

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проекту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Обґрунтування конструкції та параметрів дискового знаряддя для
поверхневого обробітку ґрунту**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-2-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Красіцький Юрій Юрійович

Керівник: _____ Теслюк Геннадій Володимирович

Рецензент: _____

Дніпро – 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

прізвище, ініціали

«07» травня 2025 р

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Красіцькому Юрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Обґрунтування конструкції та параметрів дискового знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту

керівник проєкту Теслюк Геннадій Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від «7» травня 2025 року № 964

2. Строк подання студентом проєкту 07.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту Огляд стану питання в галузі рослинництва та існуючих засобів обробітку ґрунту. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз агрофізичних властивостей ґрунту та способів обробітку. 2. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів дискового робочого органу. 3. Агротехнологічні основи вибору дискових робочих органів та розробка операційно-технологічної карти. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища 5. Техніко-економічні показники дискового знаряддя. Висновки та пропозиції. Література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Огляд конструкцій дискових знарядь (A1). 2. Дискова борона. Кресленик загального виду (A1). 3 Робочий орган. Складальне креслення (A1). 4. Рама знаряддя. Складальне креслення (A2). 5. Вісь (A3). 6. Диск вирізний (A3). 7. Стійка лівостороння (A2). 8. Стійка правостороння (A2). 9. Карта операційно-технологічна (A1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Теслюк Г.В., доцент	06.03.2025	07.06.2025
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		07.06.2025

7. Дата видачі завдання: 07.05.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2025 р.	
2	Технологічний	до 15.04.2025 р.	
3	Конструкційний	до 30.04.2025 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2025 р.	
5	Економічний	до 22.05.2025 р.	
6	Графічна частина	до 05.06.2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Красіцький Ю.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Теслюк Г.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Красіцький Ю.Ю. Обґрунтування конструкції та параметрів дискового знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Метою проекту є розробка та обґрунтування параметрів і характеристик дискової борони для ефективної обробки ґрунтів, з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів, агротехнічних вимог та екологічних аспектів, а також підвищення техніко-економічної ефективності використання сільськогосподарських знарядь через оптимізацію конструкційних і експлуатаційних параметрів.

Здійснено комплексний аналіз агрофізичних властивостей ґрунту та технології його обробітку з урахуванням впливу техногенних факторів. Вивчено перспективи мінімізації обробітку та інноваційні підходи до застосування дискових робочих органів, а також основні їх геометричні параметри. Окремо розглянуто конструктивно-технологічні параметри дискової борони, зокрема теоретичне обґрунтування параметрів дискових робочих органів та їх взаємодії з ґрунтом. Проведено розрахунок сил, що діють на сферичний диск, визначення оптимальних геометричних характеристик та підбір компонентів знаряддя. Також розроблено операційно-технологічну карту для поверхневого обробітку ґрунту та визначено основні агротехнологічні принципи вибору дискових робочих органів. Звернено увагу на охорону праці та екологічні вимоги під час експлуатації техніки. Визначено техніко-економічні показники ефективності використання розробленого дискового знаряддя.

Ключові слова: агрофізичні властивості ґрунту, дискові робочі органи, мінімізація обробітку, агротехнологія, конструктивно-технологічні параметри, операційно-технологічна карта, охорона праці, екологічний захист, техніко-економічні показники, дискова борона.

Зміст

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ АГРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ТА СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ.....	10
1.1 Мінімізації обробітку та вплив техногенного навантаження на зміну агрофізичних властивостей ґрунту.....	10
1.2 Перспективи впровадження нових систем землеробства.....	14
1.3 Аналіз діапазону використання дискових робочих органів і їх основних геометричних характеристик.....	16
1.4 Обґрунтування розроблюваного знаряддя.....	21
1.5 Висновки з розділу.....	22
2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ.....	23
2.1 Теоретичне обґрунтування поверхні дискового робочого органу.....	23
2.2 Обґрунтовування відстані між дисками з урахуванням кута нахилу площини диска до вертикальної площини.....	24
2.3 Аналіз сил, діючих на сферичний диск.....	26
2.4 Визначення геометричних параметрів сферичного диска.....	29
2.5 Компонування експериментальної дискової борони.....	32
2.6 Розрахунок діаметру осі під підшипник та її перевірка на міцність.....	33
2.7 Підбір підшипників кочення.....	35
2.9 Висновки з розділу.....	36
3 АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ ДИСКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ.....	37
3.1 Агротехнологічні основи вибору параметрів дискових робочих органів....	37
3.2 Розробка операційно-технологічної карти поверхневого обробітку ґрунту.....	41
3.2 Висновки з розділу.....	48
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	49

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДИСКОВОГО ЗНАРЯДДЯ.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
БІБЛІОГРАФІЯ.....	57
ДОДАТКИ.....	60

ВСТУП

Одним з важливих кроків у поліпшенні ефективності поверхневого обробітку ґрунту – є удосконалення конструкцій ґрунтообробних знарядь та техніки. Це дозволяє досягти кращої якості обробки, зменшити час виконання робіт, скоротити витрати палива та інших ресурсів. Розвиток сільського господарства напряму залежить від механізації та автоматизації виробничих процесів в галузі та постійного оновлення системи машин, які використовуються для обробітку ґрунту.

Процес створення та впровадження в агровиробництво нових сільськогосподарських машин і знарядь спрямований на реалізацію ключових завдань науково-технічного прогресу. До них належать: забезпечення відповідності технологічним вимогам, підвищення ефективності праці, поєднання кількох технологічних операцій в одному агрегаті за потреби, а також застосування принципово нових технічних рішень для механізації. Досягнення високої урожайності сільськогосподарських культур можливе лише за умов комплексного впровадження науково обґрунтованих зональних систем землеробства, де важливе місце займає раціональна система обробітку ґрунту.

Дискові робочі органи є важливим елементом сучасних ґрунтообробних машин. Вони використовуються у таких знаряддях, як дискові луцильники, борони різної маси (важкі, середні, легкі), садові дискові борони, а також у складі комбінованих агрегатів у вигляді дискових батарей. Вироблений типаж дискових робочих органів не завжди відповідає за-дачам по якісних і енергетичних показниках роботи. Діапазон їхнього застосування дуже великий, тому є необхідність удосконаленні, налаштуваннях та обґрунтуванні робочих параметрів дискових робочих органів для роботи в заданих умовах задля якісного виконання технологічних операцій.

