Рис. 1.14 - Геометричні елементи в екваторіальному перетині сферичного диска

Ця залежність, не може бути використана для визначення значення кута  $\varphi$  необхідного для розрахунку за формулою (1.4) радіусу  $R$ . Це пов'язано з тим, що вихідною величиною при проектуванні буває не кут  $\varepsilon$  а кут зазору  $\varepsilon_a$ , утворений з напрямком поступального руху машини лінією, яка виникає в перетині конічної поверхні заточування леза диска горизонтальною площиною, що відповідає поверхні поля при максимальній глибині обробітку  $a$  (рис. 1.15).

У перетині диска горизонтальною площиною на відстані  $a$  від дна борозни отримуємо наступне співвідношення кутів:

$$a = \omega_a + \varepsilon_a \quad (1.6)$$

З цього виразу по заданих  $a$  і  $\varepsilon_a$ , можна визначити кут  $\omega_a$  а після чого, підставляючи знайдене значення  $\omega_a$  і прийняту величину коефіцієнта  $k$  в формулу (1.7) знаходимо значення кута  $\omega$ :

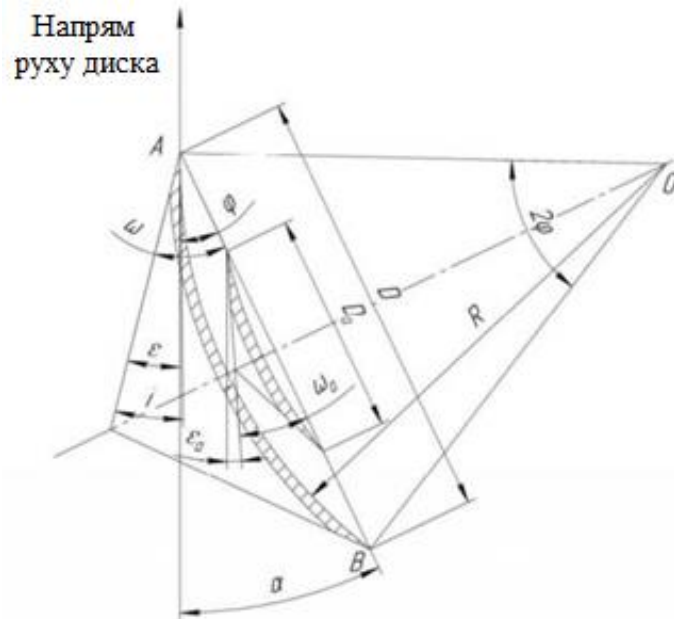


Рис. 1.15 - Геометричні елементи в перетинах диска горизонтальними площинами на різній висоті від дна борозни

$$\omega = \arctg \frac{k \cdot \operatorname{tg} \omega_a}{2\sqrt{k-1}} \quad (1.7)$$

За розрахованим кутом  $\omega$  і заданим кутом загострення леза  $i$  знаходять кут  $\varphi = \omega - i$  після чого визначають радіус  $R$  кривизни диска.

Таким чином, розглянуті основні співвідношення, необхідні при проектуванні дискових робочих органів відповідно до [19] показують, що збільшення радіусу  $R$  в порівнянні з розрахованим по залежності (1.4) викликає погіршення якості роботи - менше подрібнення і оберт пласта, а зменшення буде перешкоджати заглибленню дисків в ґрунт через виникнення в цьому випадку від'ємного значення кута  $\varepsilon_a$ .

Обертання робочих органів - це основна відмінність ротаційних ґрунтообробних машин і знарядь. Положення осі обертання ротора в просторі є найбільш значущою характеристикою ротаційних машин і знарядь.

Наведена класифікація охоплює всю сукупність можливого розташування осі обертання роторів в просторі і, таким чином, полегшує

систематизацію теорії.

Теоретичним дослідженням дискових сферичних ґрунтообробних робочих органів присвячені дослідження таких вчених як В.П. Горячкін, І.М. Панов, Ф.М. Канарія, Н. Нерлі, Г.І. Синьооку, Х.А. Хачатрян, В.В. Богатирьов, В.С. Василюнин, П.С. Нартов, Е.А. Кочкін та ін.

Одним з основоположників теорії сферичних дисків є професор Н. Нерлі. Він визначив момент сил тертя повністю загальмованого сферичного диска, тангенціальну складову реакції ґрунту на робочу поверхню диска. Вчений дійшов висновку про те, що обертання диска зменшує коефіцієнт тертя.

Професор Н. Нерлі приймав тиск ґрунту на диск рівномірно розподіленим.

Засновник теорії землеробської механіки Василь Прохорович Горячкін розглядав поверхню сферичного диска, а також рух ґрунту по ній, як плоский і тригранний клин [14, 20]. Горизонтальна складова реакції ґрунту на диск визначалася виходячи з нормальної реакції.

Один з вирішальних факторів забезпечення роторобдатності сферичних дисків, його геометрію, досліджував інший видатний радянський учений в області проектування сільськогосподарських машин Г.Н. Синьоока [19].

Ним розглянуті питання кінематики, дані основні співвідношення, необхідні при проектуванні дискових знарядь, отримані емпіричним шляхом. Розглядаючи кінематику плоских і сферичних дисків, автор довів, що різання лезом вільно обертового диска відбувається без ковзання.

Х.А. Хачатрян розглядав рух сферичного диска як складне переміщення в напрямку поступального руху робочого органу і обліку його обертання навколо осі.

Значний внесок у дослідження дискових ґрунтообробних робочих органів внесли роботи П.С. Нартова [21]. Він довів вплив геометричних розмірів диска і здатності обертання на швидкість частинок пласта, що стикається з поверхнею диска, а також на його траєкторію відносного переміщення і кінцеве положення.

Переміщення і перемішування ґрунту дисковими робочими органами

досліджували багато вчених. Ними вивчалися кути установки дискових робочих органів, діаметра і радіуса кривизни диска, швидкості його обертання.

У роботах П.С. Нартова [21] детально розглянуті питання руху плужних сферичних дисків в ґрунті, дані методи визначення їх конструктивних параметрів і розстановки, велику увагу приділено якості, але сили, що діють на них при роботі, визначалися лише експериментальним шляхом. Дослідження були спрямовані на визначення впливу кутів установки дискових робочих органів на зміну поздовжньої, поперечної та вертикальної складових головного вектора елементарних сил опору, що діють на диск з боку ґрунту [21].

Дослідження по визначенню сил, що діють на сферичний дисковий робочий орган при його взаємодії з ґрунтом, є складним процесом, в тому числі, обумовленим великим розходженням умов експерименту. У зв'язку з цим, спостерігаються численні розбіжності у висновках за експериментальними дослідженнями різних авторів. Таким чином, отримані закономірності відповідають лише конкретним ґрунтово-кліматичним умовам, тому для їх застосування в інших зонах, необхідно проводити додаткові дослідження.

З огляду на викладене, стає очевидною необхідність проведення досліджень горизонтально розташованого дискового робочого органу для дрібного обробітку ґрунту в умовах зони Поділля.

Відзначимо, що завдяки роботам Е.А. Кочкіна, А.В. Осадчого, Ф.М. Канарова, Н.С. Кандаурова, В.В. Богатирова, В.С. Василюкіна досить глибоко досліджені дискові сферичні ґрунтообробні плужні робочі органи.

Фундаментальні дослідження дискових ґрунтообробних робочих органів проведені професором Ф.М. Канаровим. Класифікувавши їх за геометричними характеристиками і положенню в просторі, він отримав рівняння руху точки поверхні робочих органів ротаційних ґрунтообробних машин, які можливо використовувати стосовно сферичним диском з поздовжньо-нахиленою віссю обертання.

## **Висновки, мета і завдання дослідження**

1. Проведено аналіз машин і робочих органів для виконання технологічного процесу обробка ґрунту і обґрунтовано значення дрібної обробки ґрунту.
2. В результаті аналізу виявлено, що існуючі знаряддя і технічні засоби для виконання технологічної операції обробки ґрунту мають високу енергоємність. На виконання цих робіт доводиться до 40 % від основних витрат.
3. Аналіз конструкцій ґрунтообробних машин і робочих органів для дрібної обробки ґрунту, а також стан досліджень в цій області показали, що найбільш доцільним прийомом зниження тягового опору, енергоємності та поліпшення якості роботи машини для дрібної обробки ґрунту слід вважати використання в них ефекту коливання робочого органу.
4. Розробка ґрунтообробних знарядь на основі наукових досягнень суміжних наук з урахуванням зональних умов і особливостей окремих культур сприяє зниженню енергетичних показників процесу обробки ґрунту.

**Мета роботи** - підвищення якості дрібної обробки ґрунту шляхом оптимізації параметрів горизонтально розташованого дискового робочого органу.

### **Завдання дослідження:**

- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему робочого органу і розробити математичні моделі оптимізації параметрів горизонтально розташованого дискового робочого органу в ґрунтообробні агрегати;
- отримати закономірності зміни просторового і структурного положення дискового робочого органу від технологічних властивостей оброблюваного ґрунту;
- оцінити закономірності зміни тягового опору пропонованого робочого

органу від його конструктивних параметрів і режимів роботи, характеристик ґрунту;

- провести експериментальні дослідження технологічного процесу дрібного обробітку ґрунту горизонтально розташованим дисковим робочим органом.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГОРИЗОНТАЛЬНО РОЗТАШОВАНОГО ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

#### 2.1 Обґрунтування параметрів горизонтально розташованого дискового робочого органу

Запропонований горизонтально розташований дисковий робочий орган має властивість повороту навколо своєї осі при взаємодії з ґрунтом, завдяки чому його можна віднести до ротаційних ґрунтообробних органів.

У нашому випадку енергія від двигуна до робочого органу (ротора) надходить через тяговий пристрій трактора, при цьому рух робочого органу виникає в результаті його пасивної взаємодії з ґрунтом (пасивний канал). Пристрій, робочі елементи якого отримують енергію тільки через пасивний канал, називають знаряддям.

Важливою ознакою, що характеризує ротаційні ґрунтообробні машини і знаряддя, є розташування в просторі осі обертання ротора.

Запропонований нами дисковий робочий орган розташований на вертикальній осі, але з урахуванням кута заглиблення (до  $5^\circ$ ), тому його можна розглядати як ротор ротаційного ґрунтообробного знаряддя з поздовжньо-нахиленою віссю обертання (рис. 2.1).

##### 2.1.1 Кінематика руху точки, що належить до робочого органу

Робочі органи неротаційних ґрунтообробних машин і знарядь рухаються по прямолінійній траєкторії, тому інтенсивність деформації і розпушування ґрунту залежить в основному від їх геометричної форми. Інтенсивність деформації і розпушування ґрунту ротаційними робочими органами більшою мірою визначається видом траєкторій їх руху [22, 23, 24].

Рис. 2.1 - Схема ротора ротаційного ґрунтообробного знаряддя з поздовжньо-нахиленою віссю обертання

Основними характеристиками руху робочого органу ротора є вид траєкторії, величина і напрямок швидкості найбільш характерної його точки, а в ряді випадків і напрямок прискорення.

Загальні рівняння, що описують траєкторію будь-якої точки ротора з поздовжньо-нахиленою віссю обертання, мають вигляд:

$$\begin{aligned}x &= v_n + R_i \cdot \sin \theta \cdot \sin \chi \cdot \sin \omega t + R_i \cdot \cos \theta \cdot \cos \omega t \\y &= R_i \cdot \sin \chi \cdot \cos \theta \cdot \sin \omega t - R_i \cdot \sin \theta \cdot \cos \omega t \\z &= -R_i \cdot \cos \chi \cdot \sin \omega t\end{aligned}\tag{2.1}$$

де  $v_n$  - швидкість поступального руху ротора, м/с;

$R_i$  - відстань від осі обертання ротора до розглянутої точки, мм;

$\theta$  - кут атаки ротора (кут між віссю ОУ і проекцією осі обертання ротора на площину ХОУ), град;

$\chi$  - кут нахилу осі обертання ротора до горизонту (з урахуванням кута заглиблення), град;

$\omega$  - кутова швидкість ротора, с<sup>-1</sup>;

$\omega t$  - кут повороту ротора, відлічуваний від осі ОХ погодинної стрілки, град;



$t$  - час руху, с.

Абсолютна швидкість:

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad (2.2)$$

$$v = v_n \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 + 2 \cdot \lambda \cdot (\sin \theta \cdot \sin \chi \cdot \cos \omega t - \cos \theta \cdot \sin \omega t)} \quad (2.3)$$

де  $\lambda = \frac{\omega \cdot R_i}{v_n}$  - кінематичний параметр ротора.

Абсолютна прискорення точки:

$$\bar{\omega} = \sqrt{\bar{\omega}_x^2 + \bar{\omega}_y^2 + \bar{\omega}_z^2} = \omega^2 \cdot R_i \quad (2.4)$$

Для отримання рівнянь, що характеризують кінематику точки в нашому випадку розташування осі обертання ротора, підставимо в наведені вище формули значення кутів ( $\theta$  і  $\chi$ ). Ми маємо ротор з поздовжньо-нахиленою віссю обертання для якого  $\theta = 90^\circ$ ,  $\chi = 85^\circ$ , тоді отримуємо:

$$x = v_n \cdot t + R_i \cdot \sin \chi \cdot \sin \omega t \quad (2.5)$$

$$y = -R_i \cdot \cos \omega t \quad (2.6)$$

$$z = -R_i \cdot \cos \chi \cdot \sin \omega t \quad (2.7)$$

$$v = v_n \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 + 2 \cdot \lambda \cdot \sin \chi \cdot \cos \omega t} \quad (2.8)$$

$$\bar{\omega} = \omega^2 \cdot R_i \quad (2.9)$$

## 2.1.2 Кінематика сферичної поверхні

Рух точки, розташованої на поверхні сферичного диска ротора, характеризують такі параметричні рівняння:

$$x = v_n \cdot t + r \cdot \sin \xi \cdot \cos \chi \cdot \cos \omega t + (r - r \cdot \cos \xi) \cdot \sin \theta \cdot \cos \chi + r \cdot \sin \xi \cdot \sin \theta \cdot \sin \chi \cdot \sin \omega t \quad (2.10)$$

$$y = (r - r \cdot \cos \xi) \cdot \cos \theta \cdot \cos \chi + r \cdot \sin \xi \cdot \sin \chi \cdot \cos \theta \cdot \sin \omega t - r \cdot \sin \xi \cdot \sin \theta \cdot \cos \omega t \quad (2.11)$$

$$z = (r - r \cdot \cos \xi) \cdot \sin \chi - r \cdot \sin \xi \cdot \cos \chi \cdot \sin \omega t \quad (2.12)$$

де  $r$  - радіус сфери диска, м;

$\xi$  - кут між віссю обертання і радіусом, проведеним з центру сфери в розглянуту на поверхні точку (рис. 2.2).