Метою проєкту є розробка та обґрунтування параметрів і характеристик дискової борони для ефективної обробки ґрунтів, з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів, агротехнічних вимог та екологічних аспектів,

а також підвищення техніко-економічної ефективності використання сільськогосподарських знарядь через оптимізацію конструкційних і експлуатаційних параметрів.

Задачі дослідження:

– провести аналіз фізико-механічних властивостей ґрунтів та визначити оптимальну щільність ґрунту для підтримання високих урожаїв і ефективної роботи ґрунтозахисної системи;

– розробити та провести теоретичний аналіз параметрів диска для альтернативної дискової борони, зокрема розрахувати його геометричні характеристики, залежності між кривизною, діаметром та кутами установки, а також визначити оптимальну відстань між дисками для стабільної роботи;

– проаналізувати вплив кута атаки диска та інших параметрів (діаметр, глибина обробітку) на силові характеристики, тяговий опір і ефективність роботи дискових робочих органів;

– розробити операційно-технологічну карту для обробітку ґрунтів, що включає агротехнічні вимоги щодо рівномірності обробітку, глибини, структури ґрунту та вологості;

– оцінити вплив використання еластичних стояків робочих органів на техніко-економічну ефективність роботи дискової борони та визначити економічний ефект від їх впровадження через зниження витрат на пально-мастильні матеріали;

– розглянути заходи щодо забезпечення охорони праці та екологічних стандартів при експлуатації дискової борони для зменшення впливу на навколишнє середовище та забезпечення безпеки працівників.

1 АНАЛІЗ АГРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ТА СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ

1.1 Мінімізації обробітку та вплив техногенного навантаження на зміну агрофізичних властивостей ґрунту

Одним із ключових завдань сучасного землеробства є зменшення негативного механічного впливу ходової частини сільськогосподарської техніки на ґрунт під час його обробітку. Також актуальною залишається проблема зниження витрат, пов'язаних із виконанням цих операцій. На великих масивах земель часто використовуються трактори масою від 8 до 14 тонн. Протягом усього періоду вирощування зернових культур – від підготовки ґрунту до збирання врожаю – техніка проходить по полю від 5 до 15 разів. Таке багаторазове переміщення призводить до ущільнення ґрунту, що нерідко перевищує допустимі агротехнічні норми і знижує його родючість.

Основна мета обробітку ґрунту полягає в покращенні його орного шару, зокрема підтриманні оптимальної щільності, яка для більшості сільськогосподарських культур має бути в межах 1,1–1,3 г/см³ [1, 2]. Слід враховувати, що структура ґрунту змінюється: пухкий ґрунт поступово ущільнюється, тоді як надмірно ущільнений – розпушується, досягаючи характерного для нього рівноважного стану. Об'ємна маса ґрунту значною мірою визначається його типом. Наприклад, у Дніпропетровській області переважають сірі, темно-сірі опідзолені та малогумусні чорноземи, сформовані на лесових відкладах (рис. 1.1) [3], і для них типовий рівень щільності – від 1,1 до 1,25 г/см³.

Підтримання оптимальної щільності сприяє підвищенню врожайності, особливо при мінімальному обробітку. Чорноземи, окультурені опідзолені ґрунти та ґрунти легкого гранулометричного складу мають природну схильність до збереження сприятливої структури. Натомість важкі безструктурні ґрунти вимагають частішого розпушування.

Щорічно на оранку в Україні витрачається близько 3,3 млн тонн

нафтопродуктів, що становить до 40 % загального споживання енергоресурсів та до 25 % трудових витрат.

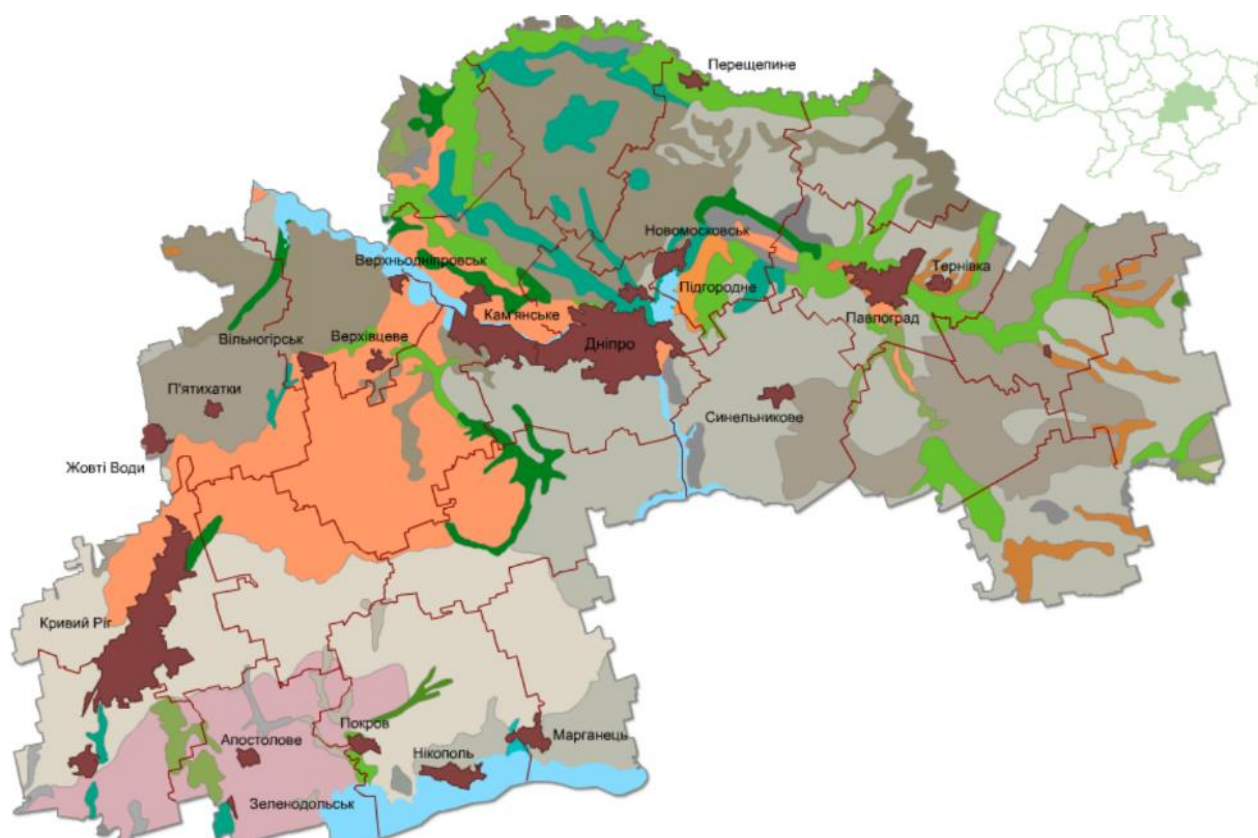


Рисунок 1.1 – Карта ґрунтів Дніпропетровської області України

Наведені дані підкреслюють значущість впровадження мінімального обробітку ґрунту з економічної та організаційно-господарської точки зору. Основна ідея цього підходу полягає у зменшенні кількості проходів техніки по полю та обмеженні глибини обробітку. На полях, вільних від багаторічних бур'янів, особливо на темно-сірих опідзолених, добре окультурених дерново-підзолистих і чорноземних ґрунтах після таких культур, як цукрові буряки, картопля, кукурудза, однорічні трави та зернобобові, замість традиційної оранки під озимі зернові (пшеницю, ячмінь, жито) доцільно застосовувати мілкий обробіток за допомогою дискових агрегатів у поєднанні з важкими зубовими боронами з подвійним проходом або використовувати плоскорізний спосіб із застосуванням голчастої борони БІГ-3 на глибину 10–12 см (рис. 1.2, б).

Для підготовки ґрунту після вищезазначених попередників під ярі та озимі зернові культури рекомендується використовувати дискові борони типів БД-10, ЛДГ-5, БДН-3, БДТ-3, БДТ-7, а також плуги-луцильники ПЛН-5-25, ППЛ-10-25 або плоскорізи КПП-2,2, КПГ-250, КПБ-5. Подальші агротехнічні операції за необхідності виконують культиваторами КПС-4 з частими лапами, боронами типу БІГ-3, БІГ-3А, а також комбінованими агрегатами РВК-3,6 та РВК-5,4.



а)

б)

Рисунок 1.2 – борона БІГ-3 (а) та голчаста борона БІГ-3А (б)

У сучасних умовах усе ширше впроваджується мінімальний обробіток ґрунту під проміжні посіви, які використовуються для отримання додаткового корму або як сидеральне добриво. Після збирання озимих культур (зокрема, озимого жита, ріпаку, сумішок) на зелений корм, необхідно невідкладно переходити до підготовки ґрунту для післяукісних посівів. Для цього доцільно застосовувати агрегати поверхневої дії, наприклад, БДТ-3, БДТ-7 у комбінації з зубовими боронами, плуги-луцильники типу ПЛ-5-25, ПЛ-10-25, плоскорізи КПП-2,2, а також чизельні плуги ПЧ-2,5, ПЧ-4,5 разом із боронами типу БІГ-3 та БІГ-3А.

Одним із перспективних напрямів у зниженні інтенсивності обробітку ґрунту є використання комбінованих агрегатів, які здатні виконувати декілька технологічних операцій одночасно – зокрема, внесення добрив, обробіток ґрунту та сівбу. Водночас застосування таких машин потребує потужної енергетичної бази.

Урахування ущільнення ґрунту робочими органами машин і утворення в результаті брил дозволяє сформулювати два важливі наслідки:

1. Після основного обробітку подальше подрібнення грудок створює структурний шар, що складається з уламків більшої об'ємної маси, ніж вихідний ґрунт. Це спричиняє зростання рівноважної щільності в орному шарі після усадки, що підтверджено низкою досліджень [1, 2, 4, 8].

2. Через нерівномірний розподіл навантаження в структурі брил, що утворюються, формується неоднорідний за щільністю орний шар. Подальше подрібнення поглиблює варіації об'ємної маси, збільшуючи її дисперсію.

Таке підвищення як середнього рівня щільності, так і її варіативності в верхньому шарі ґрунту при тривалому інтенсивному обробітку призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур [1, 2].

Ущільнення негативно впливає на водно-фізичні характеристики ґрунту – зокрема, зменшується його вологоємність, знижується швидкість поглинання вологи та водопроникність. Наприклад, при вирощуванні кукурудзи на ущільнених ділянках вологозапас у шарі 0–50 см може бути нижчим на 3–10 мм протягом усього вегетаційного періоду. Це свідчить про підвищену схильність ґрунтів до посушливих умов, особливо за несприятливої погоди.

Крім того, надмірне механічне втручання в ґрунт руйнує його агрегатну структуру, що сприяє розвитку ерозійних процесів. Результатом ущільнення і ерозії стає порушення екологічного балансу ґрунтових екосистем та значне зниження вмісту гумусу. Процес дегуміфікації охопив майже всі регіони, де ведеться землеробство. Щорічні втрати гумусу в орних ґрунтах України становлять 0,4–0,6 т/га [2]. Якщо раніше типові чорноземи містили 9–10 % гумусу, то на сьогодні цей показник зменшився до 4–5 % [2].

З огляду на це, виникає нагальна потреба у створенні таких технологій обробітку та комплексу знарядь, які б мінімізували ущільнення ґрунту та сприяли відновленню його родючості.

1.2 Перспективи впровадження нових систем землеробства

Землеробство завжди базувалося на постійному розширенні та залученні нових земель в обробіток. Ця стратегія землекористування, яка сформувалася в Україні, дозволила їй зайняти лідируючу позицію за відсотком орних земель. Однак, внаслідок таких дій, майже на всій території сільськогосподарських угідь почали проявлятися ознаки деградації ґрунтів. В Україні частка орних земель становить майже 60%, тоді як в Угорщині цей показник лише 37%, у Франції близько 48%, а в США – 25% [2]. Особливо схильні до негативного антропогенного впливу ріллі, тому їм приділяється основна увага.

Сучасні ландшафти аграрного спрямування обробляються в рамках самовідновлювальної системи землеробства, яка поєднує елементи попередніх систем, визнаних найбільш ефективними та раціональними. Концепція цієї системи передбачає комплекс заходів, включаючи організаційні та агротехнічні методи ведення господарства. Вона орієнтована на максимальне використання науково обґрунтованих технологій, біопрепаратів, симбіотичних мікроорганізмів та природних і синтетичних стимуляторів росту, при цьому зменшується механічний вплив на ґрунт.