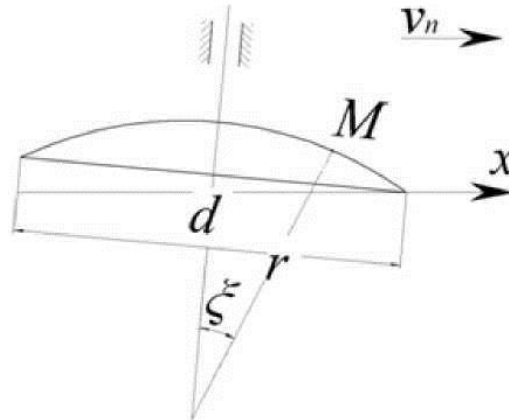


Рис. 2.2 - Схема визначення кута

За допомогою кута  $\xi$  можна зафіксувати будь-яку точку поверхні, а рівняннями (2.10) - (2.12) описати рух всієї сферичної поверхні робочого органу.

Абсолютна швидкість точки на поверхні сфери:

$$v = v_n \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 \cdot \sin^2 \xi + 2 \cdot \lambda \cdot (\sin \theta \cdot \sin \chi \cdot \cos \omega t - \cos \theta \cdot \sin \omega t) \cdot \sin \xi} \quad (2.13)$$

Якщо в рівняннях (2.10) - (2.12) припустити  $r \cdot \sin \xi = R_i$  і стрілу шарового сегмента  $(r - r \cdot \cos \xi)$  прирівняти до нуля, то отримаємо рівняння, які визначають траєкторію точки леза сферичного диска.

Підставляючи в рівняння (2.10) - (2.13) величини  $\theta$  і  $\chi$ , що визначають положення осі ротора в просторі, в нашому випадку, отримаємо рівняння руху і швидкості точок поверхні сфери.

Для розглянутого нами ротора з поздовжньо-нахиленою віссю обертання приймаємо  $\theta = 90^\circ$ ,  $\chi = 85^\circ$ , тоді отримуємо:

$$x = v_n \cdot t + (r - r \cdot \cos \xi) \cdot \cos \chi + r \cdot \sin \xi \cdot \sin \chi \cdot \sin \omega t \quad (2.14)$$

$$y = -r \cdot \sin \xi \cdot \cos \omega t \quad (2.15)$$

$$z = (r - r \cdot \cos \xi) \cdot \sin \chi - r \cdot \sin \xi \cdot \cos \chi \cdot \sin \omega t \quad (2.16)$$

$$v = v_n \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 \cdot \sin^2 \xi + 2 \cdot \lambda \cdot \sin \xi \cdot \sin \chi \cdot \cos \omega t} \quad (2.17)$$

Якщо вважати, що поступальний і обертальний руху ротора зі сферичними дисками рівномірні, то отримуємо, що абсолютне прискорення точки дорівнює:

$$\bar{\omega} = \omega^2 \cdot r \cdot \sin \xi \quad (2.18)$$

## **2.2 Сили опору ґрунту при впливі на неї горизонтально розташованого дискового робочого органу**

### **2.2.1 Основні передумови до розробки методу розрахунку сил, що діють на ґрунтообробні органи**

#### **2.2.1.1 Умова заглиблення дискового робочого органу**

Згідно за показник заглиблення дискового робочого органу приймемо кут  $\psi$ , утворений віссю  $x$  з напрямком результуючої  $P$  елементарних опорів ґрунту на робочій поверхні і лезі робочого органу (рис. 2.3). Сила  $P$  прагне до заглиблення пропонованого дискового робочого органу при позитивному значенні кута  $\psi$ . При цьому вертикальна що складає  $P_z$  сили  $P$ , спрямована вниз, також вважається позитивною і прагне заглибити робочий орган.

Величина кута  $\psi$  визначається за значеннями кута тертя  $\varphi$  і кута  $\delta' \prime$  площиною дна борозни і дотичній, проведеної через точку дотику пласта ґрунту і криволінійною поверхнею диска. Кут  $\delta' \prime$  (рис. 2.3), що включає кут установки (кут кришення)  $\delta$  робочого органу, утвореного опорною площиною диска з горизонтальною площиною (площиною дна борозни) і кут між опорною площиною диска і дотичній через точку дотику пласта ґрунту і криволінійною поверхнею диска ( $\delta' \prime = \delta + \delta' \prime$ ).

Рис. 2.3 - Схема дії сили  $P$  при позитивному значенні кута  $\psi$

Доведено, що збільшення кута установки  $\delta$  приблизно до  $5^\circ$ , а відповідно і кута  $\delta''$ , спричиняє збільшення кута  $\psi$ , що сприяє заглибленню робочого органу. У міру подальшого збільшення кута  $\delta$  відбувається лінійне спадання кута  $\psi$  і при переході його в негативну зону сила  $P$  буде прагнути виштовхнути робочий орган з ґрунту.

$$\psi = \frac{\pi}{2} - (\delta'' + \varphi) \quad (2.19)$$

### 2.2.1.2 Умова ковзання пласта ґрунту по поверхні диска

Розглянемо схему взаємодії двох тіл: ґрунт в зоні контакту і диск (рис. 2.4), що рухаються одна відносно одної. При відсутності удару одне тіло діє на інше за допомогою тиску і тертя.

Направимо рух робочого органу уздовж осі  $x$ , тоді фронтальна реакція ґрунту  $P_\Phi$  буде спрямована протилежно осі  $x$ , а нормальні сили  $N$  до поверхні робочого органу становитимуть з віссю  $x$  кут  $\alpha_x$ . Проекція сили  $P_\Phi$  на нормаль завжди буде дорівнює  $P_\Phi \cdot \cos \alpha_x$ . Коли напрямок сили  $P_\Phi$  виходить за конус тертя, нормальна реакція на ґрунт з боку робочого органу визначиться як  $N_n = P_\Phi \cdot \cos \alpha_x$ . При цьому нормальна реакція на ґрунт з боку робочого органу

буде дорівнює реакції на робочий орган з боку ґрунту  $N_n = -N_p$ , а сила тертя, що діє на ґрунт з боку робочого органу  $F_n = f \cdot N_n = f \cdot \cos a_x$  (де  $f$  - коефіцієнт тертя ґрунту про робочий орган).

Рис 2.4 - Схема взаємодії точки пласта ґрунту і робочого органу:

1 – ґрунт в зоні контакту; 2 – диск;  $P_T$  - тяговий опір;  $P_\Phi$  – фронтальна проекція сили, що діє з боку ґрунтового шару, протилежна напрямку руху ( $P_T = -P_\Phi$ );  $N_n$  – нормальна реакція ґрунту;  $N_p$  – нормальна сила до поверхні робочого органу;  $a_x$  – кут між нормаллю і віссю  $x$ ;  $\varphi$  – кут тертя;  $F_n$  – сила тертя, що діє на ґрунт;  $F_p$  – сила тертя, що діє на робочий орган

Крім того,  $|F_p| = |F_n|$ . Слід зауважити, що  $F_n < P_\Phi \cdot \sin a_x$ . Оскільки з боку ґрунту на робочий орган діють сила тертя  $F_p$  і нормальна сила  $N_p$ , то різниця  $P_\Phi \cdot \sin a_x - F_p$  передається тільки ґрунті, забезпечуючи їй прискорений відносний рух. Таким чином, пласт ґрунту ковзає по поверхні робочого органу. При  $a_x > \varphi$  тиск пласта на робочий орган знижується. Отже, зменшуються деформація стиснення і тяговий опір.

### 2.2.1.3 Умова обертання дискового робочого органу

При русі диска в ґрунті на його поверхню діє зусилля  $P$ , горизонтальну складову якого позначимо як  $x$  (рис. 2.5).

Рис. 2.5 - Сили, що діють на робочий орган: а) робочий орган (1,2, 3, 4 - лопатки; I, II - поверхні лопаток, III - поверхню диска); б) схема сил, що діють на поверхню II; в) схема сил, що діють на поверхню I

При взаємодії пласта ґрунту з поверхнею I (рис. 2.5, а), виникаючу силу  $P_x$  можна розкласти на складові  $P_x^I$  і  $P_x^{II}$  (рис. 2.5, в), які визначимо за такими виразами :

$$P_{xI}^I = P_x \cdot \cos y = P_x \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \quad (2.20)$$

$$P_{xI}^{II} = P_x \cdot \sin y = P_x \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \quad (2.21)$$

В результаті взаємодії пласта ґрунту з поверхнею диска виникає сила тертя ковзання (рис. 2.6) рівна

$$P_{TP} = f \cdot P_{xIII}^I \quad (2.22)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя.

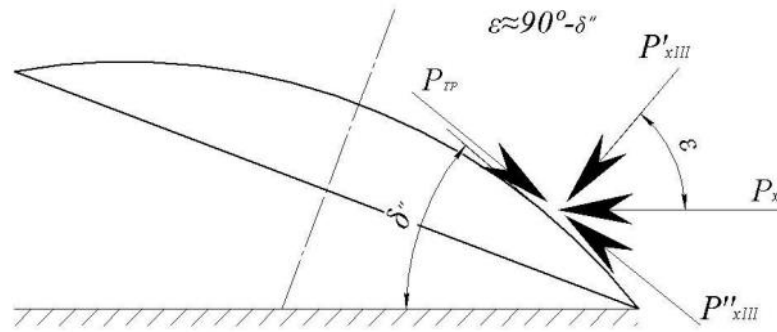


Рис. 2.6 - Схема до визначення сили тертя:  $\delta$ - кут установки (до  $5^\circ$ )

$$P_{xIII}^I = P_x \cdot \cos \varepsilon \quad (2.23)$$

де  $\varepsilon \approx 90^\circ - \delta''$

Тоді:

$$P_{TP} = f \cdot P_x \cdot \cos(90^\circ - \delta'') \quad (2.24)$$

При взаємодії пласта ґрунту з поверхнею II (рис. 2.5, а) силу  $P_x$  розкладемо на складові  $P_{xII}^I$  і  $P_{xII}^{II}$  (рис. 2.5, б):

$$P_{xII}^I = P_x \cdot \cos \zeta = P_x \cdot \cos(90^\circ - \beta) \quad (2.25)$$

$$P_{xII}^{II} = P_x \cdot \sin \zeta = P_x \cdot \sin(90^\circ - \beta) \quad (2.26)$$

Таким чином, такі вирази показують умова обертання диска:

$$P_{xII}^I + P_{TP} < P_{xII}^{II} + P_{TP} \quad (2.27)$$

після перетворення отримаємо:

$$P_x \cdot \cos(90^\circ - \beta) < P_x \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \quad (2.28)$$

$$P_x \cdot \sin \beta < P_x \cdot \sin \alpha \quad (2.29)$$

Якщо кут  $\alpha > \beta$ , то обертання відбудеться проти годинникової стрілки.

При повороті диска на деякий кут  $\mu$  складова  $P_{x1}^I$  розкладеться як показано на рисунку 2.7:

Рис. 2.7 - Поверхня I лопатки 1 при повороті диска на кут  $\mu$

$$N = P_{x1}^I \cdot \cos \mu = P_x \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \cdot \cos \mu \quad (2.30)$$

$$M = P_{x1}^I \cdot \sin \mu = P_x \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \cdot \sin \mu \quad (2.31)$$

В результаті обертання дискового робочого органу між пластом ґрунту, поверхнями II лопаток 3 та 4 і поверхнею III (з лівого і правого боків) виникнуть сили тертя.

На поверхню II лопатки 3 крім сили тертя будуть діяти сили K і C (рис. 2.8).

$$K = P_{xII}^I \cdot \cos \mu = P_x \cdot \cos(90^\circ - \beta) \cdot \cos \mu \quad (2.32)$$

$$C = P_{xII}^I \cdot \sin \mu = P_x \cdot \cos(90^\circ - \beta) \cdot \sin \mu \quad (2.33)$$

Таким чином, при виконанні умови (2.33) обертання диска відбудеться в зворотну сторону:

$$K + 2 \cdot P_{TP} + P_{TP}^I > N \quad (2.34)$$



де  $P_{TP}^I$  - сила тертя, що виникає при взаємодії ґрунту з поверхнею II лопатки 4 при обертанні диска.

$$P_{TP}^I = f \cdot P_x \cdot \cos(90^\circ - \beta) \quad (2.35)$$

Рис. 2.8 - Поверхня II лопатки 3, при повороті диска на кут  $\mu$

Перетворимо вираз (2.34)

$$P_x \cdot \cos(90^\circ - \beta) \cdot \cos \mu + 2 \cdot f \cdot P_x \cdot \cos(90^\circ - \delta) + f \cdot P_x \cdot \cos(90^\circ - \beta) > P_x \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \cdot \cos \mu \quad (2.36)$$

$$P_x \cdot \sin \beta \cdot \cos \mu + 2 \cdot f \cdot P_x \cdot \sin \delta + f \cdot P_x \cdot \sin \beta > P_x \cdot \sin \alpha \cdot \cos \mu \quad (2.37)$$

Виконання умови (2.37) залежить від значень кутів,  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\mu$ . При цьому, робочий орган обертається за годинниковою стрілкою до тих пір, поки диск не прийме початкове положення, коли почне знову діяти умова (2.29).

Для розгляду сили, що діє на поверхню лопатки з боку пласта, виділимо з пласта двома нескінченно-близькими площинами, перпендикулярними до відносної траєкторії частинки, елемент  $ABCD$  довжиною  $ds$  (рис. 2.9) і проведемо в дотичній площині до поверхні вісь  $p$  по нормалі до траєкторії.

Виділений елемент пласта має три ступені свободи; він може переміщатися в двох взаємно-перпендикулярних напрямках на поверхні і, крім того, може обертатися щодо осі, спрямованої по нормалі до поверхні.