Для належної оцінки необхідно розглядати сучасні умови ведення землеробства та складові цієї системи (рис. 1.3). Аналіз ефективності виробництва доцільно здійснювати з урахуванням впливу механічного обробітку на ґрунт. В умовах розвитку техніки було створено потужні трактори та знаряддя (плуги, культиватори, борони), здатні працювати на значну глибину. Проте, інтенсифікація механічного обробітку призводить до порушення макроструктури ґрунту, що негативно позначається на врожайності та стимулює ерозійні процеси.



Рисунок 1.3 – Складові системи землеробства

Використання більш потужної та важкої техніки призводить до зростання механічного навантаження на ґрунт. За останні роки маса самохідних зернозбиральних комбайнів на один метр ширини захвату зросла більш ніж на 1,5 рази.

Сучасні технології обробітку сільськогосподарських культур передбачають численні проходи машинно-тракторних агрегатів по полях. Наприклад, поле озимої пшениці обробляється мінімум два рази, а поле цукрового буряку – 5-6 разів. Збільшення інтенсивності вирощування культур вимагає підвищення кількості проходів техніки, що, у свою чергу, збільшує механічний вплив на ґрунт (рис. 1.4). Багаторазові проходи важкої сільськогосподарської техніки призводять до ущільнення ґрунтів, що негативно впливає на їх агрофізичні властивості і знижує врожайність.

Таким чином, ущільнення ґрунтів є однією з основних причин активізації ерозійних процесів. Зменшення пористості ґрунту погіршує повітрообмін, що має суттєвий вплив на життєдіяльність коренів рослин, а в результаті – на всю рослину, знижуючи загальний рівень родючості ґрунтів.



Рисунок 1.4 – Результати впливу ходових систем тракторів і машин на ґрунт та його щільність.

1.3 Аналіз діапазону використання дискових робочих органів і їх основних геометричних характеристик

Дискові борони, луцильники та комбіновані знаряддя з сферичними дисками виготовляються як вітчизняними, так і міжнародними компаніями, такими як Massey Ferguson, Krause, Rasol, John Deere, Kverneland, Gard, RAU та іншими [5,8,11,12]. Більшість з цих знарядь мають двостежкову конструкцію. Пропорція причіпних та начіпних знарядь серед виробників зазвичай є рівною. На рисунках 1.5 – 1.12 показані найпоширеніші дискові знаряддя, які отримали популярність останнім часом. Дискові інструменти можуть комплектуватися круглими або вирізними дисками, а також їх поєднанням в одній батареї, де чергуються круглі і вирізні диски. Зазвичай батареї з вирізними дисками розміщуються попереду, а з круглими — ззаду.

Особливу увагу слід звернути на різницю в масі борін: від 0,5 т (фірма Kverneland - рисунок 1.5) до 5 т (фірма Krause - рисунок 1.9), що визначає навантаження на диски. Від конструкції диска та його розміру залежить тип знаряддя: це можуть бути дискові борони, луцильники або знаряддя типу диск-чизель. Дискові батареї, які встановлюються перед чизельними робочими органами, мають незалежну підвіску, що дозволяє копіювати рельєф поля.



Рисунок 1.5 – Дискові знаряддя Kverneland DTB (Норвегія)

Зазвичай ріжуча кромка дисків має рифлену або вирізну поверхню, що покращує здатність перерізати ґрунт та стерньові залишки. Діаметр дисків варіюється від 508 до 610 мм, а відстань між ними коливається від 150 до 229 мм.



Рисунок 1.6 – Дискова борона фірми Massey Ferguson 1436

Дискові знаряддя фірми Catros (рис. 1.8) приділяють особливу увагу мобільності агрегатів, що забезпечує стабільність руху та не дозволяє виходити за межі дозволених габаритів. Ці машини призначені для неглибокого поверхневого обробітку ґрунту після збору врожаю.

Борони KUHN Krause Class (рис. 1.9) забезпечують універсальну роботу з різноманітними ґрунтами і пожнивними залишками, а їх конструкція з покращеними зварними швами підвищує міцність і надійність. Пружинні

регульовані шкребкові вузли ефективно очищають знаряддя в різних польових умовах.



Рисунок 1.7 – Дискове знаряддя фірми RAU ONYX



Рисунок 1.8 – Дискове знаряддя фірми Catros 5001.



Рисунок 1.9 – Багатоцільові тандемні борони KUHN Krause Class II 8220

Вітчизняні аналоги, як-от дискові борони БДТ-7, БДТ-3, БДТ-6, БДН-1.3 до 2.2, які виготовляються в Україні, здебільшого повторюють закордонні конструкції. Останні моделі, такі як "Дископак Д-3" від ТОВ "Краснянське СП "Агромаш" (рис. 1.12), є сучасними версіями.



Рисунок 1.10 – Дисковий розпушувач Krause 4880 Land Builder



Рисунок 1.11 – Дискові робочі органи в складі комбінованого агрегату моделі 2211-9 Landoll (США)

У зв'язку з широким застосуванням дискових робочих органів у технологічних схемах обробітки ґрунтів, виникає необхідність у методиці вибору знарядь для різних ґрунтово-кліматичних умов. Дискові знаряддя повинні забезпечувати високу якість роботи при мінімальній енергоємності обробітки, що не завжди можливо досягти за допомогою існуючих конструкцій,

особливо на сірих, темно-сірих опідзолених і малогумусних чорноземах, характерних для Поділля України.



Рисунок 1.12 – Дискове знаряддя підприємства ТОВ "Краснянське СП
"Агромаш" «Дископак Д-3»

Аналіз взаємодії дискових робочих органів з ґрунтом показує, що основними факторами є радіус сфери диска (R), діаметр диска (D) та параметр D/n , де n — кількість вирізів або зубів на диску. Ширина зуба змінюється залежно від механіки контактної взаємодії (рис. 1.13).

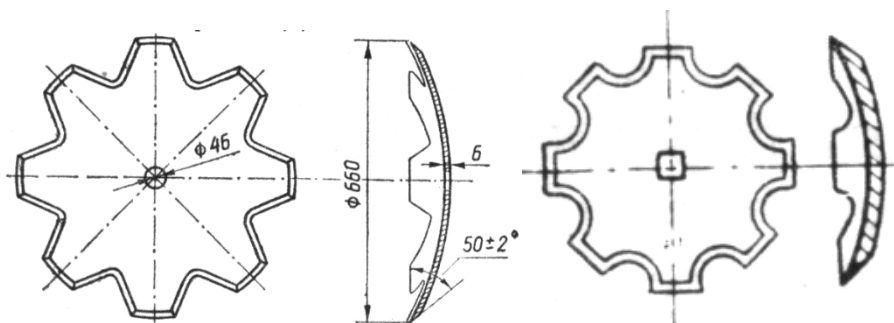


Рисунок 1.13 – Варіанти форми вирізів дисків

Звертається особлива увага на питоме навантаження на диск, оскільки цей параметр визначає глибину ходу дискових робочих органів. Наприклад, у фірми

RAU питоме навантаження на диск коливається від 86 до 120 кг, а у Kverneland – від 58 до 102 кг.

1.4 Обґрунтування розроблюваного знаряддя

Для суцільного обробітку ґрунту широко використовується човниковий метод переміщення дискових знарядь. Рекомендована робоча швидкість становить 8-15 км/год. Диски розташовуються під певним кутом до поверхні ґрунту, що дає такі переваги:

- Завдяки комбінації кута атаки та конструкції дисків, формується ефект підрізаючого леза, що дозволяє ефективно підрізати, подрібнювати та перемішувати рослинні залишки навіть на малій глибині (в окремих моделях до 5 см);
- При роботі на більшій глибині (до 10-16 см, залежно від моделі та ґрунтових умов), кожен диск працює подібно до полиці плуга, що дозволяє використовувати таке знаряддя для оранки. Однак, на відміну від нерухомих лемішів плуга, обертальний рух дисків зменшує тертя з ґрунтом, що веде до зменшення тягового опору, економії пального та уповільнення зношення робочих елементів.

Кожен диск розташовують на окремій стійці, що запобігає забиванню міждискових проміжків при великій кількості довго стеблових рослин. Конструкція знаряддя забезпечує високу стабільність при роботі на схилах та сухих ґрунтах. При обробці ґрунтів на зелені добрива, загортання довго стеблових рослин стає важким завданням для традиційних дискових борін, але для цієї машини – звичайним процесом.

Базовою конструкцією для дискового знаряддя запропоновано культиватор LEMKEN Rubin 9, адаптований до конкретних ґрунтових умов та тягового класу енергетичного засобу.

1.5 Висновки з розділу

У розділі також проведено аналіз найбільш поширених типів ґрунтів, що зустрічаються на території Дніпропетровської області, та їх фізико-механічних властивостей. Основними ґрунтами є сірі, темно-сірі опідзолені та малогумусні чорноземи на лісових породах. Для забезпечення високих урожаїв і підтримання ґрунтозахисної системи в аграрному виробництві на цих ґрунтах потрібно підтримувати щільність ґрунту в межах $1,1 \text{ г/см}^3$ і не перевищувати $1,25 \text{ г/см}^3$.

Також було проведено аналіз перспективних сучасних засобів для поверхневого обробітку ґрунту, визначено їх недоліки та визначено напрямки вдосконалення конструкцій для зниження інтенсивності обробітку при досягненні високих якісних показників.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРґАНУ

2.1 Теоретичне обґрунтування поверхні дискового робочого органу

Сферичні диски використовують для виконання різноманітних операцій з обробки ґрунту. Зміна впливу дисків на ґрунт досягається шляхом варіювання їх кривизни та діаметра, а також за рахунок встановлення осей обертання під певними кутами до напрямку руху агрегату та специфічного розташування дисків [6, 8].

Вибір параметрів не є довільним – для кожної технологічної групи дискових робочих органів існують оптимальні діапазони значень, визначені практичним досвідом. Окрім того, деякі параметри мають функціональні зв'язки, що означає: встановлення одного з них автоматично впливає на допустимі значення інших.

Діаметр диска і його кривизна (рис.2.1.) зв'язаний співвідношенням:

$$D=2R\sin\psi \quad \text{або} \quad R=\frac{D}{2\sin\psi} \quad (2.1)$$

де D – діаметр диска; R – радіус кривизни; 2ψ - кут при вершині сектора.

Діаметр диска вибирається відповідно до заданої глибини обробки ґрунту і визначається виразом:

$$D=k a \quad (2.2)$$

де a – глибина обробки; k – коефіцієнт, значення якого для різних груп знарядь змінюється від 8 до 3.

Кут установки дисків α і кут ψ (рис. 2.1) зв'язані наступною залежністю:

$$\alpha=\psi+\gamma; \quad \alpha=\psi+\iota+\varepsilon \quad (2.3)$$

де γ – кут різання; ψ – кут загострення леза; ε – задній кут різання.

Для нормальної роботи ріжучої кромки диска необхідно забезпечити відповідне позитивне значення заднього кута різання. Недотримання цієї умови

в дискових знаряддях, як вже наголошувалося призводить до негативних наслідків. Тому правильний вибір кута ε має велике значення.

Товщина дисків не може бути визначений розрахунком на міцність і вибирається відповідно до апробованих практикою розмірів. Вивчення існуючих конструкцій дозволило встановити для вибору товщини δ сферичних дисків проста емпірична залежність:

$$\delta = 0,008D \text{ (в мм)}$$

для дисків, призначених для нормальних умов, і:

$$\delta = 0,008D + 1 \text{ (в мм)}$$

для дисків, призначених для важких умов роботи.

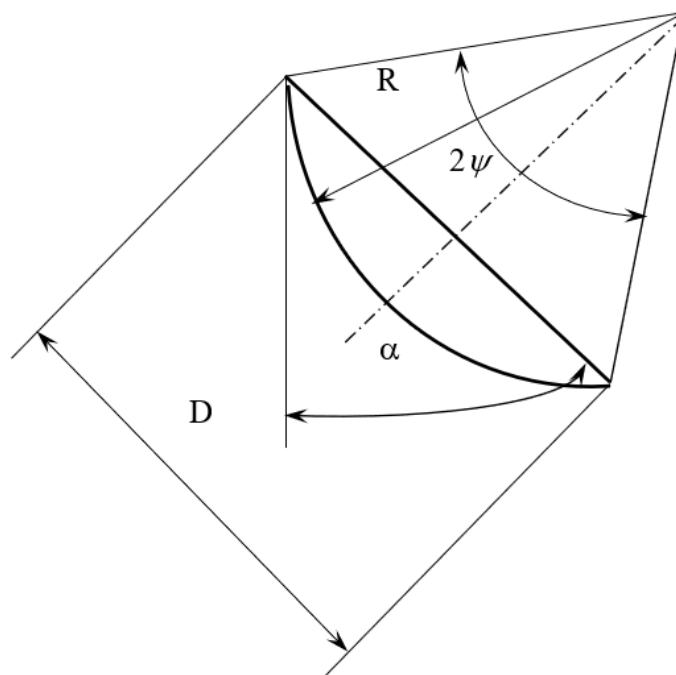


Рисунок 2.1 – Геометричні параметри сферичного диска

2.2 Обґрунтування відстані між дисками з урахуванням кута нахилу площини диска до вертикальної площини

Форма диска зумовлює отримання дна жолоба борозни (рис. 2.4). Висота гребнів дна борозни залежить від кута встановлення – α і відстані між суміжними дисками – b .