Відповідно до теорії елемент знаходиться в рівновазі під дією сил:

- $dQ_p$  - проекції сили ваги на напрямок обраної осі;
- $dI_p$  - проекції сили інерції на вісь  $p$ ;
- $dP$  - проекція елементарної підйомної сили, що виникає внаслідок дії стискають пласт зусиль (проекція рівнодіюча сил  $T$  і  $T'$  на дотичну площину до поверхні);
- $dQ$  - проекція елементарної «пружною» сили пласта, що виникає при його вигині в дотичній площині до поверхні.

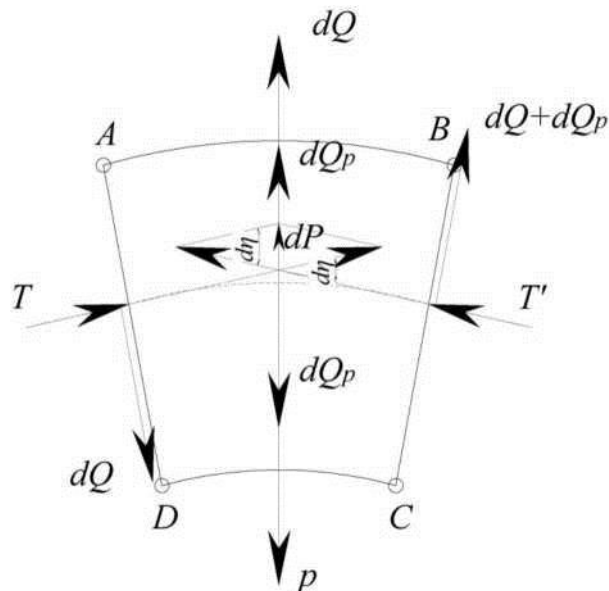


Рис 2.9 - Схема до розгляду сил, що діють на пласт

При цьому сила  $dQ$ , згідно, врівноважує розподілене навантаження від сил ваги, сил інерції і підйомних сил, що припадають на елемент дуги  $ds$ .

Таким чином, з боку пласта на поверхню лопатки діє сила  $P_x$ , рівна

$$P_x = dQ_p + dI_p + dP \quad (2.38)$$

Вирази для елементарних сил  $dQ_p$ ,  $dI_p$ ,  $dP$ , виглядають наступним чином:

$$dQ_p = a \cdot d \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds \quad (2.39)$$

$$dI_p = \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds \quad (2.40)$$

$$dP = T \cdot k \cdot ds \quad (2.41)$$

де  $a$  - товщина пласта (глибина обробки);

$b$  - ширина пласта (радіус диска);

$\gamma$  - питома вага пласта;

$\varepsilon$  - параметр, що визначає положення точки утворює на поверхні леза (рис. 2.10);

$\tau$  - кут між дотичною до траєкторії і горизонтальної прямої, проведеної через точку дотику в дотичній площині до поверхні (рис. 2.11);

$g$  - прискорення сили тяжіння;

$v_r$  - відносна швидкість руху пласта;

$T$  - стискає зусилля в даному перетині пласта;

$k$  - геодезична кривизна траєкторії середньої точки пласта.

$$k = \frac{d\eta}{ds} \quad (2.42)$$

де  $\eta$  - кут суміжності (рис. 2.11).

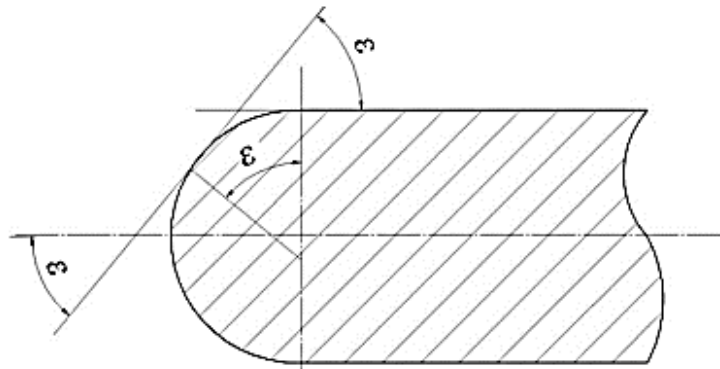


Рис. 2.10 - Крива перетину леза площиною, перпендикулярної утворюючим

Рис. 2.11 - Розгортка поверхні лопатки з нанесеною на ній відносною траєкторією

Підставимо вирази 2.39 - 2.41 у вираз 2.38 і отримаємо:

$$P_x = a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds + T \cdot k \cdot ds \quad (2.43)$$

Підставляючи вираз 2.43 в умова 2.29:

$$\begin{aligned} & \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds + T \cdot k \cdot ds \right) \cdot \sin \beta < \\ & < \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau \cdot ds + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k \cdot ds + T \cdot k \cdot ds \right) \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

Розділимо обидві частини нерівності на ds:

$$\begin{aligned} & \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta < \\ & < \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (2.44)$$

Підставляючи вираз 2.43 в умова 2.37 отримаємо:

$$\begin{aligned}
& \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta \cdot \cos \mu + \\
& + 2 \cdot f \cdot \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \sin \delta'' + \\
& + f \cdot \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta > \\
& > \left( a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \mu
\end{aligned} \tag{2.45}$$

Таким чином, при дотриманні умов (2.44) і (2.45) пропонується дисковий робочий орган буде здійснювати зворотно-обертальний рух (на підставі досліджень В. П. Горячкина).

### 2.2.2 Опір ґрунту, що виникає при роботі горизонтально розташованого сферичного дискового робочого органу

В основу пристрою більшості робочих органів ґрунтообробних знарядь покладено тригранний клин. Якби диск рухався в ґрунті без обертання, то його можна було б прийняти за тригранний клин (рис. 2.12, розглянутий клин виділений).

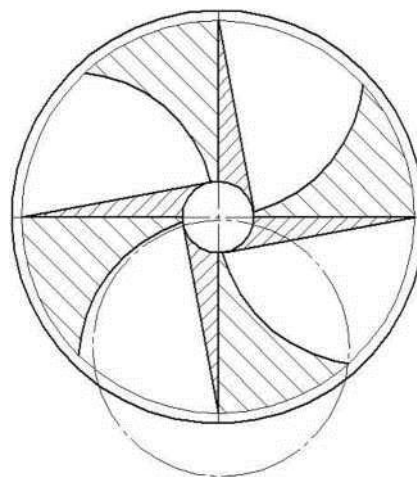


Рис. 2.12 - Схема розташування диска

Опір ґрунту, що долається клином, може бути поділений на чотири види:

а) опір ґрунту впровадження леза  $R_3$ ;

- б) опір ґрунту деформації  $R_K$ ;
- в) сила, що виникає при дії ваги пласта  $R_G$ ;
- г) сила інерції пласта  $R_F$ .

Тому, поздовжня складова  $P_x$  сили тяги  $P$  клина, поступально рухається з постійною швидкістю по ідеальним напрямним, і дорівнює:

$$P_x = R_{3X} + R_{KX} + R_{GX} + R_{FX} \quad (2.46)$$

де  $R_{3X}$  - горизонтальна складова опору ґрунту впровадження леза, кН;

$R_{KX}$  - горизонтальна складова сили опору ґрунту деформації, кН;

$R_{GX}$  - горизонтальна складова сили, що виникає при дії ваги пласта, кН;

$R_{FX}$  - горизонтальна складова сил інерції пласта, кН.

Позначимо через  $N$  нормальну силу, діючу на робочу поверхність тригранного клину (рис. 2.13), визначимо її проекції на осі координат:

Рис. 2.13 - Схема до аналізу роботи тригранного клину

$$\begin{aligned} N_x &= N \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \\ N_y &= N \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \\ N_z &= N \cdot \cos \beta \end{aligned} \quad (2.47)$$

де  $\beta$  - кут кришення, утворений робочою поверхнею клина з площиною ХОУ, град;

$\gamma$  - кут скоса леза, утворений лінією леза з віссю X, град.

Для визначення проєкцій на осі координат сили тертя  $T$  розкладемо її на дві складові (рис. 2.14):  $T_1$  - паралельну лезу леміша і  $T_2$  - перпендикулярну лезу.

Проєкція сили  $T_1$  на вісь X рівна  $T_1 \cdot \cos \gamma$ , а проєкція сили  $T_2$  рівна  $T_2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma$ , тому:

$$T_x = T_1 \cdot \cos \gamma + T_2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma \quad (2.48)$$

НО  $T_1 = T \cdot \cos \gamma$  і  $T_2 = T \cdot \sin \gamma$ , ОТЖЕ

$$T_x = T \cdot (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \beta) \quad (2.49)$$

Рис. 2.14 - Схема для визначення проєкцій на осі координат сили тертя

Аналогічно, проєктуючи сили  $T_1$  і  $T_2$  на вісь Y, отримуємо:

$$T_y = -T \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot (1 - \cos \beta) \quad (2.50)$$

Проєктуючи силу  $T_2$  на вісь Z і враховуючи, що проєкція сили  $T_1$  на цю вісь дорівнює нулю, маємо:

$$T_z = -T \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta \quad (2.51)$$

Визначення величини, складової сили  $R_{GX}$  тягового опору тригранного клина.

Визначимо величину статичного тиску  $N_G$  на поверхню клина, обумовленого вагою пласта  $G$  (рис. 2.15).

Проектуємо сили на вісь  $Z$ .

$$\sum Z = G - N_{Gz} + T_{Gz} = 0 \quad (2.52)$$

Використовуючи формули (2.47) і (2.51) маємо:

$$G = N_c \cdot \cos \beta - T_G \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta \quad (2.53)$$

але  $T_G = f \cdot N_G$ ,

де  $f$  - коефіцієнт тертя.

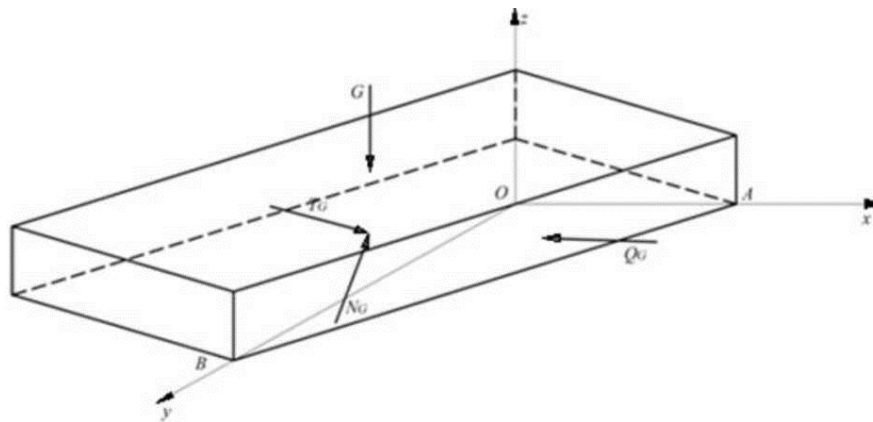


Рис. 2.15 - Схема до визначення сили

Тому

$$N_G = \frac{G}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta} \quad (2.54)$$

$$T_G = \frac{f \cdot G}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \cos \beta} \quad (2.55)$$

підставляючи значення  $N_G$  і  $T_G$  в рівняння (2.47) і (2.49), запишемо:



$$N_{GX} = G \cdot \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta} \quad (2.56)$$

$$T_{GX} = f \cdot G \cdot \frac{\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \beta}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta} \quad (2.57)$$

Величина  $R_{GX}$  тягового опору тригранного клина:

$$R_{GX} = G \cdot \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma + f \cdot (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \beta)}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta} \quad (2.58)$$

при  $\gamma = 90^\circ$

$$R_{GX} = G \cdot \operatorname{tg}(\beta + \varphi) \quad (2.59)$$

де  $G$  - вага пласта, що знаходиться на поверхні тригранного клину, Н;

$\beta$  - кут кришення, град;

$\varphi$  - кут тертя, град.

$$G = \frac{a \cdot b \cdot l \cdot \gamma_{об}}{\sin \gamma} \quad (2.60)$$

де  $a$  - товщина пласта (глибина обробки), м;

$b$  - ширина робочої поверхні клина (ширина пласта), м;

$l$  - довжина робочої поверхні клина (довжина пласта), м;

$\gamma_{об}$  - об'ємна вага ґрунту, Н / м з.

$$R_{GX} = a \cdot b \cdot l \cdot \gamma_{об} \cdot \frac{\sin \beta + f \cdot (\cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \beta)}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta} \quad (2.61)$$

Визначимо  $R_{FX}$  тягового опору тригранного клину:

$$R_{FX} = F \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma + f \cdot (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \beta)}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta} \quad (2.62)$$

Щоб визначити величину інерційної сили  $F$ , знайдемо абсолютну швидкість за формулою:

$$v = 2 \cdot v_n \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \gamma \quad (2.63)$$

Середнє значення прискорення пласта:

$$\bar{j} = \frac{2 \cdot n_n^2 \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2} \cdot \sin^2 \gamma}{l} \quad (2.64)$$

$$m = \frac{a \cdot b \cdot l \cdot \gamma_{об}}{g \cdot \sin \gamma} \quad (2.65)$$

де  $v_n$  - переносна (поступальна) швидкість, м/с;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Величину інерційної сили знайдемо з виразу:

$$F = \bar{j} \cdot m = \frac{2 \cdot a \cdot b \cdot \gamma_{об} \cdot v_n^2}{g} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \gamma \quad (2.66)$$

Підставивши значення  $F$  (2.66) в формулу (2.62), отримаємо вираз для визначення  $R_{FX}$  тягового опору тригранного клину:

$$R_{FX} = \frac{a \cdot b \cdot \gamma_{об} \cdot v_n^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot [\sin \beta + f \cdot \sin \gamma \cdot (ctg^2 \gamma + \cos \beta)]}{g \cdot (ctg \beta - f \cdot \sin \gamma)} \quad (2.67)$$

Визначимо зусилля, обумовлене опором ґрунту деформації:

$$R_{KX} = a \cdot b \cdot [k + \varepsilon \cdot (v_{II} - \Delta v_{II})^2] \quad (2.68)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що враховує властивості ґрунту (тимчасовий опір ґрунту відриву і кут тертя) і геометричну форму клина (кут кришення); величина цього коефіцієнта визначалася експериментальним шляхом;

$\varepsilon$  - коефіцієнт швидкісного опору, що залежить від властивостей ґрунту і параметрів (геометричної форми) робочих поверхонь органів;

$\Delta v_n$  - збільшення швидкості понад значення в 5 км/год, м/с.

Визначимо опір ґрунту впровадження леза  $R_3$ :

$$R_3 = \frac{q \cdot b \cdot h^2}{2 \cdot \sin \varepsilon_3 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \gamma} \quad (2.69)$$

де  $q$  - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту потилицею леза (коефіцієнт пропорційності);

$h$  - товщина оброблюваного шару ґрунту, що знімається потилицею леза, м;

$\varepsilon_3$  - задній кут різання ( $\varepsilon_3 = 10^\circ - 12^\circ$ ).

$$R_{3X} = \lambda \cdot G_M \cdot \frac{\sin \varepsilon_3 \cdot \sin \gamma + f \cdot (\cos^2 \gamma + \cos \varepsilon_3 \cdot \sin^2 \gamma)}{\cos \varepsilon_3 - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \varepsilon_3} \quad (2.70)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт, що дорівнює 0,3-0,4 (залежить від робочого органу сили, рівної 30-40% від ваги знаряддя);

$G_M$  - вага випробуваного знаряддя, Н.

Підставляючи вирази (2.61), (2.67), (2.68) і (2.70) в формулу (2.46), отримаємо аналітичний вираз, що дозволяє встановити залежність між горизонтальною складовою тягового опору дискового ґрунтообробного знаряддя і його геометричними і режимними параметрами:

$$P_X = \lambda \cdot G_M \cdot \frac{\sin \varepsilon_3 \cdot \sin \gamma + f \cdot (\cos^2 \gamma + \cos \varepsilon_3 \cdot \sin^2 \gamma)}{\cos \varepsilon_3 - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \varepsilon_3} + a \cdot b \cdot [k + \varepsilon \cdot (v_{II} - \Delta v_{II})^2] + a \cdot b \cdot l \cdot \gamma_{oo} \cdot \frac{\sin \beta + f (\cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \beta)}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta} + \frac{a \cdot b \cdot \gamma_{oo} \cdot v_n^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot [\sin \beta + f \cdot \sin \gamma \cdot (\operatorname{ctg}^2 \gamma + \cos \beta)]}{g \cdot (\operatorname{ctg} \beta - f \cdot \sin \gamma)} \quad (2.71)$$

### 2.3 Розташування робочих органів на рамі ґрунтообробного агрегату

На проектуваному ґрунтообробному агрегаті дискові робочі органи розташовуємо в два ряди (рис. 2.16).

Ширину захвату дискових робочих органів (діаметр) приймемо рівної  $b$ .

Відстань  $l_0$  між рядами дискових робочих органів вибираємо з умови запобігання забивання знаряддя рослинними залишками з урахуванням зони поширення деформації ґрунту по ходу диска. Згідно з раніше проведених досліджень приймаємо в інтервалі 350-550 мм.

Перекриття між дисками визначаємо виходячи з умови повного підрізання бур'янів і кореневищних залишків:

Рис. 2.16 - Схема установки горизонтально розташованих дискових робочих органів на рамі ґрунтообробного агрегату

$$c = l_0 \cdot \operatorname{tg} \lambda \quad (2.80)$$

де  $\lambda$  - кут відхилення дисків від прямої лінії.

Відстань між дисками в ряду:

$$b_0 = 2b - 2c \quad (2.81)$$

Визначаємо ширину захвату ґрунтообробного агрегату:

$$B = n \cdot b - m \cdot c \quad (2.82)$$

де  $n$  - число дискових робочих органів;

$m$  - число перекриттів між дисками.

## Висновки з розділу

1. Обґрунтовано конструктивно-технологічна схема ґрунтообробного робочого органу у вигляді горизонтально розташованого диска з лопатками і розроблені аналітично-математичні моделі, що дозволяють оцінити зусилля впливу робочих елементів диска на ґрунт в залежності від положення дискового робочого органу в просторі (залежності 2.1 - 2.18).
2. Отримано рівняння зворотно-обертального руху в залежності від кутів нахилу поверхонь лопаток до поверхні диска (вирази 2.29, 2.37, 2.44, 2.45).
3. Отримано рівняння, що дозволяє аналітично визначити зміну горизонтальної складової сили, що діє з боку ґрунту на робочий орган, в залежності від різних факторів (залежність 2.71).

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Програма експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень - перевірити достовірність теоретичних розробок. Це стосується процесу дрібного обробку ґрунту: якості подрібнення, зароблення поживних залишків, рівномірності глибини обробітку ґрунту, питомого опору пропонованого робочого органу і визначення енергетичних витрат.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося виконання наступного об'єму робіт:

- визначення фізико-механічних властивостей ґрунту;
- визначення сили опору експериментального дискового робочого органу при його різних діаметрах і кількості лопаток на ньому (рис. 3.1);
- визначити експлуатаційні та енергетичні показники, а саме: швидкість руху агрегату, продуктивність, витрату палива, енергоємність;
- порівняльні випробування необхідні для визначення якісних, енергетичних показників виконання заданої технологічної операції дрібного обробітку ґрунту [25, 26, 27].

### 3.2 Методи дослідження агрофону

Назва і тип ґрунту по гранулометричному (механічному) складу взяті з ґрунтової карти господарства, де проводилися випробування. За величиною грудок ґрунту отримували фракції відповідно до ГОСТ 20915-2011 [28].

Згідно вимог ГОСТ по діагоналі оброблюваної ділянки совком відбирали п'ять проб масою не менше 2,5 кг і в межах глибини обробки, за якими, в подальшому розглядали агрегатний склад.

Потім взятую пробу ґрунту висушували до повітряно-сухого стану і розподіляли по фракціям просіюванням через набір сит з різними отворами (10; 7,5; 3; 2; 1; 0,5 і 0,25 мм). Грудки розміром більше 10 мм з верхнього решета розподілили на три фракції вручну [11, 28]. Дані фракції зважували і підраховували їх відсоток до маси наважки (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Поділ ґрунту на фракції

| Найменування фракції | Розмір фракції, мм |
|----------------------|--------------------|
| Мілко глибиста       | 10,1 - 50          |
| Глибиста             | 50,1 - 100         |
| Крупно глибиста      | св. 100            |

Проби ґрунту на вологість брали згідно вимог ГОСТ 20915-2011. При цьому глибину відбору проб встановлювали виходячи з необхідної глибини обробітку ґрунту [28]. Витягнутий буром зразок ґрунту з даного шару висипали в тару, ретельно перемішували і відбирали в алюмінієві стаканчики (бюкси) (рис. 3.7, 3.8). Відібрану навішення масою 30-40 г закривали щільно кришкою, упаковували в спеціальний ящик і зважували в лабораторії згідно вимог ГОСТ 20915-2011, де і визначали абсолютну вологість  $W$  ґрунту.

Твердість ґрунту визначали в місцях визначення вологості. При знятті показань регулярно перевіряли справність роботи записуючого пристрою, стежили за збігом вістря пристрою з нульовою лінією. Твердість ґрунту  $P$  (МПа) [29] розраховувалася з урахуванням величини середньої ординати

діаграми твердості, масштабу пружини і площі поперечного перерізу плунжера. Середню ординату визначали з аналізу діаграми, як відношення площі діаграми до її довжини і розраховували середнє арифметичне за результатами п'яти дослідів [30].

Проби ґрунту для визначення її щільності бралися на глибині, рівній глибині обробітку, спеціальним буром і далі в лабораторії, де відповідно ГОСТ 20915-2011 [28] щільність випробуваного зразка визначали як відношення маси абсолютно сухого ґрунту з усього бура до обсягу зразка взятої проби ґрунту .

### **3.3 Експериментальна установка для динамометрування робочого органу**

Технологічна схема експериментальної установки для визначення тягових характеристик дискового робочого органу наведена на рисунку 3.2.

Рис. 3.2 - Технологічна схема експериментальної установки для визначення тягових характеристик дискового робочого органу: 1 - рама; 2 - навішування; 3 - опорно-регулювальний колесо; 4 - диск з лопатками; 5 - вал; 6 - корпус підшипників; 7 - пластина; 8 - динамометр; 9 - брус; 10 - натягач; 11 – фотоапарат, включений в режимі відео-зйомки



Для проведення польових досліджень нами була виготовлена експериментальна установка (рис 3.2, 3.3), за допомогою якої проводилися виміри величини горизонтальної складової сили опору дискового робочого органу при обробітку ґрунту [ 31, 32].

Рис. 3.3 - Експериментальна установка для дослідження робочого органу: 1 - рама; 2 - навішування; 3 - опорно-регулювальний колесо; 4 - диск з лопатками; 5 - вал; 6 - корпус підшипників; 7 - пластина; 8 - динамометр; 9 - брус; 10 - натягач; 11 - фотоапарат, включений в режимі відео-зйомки.

Установку навішували на трактор тягового класу 2. Робочий орган 4 являє собою сферичний диск, на який наварені лопатки.

Довжину ділянки фіксували кілками (початок і кінець) і відміряли рулеткою відстань у п'ятдесят метрів.

Пристрій працює наступним чином. В процесі обробітку ґрунту енергетичний засіб переміщує установку. У цей момент відбувається заглиблення досліджуваного робочого органу 4 в ґрунт на встановлену опорними колесами 3 глибину. Сили опору, що діють на дисковий робочий орган 4, змушують відхилитися вал 5 в сторону, протилежну напрямку руху. При цьому за допомогою валу 5, встановленого в підшипниках 6, прикріплених до пластині 7 через пристрій 10 динамометру 8 передаються діючі на робочий орган 4 сили. Кінокамерою (11) фіксували покази динамометра в процесі роботи агрегату.

### 3.4 Прилади та обладнання, що застосовуються в дослідженні

Реєстрацію параметрів руху, контроль витрати палива і швидкості руху, обертівв двигуна і маршруту енергетичного здійснювали засобом термінал-реєстратором СКРТ Лайт 31 GPSTехнотон (рис. 3.4).

Рис. 3.4 - Термінал-реєстратор СКРТ Лайт 31 GPSTехнотон

Даний прилад фіксує координати енергетичного засобу, його швидкість переміщення за даними GPS. Крім того є можливість накопичення отриманих за час випробування даних в пам'яті приладу. Похибка вимірів витрати палива складає  $\pm 0,1$  л, а швидкості руху транспортного засобу  $\pm 0,001$  км/год.

Робота термінал-реєстратор СКРТ 31 ЛайтGPS здійснюється при номінальній напрузі живлення 12 В, при цьому обсяг пам'яті реєстратора параметрів при періоді реєстрації 60 с не менше 500 год, температурний діапазон роботи від - 40 °С до + 60 °С.

Датчиком ДРТ - 5,1 (рис. 3.5) фіксували кількість палива, поданого паливним насосом і витраченого двигуном енергетичного ресурсу, з урахуванням повернутого в бак, а також датчик здійснював передачу імпульсів термінал-реєстратору СКРТ 31 Лайт GPS. Технічні характеристики датчика ДРТ-5,1 розглянуті в таблиці 3.2.

Рис. 3.5 - Датчик витрат палива ДРТ-5,1: 1 - двигун, 2 - датчик ДРТ-5,1

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики ДРТ-5,1

| Найменування показника, одиниці виміру | значення показників |
|--|---------------------|
| Максимальні витрати палива, л/год      | 80                  |
| Номінальна витрата палива, л/год       | 40                  |
| Мінімальна витрата палива, л/год       | 4                   |
| Розмір сторонніх включень в паливі, мм | 0,080               |
| Робочий об'єм камери, мл               | 5                   |
| Температурний діапазон роботи, °С      | -10- + 60           |
| Похибка вимірювання, мл                | ± 5                 |

Для обміну інформацією між персональним комп'ютером і термінал-реєстратором СКРТ 31 Лайт GPS, а також при обробці даних, накопичених за час випробування користувалися програмним забезпеченням «СКАРТ-Менеджер». Отримані результати надавалися в текстовому вигляді.

Отримані значення формували в варіаційний ряд і обробляли методом математичної статистики. Для чого нами була розроблена програма «Визначення погодинної витрати палива при роботі двигуна Д-260», (додаток А).

Вимірювання сил, прикладених до об'єкта дослідження, проводили динамо-метром 9016 ДПУ-100-1-УХЛ 2, технічна характеристика якого розглянута в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічна характеристика 9016 ДПУ-100-1-УХЛ 2

| Параметр приладу                | Одиниці та величини параметра |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Ціна поділки шкали приладу, кН  | 1 кН                          |
| Інтервал виміру, кН             | 0 – 30 кН                     |
| Рік випуску приладу             | 2015                          |
| Похибка вимірювання приладом, % | $\pm 1$                       |

Показання приладу фіксували фотокамерою Nikon в режимі кінокамери при швидкості запису 30 кадрів в секунду. Отримані результати обробляли методом математичної статистики на персональному комп'ютері з ПО Windows.

Сушильну шафу, яка представлена на рисунку 3.6, застосовували для висушування зразків ґрунту, необхідних при визначенні його характеристик [29].



Рис. 3.6 - Сушильна шафа

Зразки проб ґрунту, що були поміщені в бокси (рис. 3.7, 3.8), нумерували і реєстрували безпосередньо на місці відбору і доставки в лабораторію.

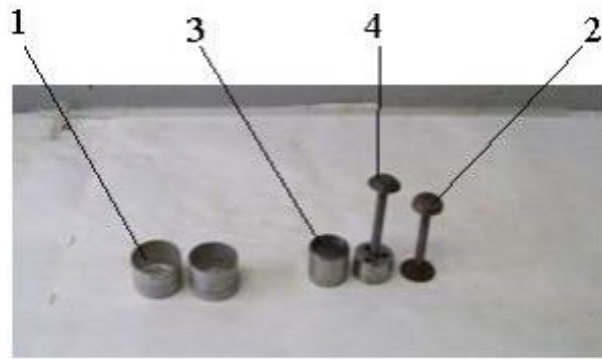


Рис. 3.7 - Обладнання для відбору проб ґрунту: 1 - бюкс, 2 - оправка для видалення зразка з конічного стаканчика, 3 - конічний стаканчик для відбору проб ґрунту, 4 - оправлення для відбору проб



Рис. 3.8 - Зразки досліджуваного ґрунту, що поміщені в бюкси

Для визначення маси взятих проб ґрунту використовували лабораторні ваги ВЛР-200 (рис. 3.9), технічна характеристика яких наведена у таблиці 3.4.