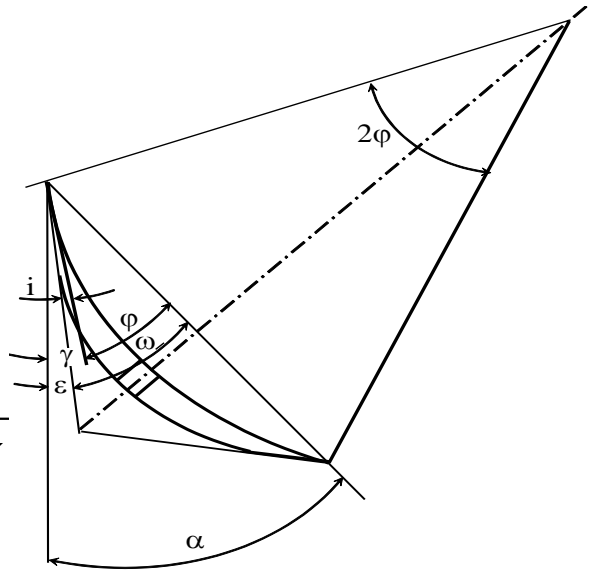
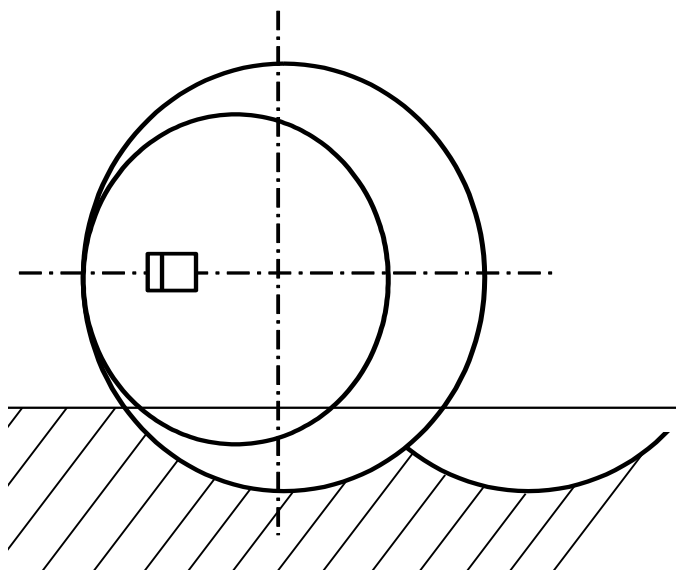


Рисунок 2.2 – Геометричні елементи в екваторіальному перетині вертикального сферичного диска

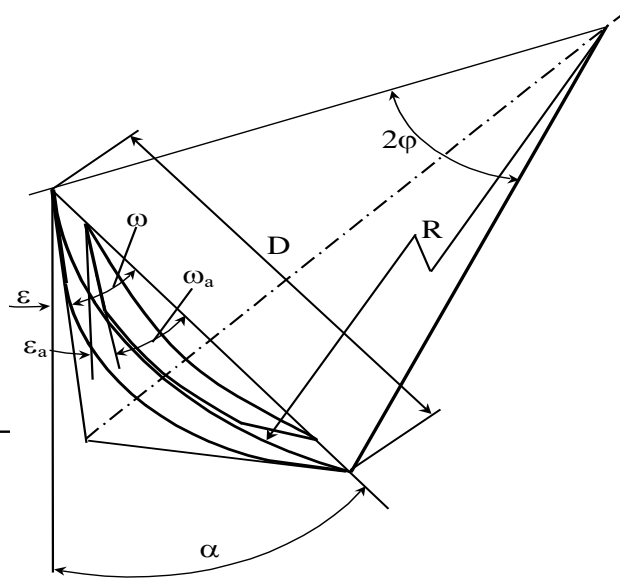
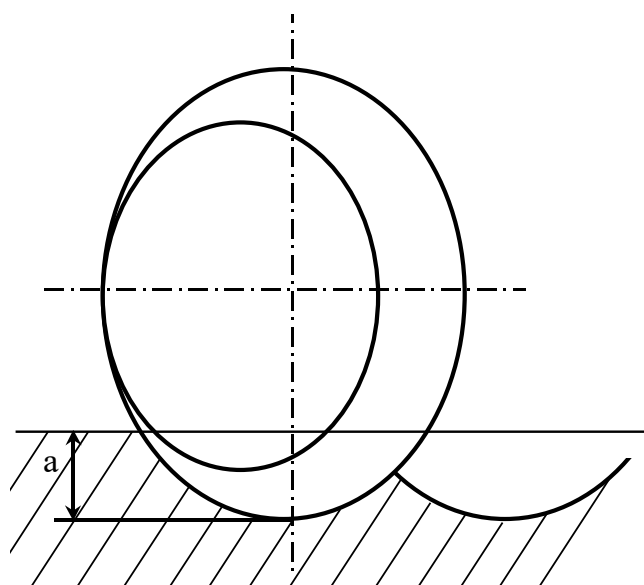


Рисунок 2.3 – Геометричні елементи в різних площинах перетину вертикального сферичного диска

Для знарядь, диски яких мають похилу вісь обертання маємо:

$$b \cos \alpha - e \sin \alpha = D_c \sin \alpha \text{ або } D_c = b \operatorname{ctg} \alpha - e \tag{2.4}$$

де e – відстань між осями обертання дисків; D_c – середнє пропорційне між D - c і z (рис. 2.4), можемо записати:

$$D_c = 2\sqrt{c(D - c)}. \tag{2.5}$$

зробивши поправку для c на кут β отримаємо:

$$D = \frac{D_c^2}{4c} + \frac{c}{\cos\beta}$$

Після підстановки D_c у вираз (2.4), отримаємо:

$$b = \left[2\sqrt{\frac{c}{\cos\beta} \left(D - \frac{c}{\cos\beta} \right)} + e \right] \operatorname{tg}\alpha. \quad (2.6)$$

Таким чином, чотири величини – b , D , c і α – виявляються зв'язаними між собою функціональною залежністю.