Рис. 3.9 - Лабораторні ваги ВЛР-200

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики ваг ВЛР-200

| Найменування характеристик                | значення характеристик |
|---|------------------------|
| Максимальна межа зважування приладу, г    | 200                    |
| Ціна поділки шкали приладу, мг            | 1                      |
| Дискретність, мг                          | 0,05                   |
| Інтервал зважування за шкалою приладу, мг | 0 - 100                |
| Похибки зважування за шкалою, мг          | $\pm 0,15$             |
| Межі допустимої похибки приладу, мг       |                        |
| до 25 мг                                  | $\pm 0,25$             |
| 25 – 100 мг                               | $\pm 0,5$              |

### 3.5 Методика обробки експериментальних даних

Обсяг вибірки, необхідний для отримання замірів, визначали таким чином, щоб досліджуваний параметр був отриманий із заданою точністю [30, 33, 34].

Обсяг вибірки вираховували за відомою методикою [31]. Для нашого випадку при 5 % -му рівні значущості і числі ступенів свободи, що дорівнює нескінченності, критерій Стьюдента  $t$  дорівнює 1,96, варіація ознаки  $v$  вважається незначною, якщо не перевищує 10 %. Беручи достатню точність даних дослідів 2-4, і взявши значення двох останніх параметрів, отримали обсяг вибірки, що дорівнює 9,8. Приймали число повторювань 10.

Для оцінки факторів і їх взаємодії використовували повний факторний експеримент (ПФЕ) [30, 31] з додаванням зіркових точок необхідних для отримання квадратичних членів досліджуваних факторів - план другого порядку [35], математична модель якого має вигляд :

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

де  $y$  - розрахункове значення критерію оптимізації;

$b_0$  - вільний коефіцієнт;

$b_i$  - коефіцієнти при досліджуваних факторах;

$b_{ij}$  - коефіцієнти парної взаємодії;

$b_{ii}$  - коефіцієнти при квадратичних членах;

$x_i, x_j$  - досліджувані чинники;

$k$  - кількість досліджуваних факторів.

Розглядаючи плани другого порядку, визначили, що визначник матриці приймає найбільше значення, коли моменти рівні [30]. Застосовуючи симетричний композиційний план типу  $B_k$  (на відміну від інших планів, зіркові точки рівні  $\pm 1$ ) вивчали вплив факторів за відомою методикою. Перевірку адекватності отриманої моделі проводили за критерієм Фішера [33, 35].

Після отримання математичної моделі другого порядку визначили оптимальне значення досліджуваних факторів і за допомогою двовимірних перерізів, отриманих після канонічного перетворення (3.2), вивчали властивості поверховості відгуку в залежності від двох факторів.

$$Y - Y_S = B_{11} \cdot X_1^2 + B_{22} \cdot X_2^2 + B_{33} \cdot X_3^2 \quad (3.2)$$

де  $Y$  - величина критерію оптимізації;

$Y_S$  - величина критерію оптимізації при оптимальних значеннях чинників;

$X_1, X_2, X_3$  - нові осі координат, повернені щодо осей  $x_1, x_2, x_3$ ;

$B_{11}, B_{22}, B_{33}$  - коефіцієнти регресії в канонічній формі.

### **Висновки з розділу**

1. Обрана програма експериментальних досліджень.
2. Розглянуто методику дослідження і обрані прилади та обладнання для її здійснення.
3. Обрана методика обробки експериментальних даних.

## РОЗДІЛ 4

## РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 4.1 Тяговий опір пропонованого горизонтально розташованого дискового робочого органу

В результаті виконання експериментальних досліджень нами визначені фізико-механічні властивості агрофону (табл. 4.1) (додаток Б), тяговий опір пропонованого диска з різними діаметрами (рис. 3.1) і кількістю лопаток на ньому, а також експлуатаційні та енергетичні показники макетного зразка (швидкість руху агрегату, продуктивність, витрата палива, енергоємність).

Таблиця 4.1 - Умови випробувань

| Показник                     |               | Глибина, см | Середнє значення X | Стандартний відхил S  | Помилка вибіркової середньої S <sub>x</sub> | Коефіцієнт варіації, V | Відносна похибка вибіркової середньої, % | Абсолютна похибка вибіркової середньої |
|------------------------------|---------------|-------------|--------------------|-----------------------|---|------------------------|--|--|
| Вологість ґрунту, %          | 5             | 8,410       | 0,367              | 0,042                 | 4,359                                       | 0,503                  | 1,996                                    |  |
|                              | 10            | 11,469      | 1,154              | 0,133                 | 10,066                                      | 1,162                  | 0,268                                    |  |
| Твердість ґрунту, МПа        | 5             | 1,71        | 1,006              | 0,116                 | 5,889                                       | 0,680                  | 0,233                                    |  |
|                              | 10            | 1,06        | 0,423              | 0,049                 | 4,001                                       | 0,462                  | 0,098                                    |  |
| Щільність, г/см <sup>3</sup> | до обробки    | 5           | 1,498              | $8,311 \cdot 10^{-3}$ | $9,596 \cdot 10^{-4}$                       | 0,555                  | 0,064                                    | $1,928 \cdot 10^{-3}$                  |
|                              |               | 10          | 1,471              | $2,718 \cdot 10^{-3}$ | $3,138 \cdot 10^{-4}$                       | 0,185                  | 0,021                                    | $6,307 \cdot 10^{-4}$                  |
|                              | після обробки | 5           | 1,273              | 0,029                 | $3,373 \cdot 10^{-3}$                       | 2,128                  | 0,246                                    | $6,779 \cdot 10^{-3}$                  |
|                              |               | 10          | 1,285              | $8,241 \cdot 10^{-3}$ | $9,515 \cdot 10^{-4}$                       | 0,595                  | 0,069                                    | $1,912 \cdot 10^{-3}$                  |



Температура повітря становила 30 °С.

Рельєф полів, на яких проводились польові випробування, був рівним. Мікрорельєф слабо виражений (поздовжній - 0,9 см, поперечний - 1,5 см). Маса рослинних і поживних залишків на одному метрі квадратному склала 175 г. Висота поживних залишків 15,1 см. Кількість бур'янів на обліковому майданчику 35 шт/м<sup>2</sup>, висота бур'янів - 6,5 м. Попередній обробіток - пряме комбайнування.

Експериментальна установка агрегувалися трактором МТЗ-1221. Методика досліджень представлена в розділі 3.

Дані сухого просіювання по Савинову ґрунту експериментальної ділянки показують досить високий (до 75,2%) вміст глибистих агрегатів (> 10 мм) в верхньому ущільненому шарі чорноземів і низьке (23,4%) кількість агрономічно цінних агрегатів розміром 0,25-10,00 мм, а стан структури (по Долгова С. І. та Бахтину П. У.) незадовільний.

Після обробітку ґрунту пропонуваним дисковим робочим органом, агрегатний склад значно покращився: кількість глибистих агрегатів знизилася до 58,8%, вміст агрономічно цінних агрегатів підвищився до 40,2 %, причому майже в два рази збільшилася кількість найцінніших в агрономічному відношенні агрегатів розміром 1-5 мм.

Проведений теоретичний аналіз (розділ 2) показав, що основними факторами, що впливають на процес функціонування робочого органу можна вважати такі: геометричні характеристики і кількість лопаток, їх положення на диску, діаметр дискового робочого органу, просторове положення, переносну швидкість руху диска, глибина обробітку, технологічні властивості ґрунту (опір ґрунту деформації і руйнування).

Аналіз факторів дозволяє зробити попередні висновки: геометричні параметри лопаток визначені з умови можливості руйнування ґрунтового пласту при переміщенні диска і мінімізації опору переміщення в ґрунті. Встановлено (розділ 2), що раціональними можна вважати кути нахилу поверхонь лопаток  $\alpha = 45^\circ$ , а  $\beta = 20^\circ$ . У зв'язку з цим приймаємо інтервал варіації  $\alpha = 10^\circ$ , а  $\beta = 10^\circ$ . Априорна інформація показує, що мінімізація зусилля

робочого органу визначається радіальним розташуванням виступаючих частин. У зв'язку з цим приймаємо радіальне розташування лопаток на диску.

Теоретичні дослідження і апріорна інформація показали, що збільшення кута нахилу (в малих межах) дискового робочого органу до поверхні ґрунту суттєво впливає на величину зусилля і не суттєво впливає на якість обробітку ґрунту. У зв'язку з цим кут нахилу прийнятий з умови самозаглиблення дискового робочого органу в ґрунт. Прийняті глибина обробітку і кут нахилу обґрунтовуються агротехнічними вимогами до посіву і самозаглиблення і складають: кут нахилу  $\delta$  до  $5^\circ$ , глибина обробітку  $a$  - 10 см.

Технологічні властивості ґрунту (вологість, твердість, щільність) приймалися з умови проведення експерименту в даному районі (таблиця 4.1).

Попередній аналіз, апріорна інформація дозволили вибрати в якості факторів кількість лопаток ( $n$ ), діаметр диска ( $d$ ) і швидкість поступального руху ( $v_p$ ) з інтервалом варіації, представленим в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Фактори, інтервали і рівні варіювання

| Фактори                          | Кодовані позначення | Інтервали варіювання | Рівні факторів |     |      |
|----------------------------------|---------------------|----------------------|----------------|-----|------|
|                                  |                     |                      | -1             | 0   | +1   |
| Число лопаток ( $n$ ), шт        | $x_1$               | 1                    | 3              | 4   | 5    |
| Діаметр диска ( $d$ ), мм        | $x_2$               | 150                  | 300            | 450 | 600  |
| Швидкість руху ( $v_p$ ), км/год | $x_3$               | 3,5                  | 5,0            | 8,5 | 12,0 |

Розглядаючи плани другого порядку, визначили, що визначник матриці приймає найбільше значення, коли моменти рівні [30, 34]. Застосовуючи симетричний композиційний план типу  $V_k$  (на відміну від інших планів, зірок-ні точки рівні  $\pm 1$ ) вивчали вплив трьох чинників.

Значення факторів вибирали так, щоб їх оптимум потрапляв в центр інтервалу варіювання [30, 36].

У нашій роботі першим фактором  $x_1$  є число лопаток, інтервал варіювання яких становить від  $n_{\min} = 3$  до  $n_{\max} = 5$ .

Для другого фактору  $x_2$  значенням є діаметр диска, інтервал варіювання від  $d_{\min} = 300$  мм до  $d_{\max} = 600$  мм.

Третім фактором  $x_3$  прийнята швидкість переміщення агрегату з інтервалом варіювання від  $v_p = 5$  км/год до  $v_p = 12$  км/год.

Значення першого і другого факторів фіксували виготовленням дисків і знімними лопатками. Виготовлено 3 диска і 36 лопаток, розміри яких змінювались згідно з планом. Згідно таблиці випадкових чисел був обраний порядок проведення дослідів, при якому виконувалася зміна дисків і лопаток, а також установка заданої швидкості. Вибрані значення факторів і отримані в результаті зйомки фотокамерою значення критерію оптимізації, оброблені на персональному комп'ютері ПО Windows XP методами математичної статистики, представлені у вигляді матриці (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Матриця планування експерименту при оптимізації параметрів дискового робочого органу

| № дослідів | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | Відгук $Y, H$ |               |
|------------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| 1          | 5     | 600   | 8,0   | 2238          | ПФЕ           |
| 2          | 3     | 600   | 8,0   | 1359          |               |
| 3          | 5     | 300   | 8,0   | 1 921         |               |
| 4          | 3     | 300   | 8,0   | 1 135         |               |
| 5          | 5     | 600   | 5,0   | 1 092         |               |
| 6          | 3     | 600   | 5,0   | 1 941         |               |
| 7          | 5     | 300   | 5,0   | 1273          |               |
| 8          | 3     | 300   | 5,0   | 2191          |               |
| 9          | 5     | 450   | 6,5   | 1371          | Зіркові точки |
| 10         | 3     | 450   | 6,5   | 1404          |               |
| 11         | 4     | 600   | 6,5   | 1353          |               |
| 12         | 4     | 300   | 6,5   | 1331          |               |
| 13         | 4     | 450   | 8,0   | 1 361         |               |
| 14         | 4     | 450   | 5,0   | 1 327         |               |

Методика проведення дослідів описана в третьому розділі.

Середнє значення критерію оптимізації (відгук) вираховували за десятьма значеннями, отриманим в  $i$ -му досліді. Статистичні характеристики по дослідом зведені в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Статистичні характеристики відгуку по дослідах

| № досвіду | Середнє значення $X, H$ | Стандартне відхилення $S, H$ | Похибка вибіркової середньої $S_x, H$ | Коефіцієнт варіації, $V$ | Відносна похибка $P, \%$ | Абсолютна похибка $m, H$ |
|-----------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1         | 2238                    | 4,738                        | 1,498                                 | 0,212                    | 0,067                    | 3,572                    |
| 2         | 1352                    | 5,538                        | 1,751                                 | 0,407                    | 0,129                    | 4,175                    |
| 3         | 1 921                   | 4,028                        | 1,274                                 | 0,209                    | 0,066                    | 3,037                    |
| 4         | 1 135                   | 3,742                        | 1,183                                 | 0,329                    | 0,104                    | 2,821                    |
| 5         | 1 092                   | 5,773                        | 1,826                                 | 0,529                    | 0,167                    | 4,353                    |
| 6         | 1 941                   | 5,617                        | 1,776                                 | 0,289                    | 0,092                    | 4,236                    |
| 7         | 1273                    | 5,437                        | 1,719                                 | 0,427                    | 0,135                    | 4,099                    |
| 8         | 2191                    | 8,287                        | 2,620                                 | 0,378                    | 0,119                    | 6,248                    |
| 9         | 1371                    | 6,599                        | 2,087                                 | 0,481                    | 0,152                    | 4,976                    |
| 10        | 1404                    | 5,164                        | 1,633                                 | 0,368                    | 0,116                    | 3,894                    |
| 11        | 1353                    | 8,379                        | 2,649                                 | 0,619                    | 0,196                    | 6,318                    |
| 12        | 1331                    | 9,333                        | 2,951                                 | 0,701                    | 0,221                    | 7,037                    |
| 13        | 1 361                   | 7,803                        | 2,468                                 | 0,573                    | 0,181                    | 5,884                    |
| 14        | 1 327                   | 6,055                        | 1,915                                 | 0,456                    | 0,144                    | 4,566                    |

Після кожної повторності досліду проводилася оцінка технологічних властивостей оброблюваного ґрунту. Встановлено, що на всіх рівнях варіації задіяних факторів агропотреб якості обробки пласта землі виконувались (подрібнення, рівномірність глибини обробітку і ін.).

У процесі проведення випробувань проводили виміри рівномірності глибини обробітку. При аналізі рівномірності глибини обробітку ґрунту визначили такі показники:

- $S = 0,219$  см - стандартне відхилення;
- $v = 2,128\%$  - коефіцієнт варіації;
- $P = 0,868\%$  - показник точності.

Таким чином, розглянувши конструктивні особливості серійно випускних робочих органів, ми прийняли інтервали і рівні варіювання факторів, вивчили умови випробувань, а також провели заміри рівномірності глибини обробітку.

## 4.2 Оптимальні параметри горизонтально розташованого дискового робочого органу

Математична обробка експериментальних даних по  $V_k$  планом дозволила отримати рівняння залежності тягового опору дискового робочого органу з уявними коефіцієнтами від обраних факторів, пов'язаними з дійсними наступними залежностями:

$$x_1 = \frac{X_1 - X_{10}}{\Delta_1}, x_2 = \frac{X_2 - X_{22}}{\Delta_2}, x_3 = \frac{X_3 - X_{33}}{\Delta_3}, \quad (4.1)$$

де  $x_1, x_2, x_3$ - уявні значення факторів;

$X_1, X_2, X_3$ - дійсні значення факторів;

$X_{10}, X_{20}, X_{30}$ - дійсні значення факторів в центрі плану;

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  - інтервал варіювання факторів.

Рівняння залежності тягового опору дискового робочого органу від обраних факторів має вигляд:

$$Y = 1217,25 - 13,39 \cdot x_1 + 12,675 \cdot x_2 + 18,33 \cdot x_3 + 20,25 \cdot x_1 \cdot x_2 + 428,99 \cdot x_1 \cdot x_3 + 121,28 \cdot x_2 \cdot x_3 + 172,63 \cdot x_1^2 + 127,13 \cdot x_2^2 + 129,13 \cdot x_3^2 \quad (4.2)$$

де  $Y$  - тяговий опір дискового робочого органу.

Коефіцієнти рівняння регресії (4.2) перевірені по довірчим інтервалом з використанням критерію Стьюдента. При 5 %-му рівні значущості і числі ступенів свободи рівним 9, табличне значення критерію Стьюдента  $t$  дорівнює 2,26 [31, 34]. Довірчі інтервали коефіцієнтів рівняння регресії (4.2) рівні:  $\Delta b_0 = 21,39$ ,  $\Delta b_i = 5,82$ ,  $\Delta b_{ij} = 7,61$ ,  $\Delta b_{ii} = 8,75$ , де  $\Delta b$  - довірчий інтервал.

Адекватність отриманої моделі перевірили за критерієм Фішера. Розрахункове значення його склало 0,56, а табличне значення - 3,63, що говорить про те, що модель адекватна.

Для знаходження оптимальних значень факторів вирішували систему лінійних рівнянь, отриманих шляхом диференціювання рівняння (4.2) за кожним фактору. При цьому уявні значення факторів рівні :  $x_1 = -0,0751$ ,  $x_2 = -$

0,0896,  $x_3 = 0,0959$ . Оптимізацію в центрі поверхні відгуку отримали шляхом підстановки знайдених оптимальних значень факторів в рівняння (4.2), при цьому отримали  $Y_S = 1218,07$  Н.

Натуральні значення досліджуваних факторів:

- оптимальне число лопаток  $n = 4$  шт;
- оптимальний діаметр диска  $d = 437$  мм;
- оптимальна швидкість руху  $v_p = 8,84$  км/год.

Для вивчення властивостей поверхні відгуку в межах оптимуму провели канонічне перетворення отриманої математичної моделі (4.2).

Переносимо початок координат математичної моделі в нову точку, при цьому з рівняння зникають лінійні члени, а при повороті на деякий кут зникають парні взаємодії, а також змінюється значення вільного члена [22, 30].

У нашому випадку кут повороту  $\alpha$  склав  $44,53^\circ$ .

Математична модель (4.2) в канонічній формі набуде вигляду:

$$Y - 1218,07 = 172,63 \cdot x_1^2 + 188,74 \cdot x_2^2 + 67,51 \cdot x_3^2 \quad (4.3)$$

або:

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - 1218,07}{172,63}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y - 1218,07}{188,74}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - 1218,07}{67,51}} = 1 \quad (4.4)$$

де  $Y$  - значення критерію оптимізації (тяговий опір дискового робочого органу), Н;

$X_1, X_2, X_3$  - нові осі координат, повернені в просторі на кут  $\alpha$  відносно старих осей ( $x_1, x_2, x_3$ ).

Для більш детального уявлення про поверхні відгуку її вивчали за допомогою двовимірних перерізів. Для цього в вихідне рівняння (4.2) підставили уявне значення одного з оптимальних параметрів і розглядали зміну величини критерію оптимізації в залежності від значень двох інших факторів.

Розглянемо вплив кількості лопаток і діаметра на зміну величини відгуку при оптимальному значенні швидкості агрегату.

Для цього в рівняння (4.2) підставимо уявне оптимальне значення швидкості  $x_3 = 0,0959$ . Тоді,

$$Y_{12} = 1220,19 + 27,75 \cdot x_1 + 24,31 \cdot x_2 + 20,25 \cdot x_1 \cdot x_2 + 172,63 \cdot x_1^2 + 127,13 \cdot x_2^2 \quad (4.5)$$

де  $Y_{12}$  - функція тягового опору дискового робочого органу, Н.

Рівняння регресії (4.5) після канонічного перетворення і маючи кут повороту  $\alpha$ , що дорівнює  $11,99^\circ$ , набуде вигляду (4.6), а коефіцієнти цього рівняння рівні:  $B_{11} = 174,78$ ,  $B_{22} = 124,97$  [30]:

$$Y_{12} - 1218,07 = 174,78 \cdot x_1^2 + 124,97 \cdot x_2^2 \quad (4.6)$$

За рівнянням (4.6) одержали поверхню (рис. 4.1) - еліптичний параболоїд. Внаслідок позитивних значень коефіцієнтів рівняння  $B_{11} = 174,78$  і  $B_{22} = 124,97$  центр поверхні - мінімум.

Рис 4.1 - Поверхня залежності тягового опору від кількості лопаток і діаметра диска і його двовимірний перетин

Розглядаючи даний двовимірний перетин, приходимо до висновку, що зміна кількості лопаток більш істотно впливає на величину відгуку, ніж діаметр робочого органу, так як еліпс витягнутий більше по осі, що відповідає діаметру.

Аналогічно розглянемо вплив кількості лопаток і швидкості руху на зміну величини відгуку при оптимальному значенні діаметра робочого органу. Для цього в рівняння (4.2) підставимо уявне оптимальне значення діаметра робочого органу  $x_2 = -0,0896$ .

Тоді рівняння набуває вигляду:

$$Y_{13} = 1217,25 - 15,20 \cdot x_1 + 7,46 \cdot x_3 + 428,99 \cdot x_1 \cdot x_3 + 172,63 \cdot x_1^2 + 129,13 \cdot x_3^2 \quad (4.7)$$

Кут повороту осей  $\alpha$  дорівнює  $42,11^\circ$ , а коефіцієнти рівні:  $B_{11}=366,48$ ,  $B_{33}=64,72$  і мають різні знаки - це гіперболічний параболоїд з центром поверхні мінімакс (рис. 4.2).

Рівняння (4.7) в канонічній формі має вигляд:

$$Y_{13} - 1218,07 = 366,48 \cdot x_1^2 + 64,72 \cdot x_3^2 \quad (4.8)$$

Відповідно до отриманого перетину (рис. 4.2) на величину відгуку більший вплив чинить зміна кількості лопаток.

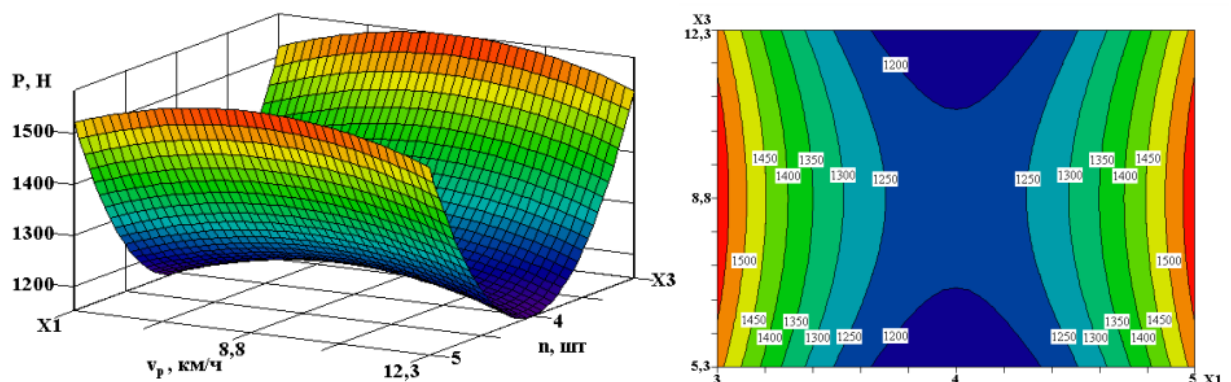


Рис. 4.2 - Поверхня залежності тягового опору від кількості лопаток і швидкості руху агрегату і його двовимірний перетин

Вплив зміни діаметра робочого органу і швидкості руху агрегату на зміну величини відгуку при оптимальному значенні кількості лопаток розглянуто аналогічно.

Для цього в рівняння (4.2) підставимо уявне оптимальне значення кількості лопаток  $x_1 = 0,0751$ . тоді,

Рівняння набуває вигляду:

$$Y_{23} = 1217,25 + 11,15 \cdot x_2 - 13,89 \cdot x_3 + 121,28 \cdot x_2 \cdot x_3 + 127,13 \cdot x_2^2 + 129,13 \cdot x_3^2 \quad (4.9)$$



Кут повороту осей  $\alpha$  щодо початкових дорівнює  $42,11^\circ$ , а коефіцієнти рівні:  $B_{22} = 67,48$ ,  $B_{33} = 188,77$ .

Рівняння регресії в канонічній формі набуде вигляду:

$$Y_{23} - 1218,07 = 67,48 \cdot x_2^2 - 188,77 \cdot x_3^2 \quad (4.10)$$

Отримана за рівнянням (4.10) поверхня (рис. 4.3) – еліптичний параболоїд. Внаслідок позитивних значень коефіцієнтів рівняння, центр поверхні - мінімум. Розглядаючи даний двовимірний перетин, приходимо до висновку, що зміна швидкості руху більш істотно впливає на величину відгуку, ніж діаметр робочого органу, так як еліпс витягнутий більше по осі, що відповідає діаметру.

Рис 4.3 - Поверхня залежності тягового опору від діаметра диска і швидкості руху агрегату і його двовимірний перетин

При збільшенні числа лопаток на один рівень тяговий опір збільшиться до значення  $Y = 1418$  Н або на 16 %, при зменшенні на один щабель -  $Y = 1366$  Н або 12 % .

При збільшенні діаметра диска на один рівень тяговий опір збільшується до значення  $Y = 1341$  Н або на 10 % , а при зменшенні на одну ступінь -  $Y = 1351$  Н або 11 % .

При збільшенні швидкості руху на один рівень тяговий опір збільшується до значення  $Y = 1323$  Н або на 12 %, а при зменшенні на одну ступінь -  $Y = 1373$  Н або 8 % .

### 4.3 Інженерний розрахунок параметрів дискового робочого органу

Уявімо алгоритм інженерного розрахунку тягового опору запропонованого горизонтально розташованого дискового робочого органу у вигляді таблиці (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 - Методика розрахунку тягового опору запропонованого горизонтально розташованого дискового робочого органу

| Параметр   | Формула  |
|--|--|
| Поздовжня комбінована сила тяги, кН              | $P_x = R_{3X} + R_{KX} + R_{GX} + R_{FX}$  |
| Супротив ґрунту зануренню леза, кН               | $R_{3X} = \lambda \cdot G_M \cdot \frac{\sin \varepsilon_3 \cdot \sin \gamma + f \cdot (\cos^2 \gamma + \cos \varepsilon_3 \cdot \sin^2 \gamma)}{\cos \varepsilon_3 - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \varepsilon_3}$ |
| Зусилля, обумовлене опором ґрунту деформації, кН | $R_{KX} = a \cdot b \cdot [k + \varepsilon \cdot (v - \Delta v)^2]$  |
| Зусилля, обумовлене вагою пласту, кН             | $R_{3X} = a \cdot b \cdot l \cdot \gamma_{об} \frac{\sin \beta + f \cdot (\cos \gamma \cdot ctg \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \beta)}{\cos \beta - f \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta}$                          |
| Зусилля, обумовлене інерцією пласту, кН          | $R_{FX} = \frac{a \cdot b \cdot \gamma_{об} \cdot v^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot [\sin \beta + f \cdot \sin \gamma \cdot (ctg^2 + \cos \beta)]}{g \cdot (ctg \beta - f \cdot \sin \gamma)}$                           |

Вивчимо вплив параметрів дискового робочого органу на поздовжню складову сили тяги, отриману теоретично (2.71), при зміні діаметра робочого органу в межах інтервалу варіювання і різних значеннях швидкості руху агрегату. Отримали залежність зміни горизонтальної складової сили опору, що діє при обробці ґрунту, від діаметра дискового робочого органу (рис. 4.4).

Аналізуючи залежність сили опору ґрунту, що діє на дисковий робочий орган, від діаметра диска, можна констатувати її збільшення при збільшенні діаметру дискового робочого органу.