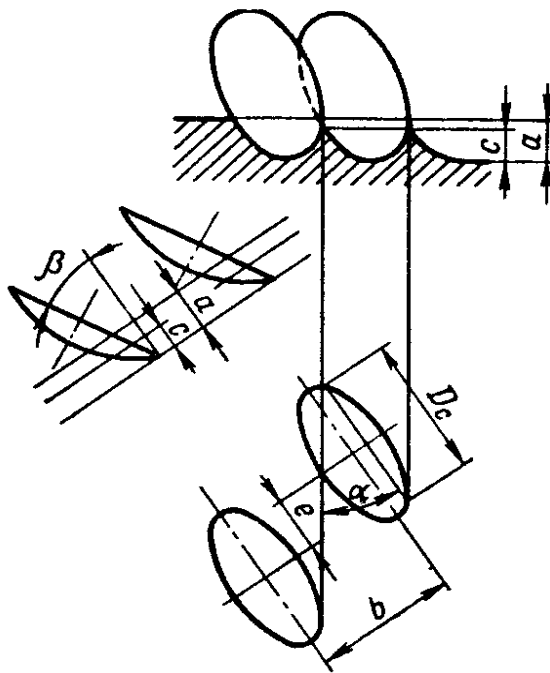


Рисунок 2.4 – Профіль dna борозни дискового плуга

2.3 Аналіз сил, діючих на сферичний диск

Аналіз сил, діючих на сферичний диск, доцільно почати з розгляду роботи диска з нескінченно великим радіусом кривизни, тобто з плоского диска, поставленого під кутом α до напрямку руху [6].

Реактивний опір ґрунту, здоланий плоским диском, складається з опору на лезі диска, сил тертя, що виникають на бічній поверхні диска, і тиск пласта на

бічну поверхню диска. Два перші види реактивних опорів ґрунту приводяться до сили, що лежить в площині обертання диска. Своєю бічною поверхнею диск сколює ґрунт і зміщує його у бік. Реактивний тиск ґрунту на бічну поверхню диска може бути розкладений на силу N , нормальну до поверхні диска, і силу, що лежить в площині обертання диска. Остання, в результаті складання з сили тертя на бічну поверхню диска і з сили опору на лезі, приводиться до результуючої, що проходить через вісь обертання диска.

Таким чином, дія на диск реактивних сил опорів ґрунту може бути представлена двома силами: силою R , лежачою в площині диска, що проходить через його центр обертання, і силою N , нормальною до бічної поверхні диска. Як точка прикладення сили N може бути прийнятий центр тяжіння Z сегменту, відповідного зануреної в ґрунт частині диска (рис. 2.5).

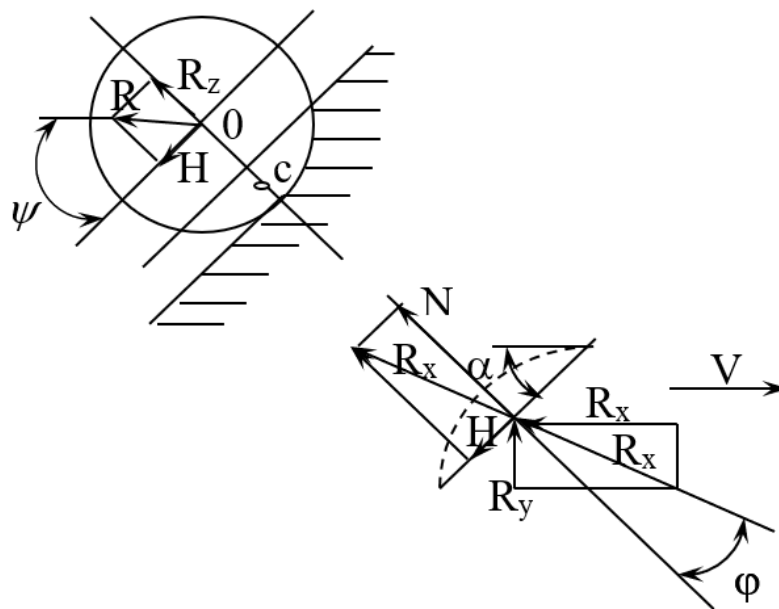


Рисунок 2.5 – Схема сил, діючих на диск, поставлений під кутом α до напрямку руху

Для багатьох розрахунків і побудов виявляється доцільною заміна сил R і N їх проекціями на координатні осі, тобто силами R_x , R_y , R_z (рис. 2.5). Так для розрахунків дискових машин бажано використовувати безрозмірні коефіцієнти $n=R_y/R_x$ і $m=R_z/R_x$, по яких при вибраному значенні тягового опору R_x можуть бути знайдені значення всіх величин. Тому однією з основної мети

просторового динамометрування є подальше накопичення досвідчених даних для уточнення значень коефіцієнтів n і m , а також отримання значень коефіцієнта $c = N/R_x$.

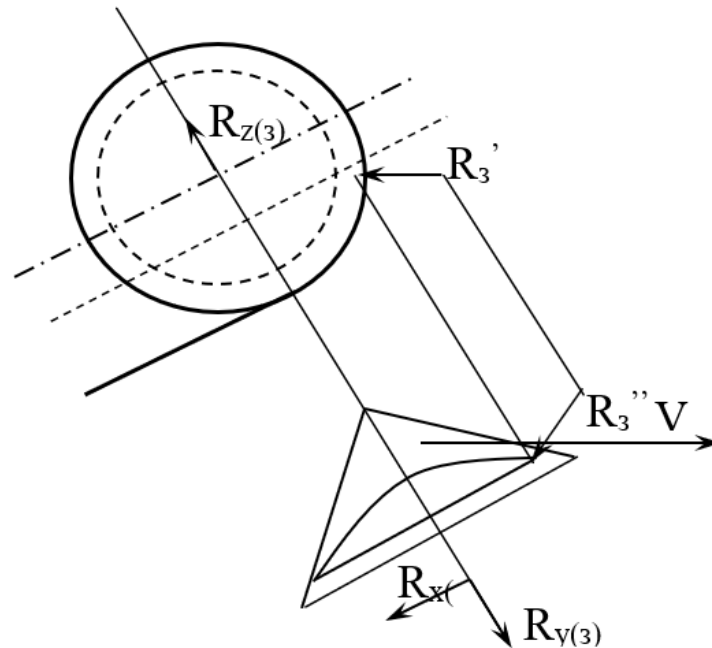


Рисунок 2.6 – Схема дії реактивних сил, що виникають за наявності "потилиці" леза диска