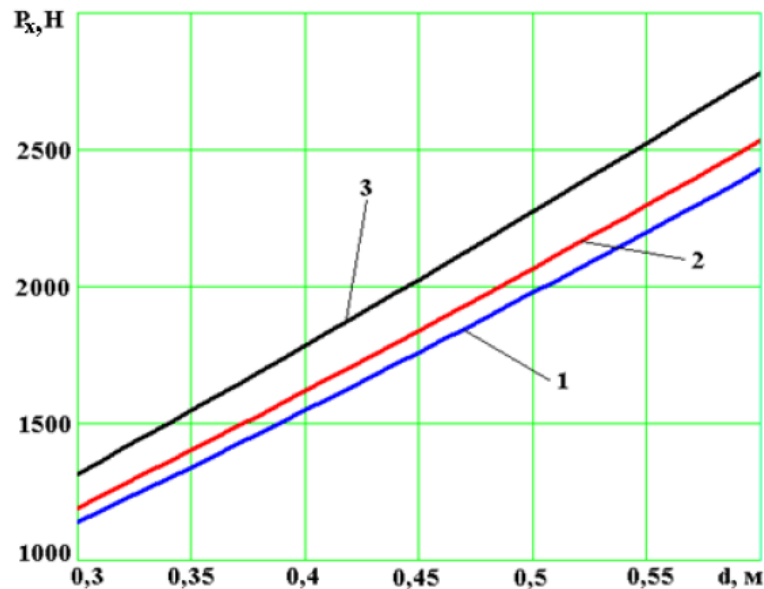


Рис. 4.4 - Залежність горизонтальної складової сили опору, що діє при обробітку ґрунту, від діаметра дискового робочого органу: 1 – при швидкості руху  $v_p = 5,0$  км/год, 2 - при швидкості руху  $v_p = 8,84$  км/год, 3 - при швидкості руху  $v_p = 12,0$  км/год

Для подальшого вивчення впливу факторів на силу опору ґрунту розглянемо вплив швидкості руху агрегату при різних значеннях діаметра дискового робочого органу, включаючи оптимальний.

Отримали залежність (рис. 4.5). З аналізу залежності очевидно збільшення сили опору ґрунту, що діє на дисковий робочий орган, при швидкості руху понад 5 км/год.

Перевірку на адекватність теоретичної залежності з експериментом проводили за критерієм Фішера при оптимальних конструктивних параметрах дискового робочого органу ( $n = 4$  шт і,  $D = 437$  мм) на різних швидкостях, але в межах їх інтервалу варіювання (рис. 4.6).

Для використання в інженерних розрахунках теоретичної залежності (2.71) був визначений поправочний коефіцієнт, що дорівнює 0,7. При цьому за відомою методикою визначено критерій Фішера, що дорівнює 3,11 та, що менше табличного, яке при 5 % -му рівні значущості та ступеня свободи рівної 4 має значення 6,39, що задовольняє умові  $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$  [30, 34].

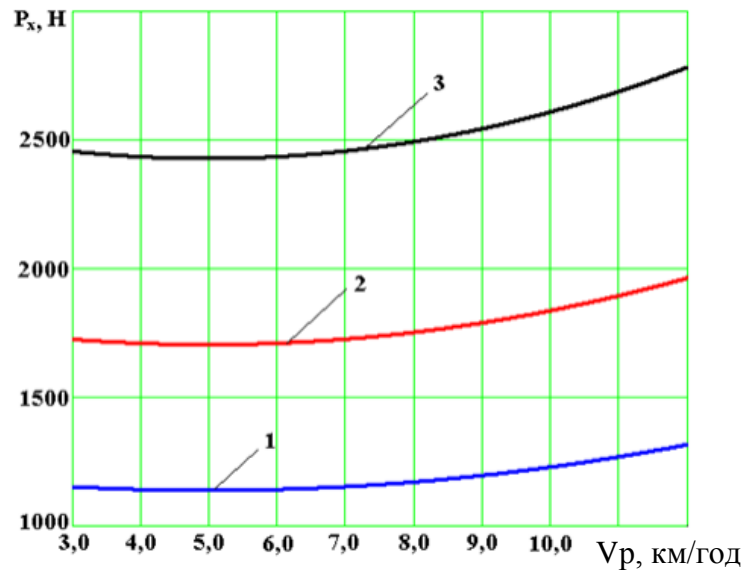


Рис. 4.5 - Залежність горизонтальної складової сили опору, що діє при обробітку ґрунту на дисковий робочий орган, від швидкості руху агрегату: 1 - діаметрі робочого органу 0,30 м, 2 - діаметрі робочого органу 0,437 м, 3 - діаметрі робочого органу 0,60 м

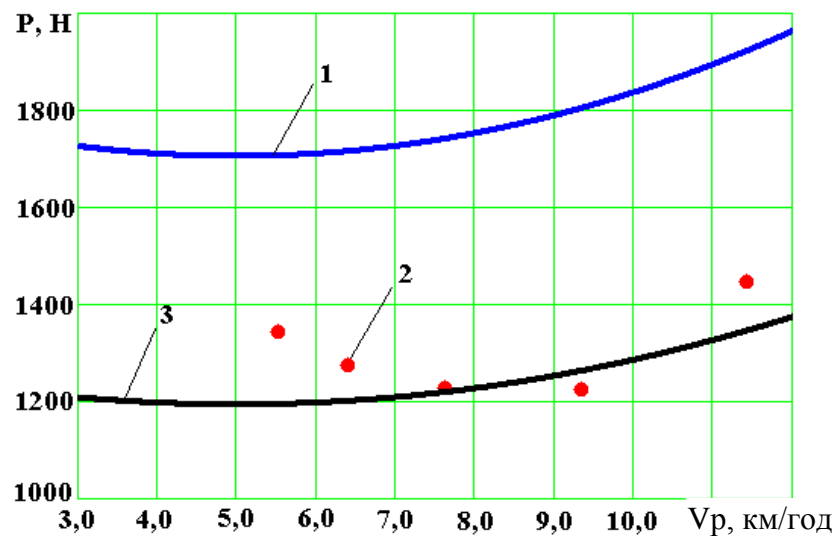


Рис. 4.6 - Порівняння теоретичної залежності з експериментальними даними при оптимальних конструктивних параметрах робочого органу: 1 - теоретична залежність, 2 - значення, отримані при випробуванні робочого органу з оптимальними параметрами, 3 - теоретична залежність з урахуванням поправочного коефіцієнта

Розглянувши алгоритм інженерного розрахунку, ми отримали залежність впливу параметрів дискового робочого органу на поздовжню силу

тяги, а також, порівнявши теоретичну залежність з експериментом, перевірили на адекватність за критерієм Фішера і ввели поправочний коефіцієнт для інженерних розрахунків.

#### 4.4 Порівняльні випробування ґрунтообробних робочих органів

В умовах ринкової економіки, успішно вирішити проблему підвищення врожайності та якості зернових культур, а також зниження собівартості робіт, можна тільки на основі використання досягнень науки і передової практики, застосуванням сучасних машин і знарядь, пристосованих до роботи в умовах конкретних ландшафтних територій.

У зв'язку з цим нами була поставлена задача отримати порівняльні характеристики експлуатаційних і якісних показників ґрунтообробних робочих органів (питомої тягового опору  $K_M$ , витрати палива  $q$ , якості кришення (додатки В).

Для порівняння були взяті експериментальний горизонтально розташований сферичний диск із закріпленими на ньому лопатками, турбодиск фірми Great Plains (США), стрілчата лапа посівного комплексу Бурго (Канада).

З раніше проведених досліджень були взяті оптимальні параметри експериментального горизонтально розташованого сферичного диска із закріпленими на ньому лопатками: число лопаток  $n = 4$  шт, діаметр диска  $D = 0,437$  м, швидкість руху  $v = 8,84$  км/год.

Ширина захвату турбодиска фірми Great Plains становила 0,432 м, стрілчатої лапи посівного комплексу Бурго - 0,310 м.

Експериментальні дослідження проводилися по стерні пшениці. Досліджування виконані на трьох швидкостях, при глибині обробітку 10 см в триразовою повторності.

За даними експерименту побудували графік залежності тягового опору  $K_M$  від робочої швидкості  $v_p$  (рис. 4.7). Результати експерименту по тяговому опору наведені в таблицях 4.5 і 4.6.

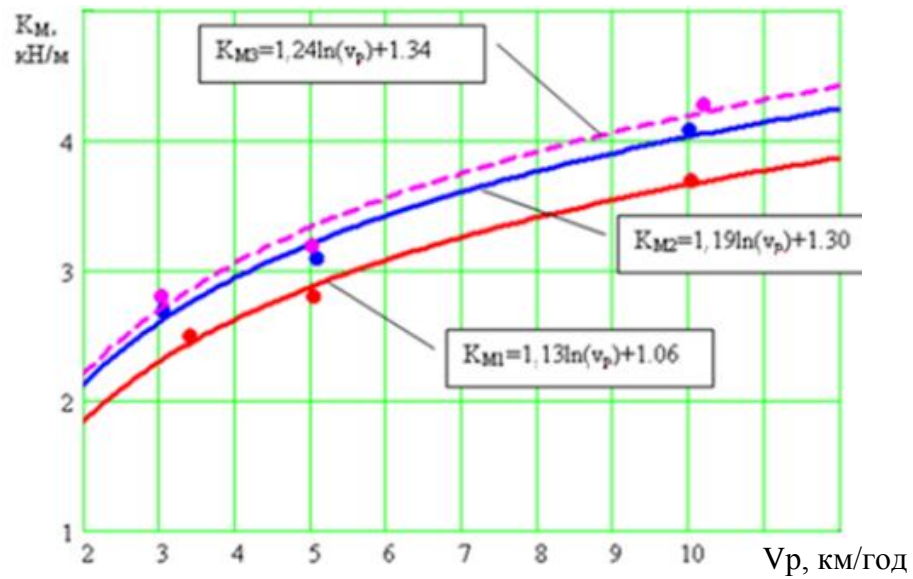


Рис. 4.7 - Графік залежності тягового опору  $K_M$  від робочої швидкості  $v_p$ :  
 1 - сферичний диск з лопатками; 2 - турбодиск; 3 - стрілочата лапа

Таблиця 4.5 - Результати експериментальних досліджень робочих органів по тяговому опору

| Експлуатаційні показники<br>Робочий орган | Робоча швидкість $v_p$ , КМ/ГОД | Тяговий опір $K_M$ , кН/м | НСР <sub>05</sub> по $K_M$ |                |                |
|---|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|----------------|
|   |                                 |                           | 1                          | 2              | 3              |
| 1   | 2                               | 3                         | 4                          | 5              | 6              |
| Експериментальний диск                    | 5,0                             | 2,50                      | -                          | 0,15<br>d> НСР | -              |
|   | 8,5                             | 2,80                      | -                          | 0,11<br>d> НСР | -              |
|   | 12,0                            | 3,70                      | -                          | 0,14<br>d> НСР | -              |
| Турбодиск Great Plains (США)              | 5,0                             | 2,70                      | -                          | -              | 0,16<br>d> НСР |
|   | 8,5                             | 3,10                      | -                          | -              | 0,15<br>d> НСР |
|   | 12,0                            | 4,09                      | -                          | -              | 0,14<br>d> НСР |

## Продовження таблиці 4.5

| 1  | 2    | 3    | 4              | 5 | 6 |
|--|------|------|----------------|---|---|
| Стрілчаста лапа посівного комплексу Бурго (Канада) | 5,0  | 2,80 | 0,27<br>d> НСР | - | - |
|  | 8,5  | 3,20 | 0,15<br>d> НСР | - | - |
|  | 12,0 | 4,28 | 0,24<br>d> НСР | - | - |

Таблиця 4.6 - Статистичні характеристики порівняльних випробувань

| Робочий орган          | Середнє значення X, Н        | Стандартне відхилення S, Н | Помилка вибіркової середньої S <sub>x</sub> , Н | Коефіцієнт варіації, V | Відносна похибка P, % | Абсолютна похибка m, Н |
|------------------------|------------------------------|----------------------------|---|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1                      | 2                            | 3                          | 4   | 5                      | 6                     | 7                      |
| Експериментальний диск | швидкість руху 5,0 км / год  |                            |   |                        |                       |                        |
|                        | 2,5                          | 0,24                       | 0,07  | 9,43                   | 2,98                  | 0,18                   |
|                        | 2,44                         | 0,19                       | 0,06  | 8,01                   | 2,53                  | 0,15                   |
|                        | 2,56                         | 0,21                       | 0,07  | 8,07                   | 2,55                  | 0,16                   |
|                        | швидкість руху 8,5 км / год  |                            |   |                        |                       |                        |
|                        | 2,69                         | 0,24                       | 0,08  | 8,87                   | 2,80                  | 0,18                   |
|                        | 2,76                         | 0,25                       | 0,08  | 9,16                   | 2,89                  | 0,19                   |
|                        | 2,95                         | 0,34                       | 0,11  | 11,44                  | 3,62                  | 0,25                   |
|                        | швидкість руху 12,0 км / год |                            |   |                        |                       |                        |
|                        | 3,17                         | 0,30                       | 0,10  | 9,58                   | 3,03                  | 0,23                   |
|                        | 4,10                         | 0,22                       | 0,07  | 5,27                   | 1,67                  | 0,16                   |
|                        | 2,65                         | 0,37                       | 0,12  | 9,60                   | 3,04                  | 0,28                   |

Продовження таблиці 4.6

| 1                            | 2   | 3                           | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------------------------------|---|-----------------------------|------|------|------|------|
| Турбодиск Great Plains (США) | швидкість руху 5,0 км / год                       |                             |      |      |      |      |
|                              | 2,65  | 0,22                        | 0,07 | 8,20 | 2,59 | 0,16 |
|                              | 2,8   | 0,24                        | 0,08 | 8,75 | 2,77 | 0,18 |
|                              | 2,65  | 0,24                        | 0,07 | 8,94 | 2,83 | 0,17 |
|                              | швидкість руху 8,5 км / год                       |                             |      |      |      |      |
|                              | 2,87  | 0,19                        | 0,06 | 6,58 | 2,08 | 0,14 |
|                              | 3,1   | 0,24                        | 0,08 | 7,90 | 2,49 | 0,18 |
|                              | 3,34  | 0,24                        | 0,08 | 7,27 | 2,29 | 0,18 |
|                              | швидкість руху 12,0 км / год                      |                             |      |      |      |      |
|                              | 4,18  | 0,24                        | 0,08 | 5,84 | 1,85 | 0,18 |
|                              | 3,8   | 0,24                        | 0,08 | 6,33 | 2,00 | 0,18 |
|                              | 4,29  | 0,09                        | 0,03 | 1,99 | 0,63 | 0,06 |
|                              | Стрілчата лапа посівного комплексу Бурго (Канада) | швидкість руху 5,0 км / год |      |      |      |      |
| 2,5                          |   | 0,22                        | 0,07 | 8,84 | 2,80 | 0,17 |
| 2,8                          |   | 0,24                        | 0,08 | 8,75 | 2,77 | 0,18 |
| 3,1                          |   | 0,25                        | 0,08 | 8,19 | 2,59 | 0,19 |
| швидкість руху 8,5 км / год  |   |                             |      |      |      |      |
| 2,69                         |   | 0,22                        | 0,07 | 8,3  | 2,63 | 0,17 |
| 3,1                          |   | 0,24                        | 0,08 | 7,90 | 2,50 | 0,18 |
| 3,81                         |   | 0,23                        | 0,07 | 5,99 | 1,89 | 0,17 |
| швидкість руху 12,0 км / год |   |                             |      |      |      |      |
| 4,36                         |   | 0,21                        | 0,07 | 4,86 | 1,54 | 0,16 |
| 4,20                         |   | 0,24                        | 0,08 | 5,72 | 1,81 | 0,18 |
| 4,28                         |   | 0,07                        | 0,02 | 1,68 | 0,53 | 0,05 |

Агротехнічні показники польових випробувань розглянутих робочих органів представлені в таблицях 4.7 і 4.8.

Таблиця 4.7 - Подрібнення ґрунту при обробці на глибині 10 см

| Робочий орган                             | Зміст фракцій, % |               |               |                | НСР <sub>05</sub> |      |      |
|---|------------------|---------------|---------------|----------------|-------------------|------|------|
|   | 0-2,5<br>см      | 2,6-5,0<br>см | 5,1-7,5<br>см | 7,6-10,0<br>см | 1                 | 2    | 3    |
| Експериментальний диск                    | 80,0             | 12,0          | 8,0           | -              | -                 | 5,02 | -    |
| Турбодиск Great Plains                    | 60,8             | 7,6           | 12,8          | 18,8           | -                 | -    | 5,36 |
| Стрілчаста лапа посівного комплексу Бурго | 74,0             | 6,4           | 10,0          | 9,6            | 2,11              | -    | -    |



Таблиця 4.8 - Агротехнічні показники в польових випробуваннях

| Показник   | Значення показника                    |                              |   |
|--|---------------------------------------|------------------------------|---|
|  | Експериментальний диск                | Турбодиск Great Plains (США) | Стрілчата лапа посівного комплексу Бурго (Канада) |
| Склад агрегату   | МТЗ-1221 + експериментальна установка |                              |   |
| Режим роботи   |                                       |                              |   |
| Швидкість руху агрегату, км/год  | 8,0                                   | 8,0                          | 8,0   |
| Установча глибина обробки, см  | 10                                    |                              |   |
| <b>Показники якості виконання технологічного процесу</b>   |                                       |                              |   |
| Глибина обробітку, см:<br>- стандартне відхилення глибини обробітку, ± см                            | 10<br>0,219                           | 10<br>0,512                  | 10<br>0,623                                       |
| Гребенистість поверхні ґрунту, см  | 1,5                                   | 2,0                          | 2,0   |
| Подрібнення ґрунту, %<br>- розміри фракцій до 25 мм  | 80,0                                  | 60,8                         | 74,0  |
| підрізання бур'янів  | 99,61                                 | 96,67                        | 96,31   |
| Зміст ерозійно-небезпечних частинок до 1 мм в шарі 0 ... 5 см, %:<br>- до обробки<br>- після обробки | 4,6<br>3,6                            | 4,6<br>4,3                   | 4,6<br>4,1  |

Проведені порівняльні випробування показують, що проєктований дисковий робочий орган має більш низький тяговий опір, ніж серійні робочі органи, а також покращує показники якості обробітку ґрунту.

### Висновки з розділу

1. За конструктивними особливостями з урахуванням параметрів знарядь, що випускаються серійно встановлені фактори і їх інтервали варіювання:

- число лопаток 3-5 шт;
- діаметр диска 300-600 мм;

- швидкість переміщення робочого органу 5-12 км/год, згідно з вихідними вимогами на базові технології.

2. Складена матриця планування експерименту за планом типу  $B_k$ .

3. В результаті експерименту отримана математична модель (4.2), що дозволяє виявляти оптимальні конструктивні параметри робочих органів розроблюваних і модернізованих ґрунтообробних машин за мінімальним тяговим опором.

4. Вирішуючи отриману модель (4.2) знайдені раціональні параметри, натуральні значення яких дорівнюють:

- оптимальне число лопаток  $n = 4$  шт;

- оптимальний діаметр диска  $d = 437$  мм;

- оптимальна швидкість руху  $v_p = 8,84$  км / год.

- величина горизонтальної складової сили опору ґрунту становила 2,8 кН/ м.

5. Для вивчення властивостей поверхні відгуку в межах оптимуму були побудовані двовимірні перерізи після проведення канонічного перетворювання отриманої математичної моделі (4.2).

6. Теоретично отримані залежності горизонтальної складової сили опору, що діє при обробітку ґрунту, від діаметра дискового робочого органу (рис. 4.4) і залежність (рис. 4.5) горизонтальної складової сили опору ґрунту від швидкості руху агрегату.

7. Розглянуто алгоритм інженерного розрахунку і отримана залежність впливу параметрів дискового робочого органу на поздовжню складову сили тяги, а також, порівнянням теоретичної залежності з експериментом, перевірена на адекватність за критерієм Фішера ( $F_{\text{факт}}=3,11$ ) і введений поправочний коефіцієнт для інженерних розрахунків, рівний 0,7.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему ґрунтообробного робочого органу у вигляді горизонтально розташованого диска з лопатками і розроблені аналітично-математичні моделі, що оцінюють зусилля впливу робочих елементів диска на ґрунт в залежності від положення дискового робочого органу в просторі і геометричних параметрів його лопаток (формули 2.1 - 2.18 ).

2. Аналітично визначені величини зусиль впливу ґрунту на робочі елементи диска (формули 2.44, 2.45 і 2.71) при різних умовах переміщення його в ґрунті (при значеннях кутів  $\theta = 90^\circ$ ,  $\chi = 85^\circ$ ).

3. Виведені адекватні рівняння регресії, що дозволяють оцінювати зусилля переміщення робочого органу від конструктивних параметрів лопаток і швидкості руху.

4. Встановлено закономірність зміни тягового опору робочого органу і машини в залежності від кількості лопаток, діаметра диска і швидкості руху. Відповідно до отриманого рівняння регресії оптимальний тяговий опір дискового робочого органу 2,8 кН/м, оптимальне число лопаток  $n = 4$  шт, діаметр диска  $d = 437$  мм, оптимальна швидкість руху  $V_p = 84,8$  км/год. Вплив керованих факторів (число лопаток, діаметр диска, швидкість руху) і експериментальні дані по тяговому опору робочого органу відрізняються від теоретичних на 5-6 %, що підтверджує відповідність даних.

5. Показники якості роботи пропонованого дискового робочого органу, отримані в результаті експериментальних досліджень, показують, що на робочій швидкості 8,0 км/год витримується встановлена глибина обробітку (10 см). Стійкість ходу робочих органів ( $\pm 0,219$  см) укладається у вимоги (не більше  $\pm 1,5$  см). Бур'яни підрізають повністю. Якість кришення ґрунту (80 %), що відповідає вимозі (не менше 80 % фракцій до 25 мм), що відповідає СТО АІСТ 4.6-2010.

6. Згідно, отриманим залежностям величина енергоємності процесу обробітку ґрунту пропонованим агрегатом нижче серійного на 29 % і становить 100,4 МДж/га.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (ч. 1) Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. – Харків: Око, 2001. – 444 с.
2. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины [Текст] / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – М.: Агропромиздат, 1989. – 527 с.
3. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Н. И. Кленин, В. А. Сакур. – М.: Колос, 1994. – 751 с.
4. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; Заред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вищаосвіта, 2004. - 544 с.
5. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посібник / М. С. Чернілевський, Ю. А. Білявський, Р. Б. Кропивницький, Л. І. Ворона. – вид. 2-ге, допов. – Житомир: Вид-во «Житомирський національний агроекологічний університет», 2012. – 84 с.
6. Експлуатація машин і обладнання. І.М. Бендера, В.П. Грубий, П.І. Роздорожнюк та ін. / за ред. І.М. Бендери, В.П. Грубого, П.І. Роздорожнюка. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2013.-576 с.
7. Кузнецова, И. В. О разуплотнении почв под влиянием процессов набухания – усадки [Текст] / И. В. Кузнецова, В. И. Данилова // Почвоведение. – 1988. – № 6. – С. 59–70.
8. Медведев, В. В. Объемная характеристика сложения черноземных и темно-каштановых почв в условиях различного сельскохозяйственного использования [Текст] / В. В. Медведев // Почвоведение. – 1973. – № 8. – С. 128–134.
9. Середа Л.П., Чернявський М.М. Моделювання переміщення ґрунту і розміщення рідких біодобрив у ґрунті після операції внесення плоскоріжучим стрілочастим знаряддям. // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Випуск №1 (93), 2016р. – С.112-117.
10. Василенко, П. М. Культиваторы (конструкция, теория и расчет) [Текст] / П. М. Василенко, П. Т. Бабий. – Киев: АНУСР, 1961. – 239 с.

11. Гарькавий А.Д. Машиновикористання у рослинництві. Технологічний регламент використання машин у рослинництві: Навчальний посібник./ А.Д. Гарькавий, Г.М. Калетнік, І.І. Мельник, В.В. Лихочвор, Д.Г. Кондратюк. – В: ВДАУ, 2009. – 160 с.
12. Новітні агротехнології у рослинництві: Підручник / В.Д.Паламарчук, І.С. Поліщук, В.А. Мазур, О.Д. Паламарчук. – Вінниця, 2017. – 602 с.
13. Бельц, А. Ф. Обоснование параметров колебательных процессов в рабочих органах многофункциональных агрегатов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Бельц Алексей Федорович. – зерноград, 2003. – 18 с.
14. Горячкин, В. П. Собрание сочинений [Текст]: в 3-х т. / под ред. Н. Д. Лучинского. – М.: Колос, 1968. – 720 с. – 1 т.
15. Горячкин, В. П. Собрание сочинений [Текст]: в 3-х т. / под ред. Н. Д. Лучинского. – М.: Колос, 1968. – 455 с. – 2 т.
16. Horsch. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.horsch.com/ru/kompanija/mestopolozhenie/horsch-ukraina>
17. Борона дисколапова БДТП «Краснянка». Офіційний сайт ТОВ АГРОМАШ [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://krasnagromash.vn.ua/equipment>
18. Багатофункціональним чизель-культиватором Kuhn Cultimer. Офіційний сайт Kuhn [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kuhn.ua/>
19. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
20. Василенко, П. М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин [Текст] / П. М. Василенко. – Киев: УАСХН, 1960. – 283 с.
21. Нартов, П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия [Текст] / П. С. Нартов. – Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 1972. – 182 с.
22. Вища математика в прикладах та задачах : навч. посіб. / В.М. Дубчак, В.М. Пришляк, Л.І. Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. – 254 с.

23. Сивак Р.І. Короткий курс теоретичної механіки / Р.І. Сивак, І.А. Деревенько. - Вінниця, 2014. - 139 с.
24. Солона О.В. Теорія механізмів і машин: метод. вказівки і завдання на курсовий проект для студ. ф-ту механізації сільського госп. / О.В. Солона; М-во АПУ, ВДАУ. - Вінниця: ВДАУ, 2008. - 46 с.
25. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г. В. Веденяпин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1973. – 100 с.
26. Лисогор В.М. Методологія та організація наукових досліджень в агропромисловому комплексі: [монографія] / В.М. Лисогор, М.П. Єленіч, Ю. Б. Паладійчук ; ред. Г.М. Калетнік ; М-во аграр. політики та прод. України, ВНАУ. - Вінниця: Меркьюрі - Поділля, 2013. - 279 с.
27. Матвійчук В.А. Методологія та організація наукових досліджень : метод. вказівки для проведення практ. з навч. дисципліни для студ. 5 курсу заочної форми навч. ОКР "магістр" за спец. 8.1001010 "Енергетика с.-г. вир-ва" / В. А. Матвійчук, В. В. Явдик ; М-во освіти і науки України, ВНАУ, Ф-т механізації с.-Г., Каф. електротехн. систем, технологій та автоматизації в АПК. - Вінниця: РВВ ВДАУ, Діло, Данилюк В.Г., 2016. - 83 с.
28. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Текст]. – 2011–11–29. – М.: Стандартиформ, 2011. – 28 с.
29. Середа Л.П., Холодюк О.В., Григоришен В.М. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з дисципліни: “Система Машина-Поле”. – Вінниця: ВНАУ – «Тірас». – 2013. – 70 с.
30. Адлер, В. А. Введение в планирование эксперимента [Текст] / В. А. Адлер. – М.: Metallurgia, 1999. – 159 с.
31. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта [Текст] / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979 – 200 с.
32. Руденко, Н. Е. Тензометрическое приспособление для динамометрирования навесных сельхозмашин [Текст] / Н. Е. Руденко, С. П.

Горбачев, К. Д. Падальцин // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 1. – С. 23–24.

33. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры): Учеб. пособие. / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха, И.А. Потяженко. – К.: Вища школа, 1980. – 264 с.

34. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин; 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Колос, 1980. – 168 с.

35. Касандрова, О.Н. Обработка результатов наблюдений [Текст] / О. А. Касандрова, В. В. Лебедев. – М.: Наука, 1970. – 224 с.

36. Серета Л.П. Методичні вказівки з виконання практичних робіт з дисципліни “Методологія та організація наукових досліджень з основами інтелектуальної власності” для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальностей 208 – Агроінженерія і 133 – Галузеве машинобудування денної та заочної форм навчання / Л.П. Серета, О.В. Холодюк, С.А. Шаргородський. – Вінниця, Видавництво ВНАУ, 2020. – 98 с.

37. Цуркан О.В. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів із дисципліни "Основи наукових досліджень" для студентів напряму підготовки 6.050503 "Обладнання переробних і харчових виробництв" денної та заочної форми навчання / О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода, О.С. Ковальчук. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 44с.

38. Методичні рекомендації написання та оформлення дипломних робіт для студентів денної та заочної форм навчання факультету механізації сільського господарства освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» / Серета Л.П, Швець Л.В, Гунько І.В, Пришляк В.М. – Вінниця.: 2015. – 23 с.