Припустимо, що елементарні реактивні опори ґрунту зім'яло "потилицею" леза диска приводяться до рівнодіючої R_z , проекції якої на відповідні осі координат позначимо $R_{x(3)}$, $R_{y(3)}$, $R_{z(3)}$ (рис. 2.6). Результат сумісної дії на диск реактивних опорів ґрунту з боку його робочої поверхні і з боку «потилиці» леза може бути визначений складанням сил R_x , R_y , R_z і сил $R_{x(3)}$, $R_{y(3)}$, $R_{z(3)}$:

$$\sum X = R_x + R_{x(3)};$$

$$\sum Y = R_y - R_{y(3)};$$

$$\sum Z = R_z - R_{z(3)}.$$

Таким чином, наявність тиску "потилиці" заточування леза диска на стінку борозни супроводжується збільшення тягового опору R_x і вертикальної реакції R_z , що виштовхує диск з ґрунту, і зменшення бічної сили R_y .

При роботі дискових борін, що проводять розрізання окремих глиб і пластів ґрунту, а не відділення стружки від моноліту, взаємодія з поверхнею лека має менш шкідливі наслідки, ніж при роботі плугів і луцильників [7, 12].

2.4 Визначення геометричних параметрів сферичного диска

Згідно з теоретичними основами, які викладені вище матимемо:

Для заданої глибини обробітку $a=160$ мм і k приймаємо рівним 3,4 діаметр диска D , мм знайдемо з формули (2.2):

$$D = 150 \times 3.4 = 510 \text{ мм}$$

Кут δ_a в перерізі диска горизонтальною площиною на відстані a від дна борозни визначу за формулою (2.3) :

$$\delta_a = \alpha - \varepsilon_a$$

де α приймаю 30° для досягнення позитивного значення кута δ_a

$$\delta_a = 30 - 2 = 28^\circ$$

Значення кута δ в екваторіальному перерізі диска визначається за формулою:

$$\delta = \arctg \frac{k \cdot \tg \delta_a}{2 \cdot \sqrt{k-1}} \quad (2.7)$$

$$\delta = \arctg \frac{3.4 \cdot \tg 28^\circ}{2 \cdot \sqrt{3.4-1}} = 30^\circ 16'$$

За формулою

$$\psi = \delta - i, \quad (2.8)$$

де i – кут загострювання, $i = 10 \dots 25^\circ$

Визначимо кут ψ :

$$\psi = 30^\circ 16' - 10^\circ = 20^\circ 16'$$

Після підстановки значень кута ψ та діаметра диска D у формулу (2.1), можна обчислити радіус сферичної поверхні R :

$$R = \frac{510}{2 \cdot \sin 20^{\circ}16'} = 735\text{мм}$$

Товщину δ сферичних дисків визначимо із емпіричної залежності:

$$\delta = 0,008D + 1$$

для дисків, призначених для важких умов роботи.

$$\delta = 0,008 \cdot 510 + 1 = 5,08\text{мм},$$

приймаємо $\delta=5\text{мм}$

Відстань між дисками у складі альтернативної борони визначимо із формули (2.6) :

$$b = \left[2 \sqrt{\frac{0,45 \cdot 150}{\cos 15^{\circ}} \left(510 - \frac{0,45 \cdot 150}{\cos 15^{\circ}} \right) + 0} \right] \text{tg} 30^{\circ} = 202,5\text{мм}$$

З урахуванням вимог, які були викладені в розділі 2.4 та формули 2.6 маємо:

$$b = 1,5 \cdot 150 = 225\text{мм}$$

приймаємо $b=400\text{мм}$ та двухслідну альтернативну дискову борону.

Таким чином, знайдено всі оптимальні геометричні параметри сферичного диска для заданих умов роботи, при установці диска на альтернативну борону.

Але виникає питання про стійкість переміщення дискових робочих органів по глибині. Стійкість переміщення дискових робочих органів по глибині настає при співвідношенні R до D - 1,10...1,60. В нашому випадку:

$$R/D = 735/510 = 1.44$$

Таким чином є припущення, що дане знаряддя матиме стабільний хід по глибині.

Для випадку руху частинки ґрунту по сферичній поверхні диска зовнішньою силою, діючою на матеріальну крапку буде сила P_n – сила підпору пласта, яку можна визначити з умови пропорційності зусилля об'єму ґрунту, що деформується:

$$P_n = R_x = qV, \quad (2.9)$$

де q - коефіцієнт об'ємного стиснення ґрунту кН/см³; V – об'єм зім'ятого ґрунту см³ (рис 2.10)

$$V = V_I + V_{II} + V_{III}, \quad (2.10)$$

де V_I -об'єм зрізаної частини зрізаного конуса, см³ (рис.2.9); V_{II} -об'єм відрізка циліндра „копито”, см³ (рис.2.9); V_{III} -об'єм половини сегмента, см³ (рис.2.9).

$$V_I = \left(\frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + rR) - \frac{1}{3} H (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}) \right) \frac{1}{3} \quad (2.11)$$

$$V_I = \left(\frac{1}{3} \cdot 3.14 \cdot 21.2 (22.5^2 + 22.5 \cdot 7.5 + 7.5^2) - \frac{1}{3} \cdot 21.2 (508 + 177 + \sqrt{508 \cdot 177}) \right) \frac{1}{3} =$$

$$= 3095,4 \text{ см}^3$$

$$V_{II} = h R^3 \left[\sin \alpha - (\sin^3 \alpha) \right] \frac{1}{3} - \alpha \cos \alpha \Big|_{\frac{1}{b}} \quad (2.12)$$

$$V_{II} = 3.88 \cdot 22.5^3 \left[\sin 48.6^\circ - (\sin^3 48.6^\circ) \right] \frac{1}{3} - 0.85 \cdot \cos 48.6^\circ \Big|_{\frac{1}{15}} = 142.9 \text{ см}^3$$

$$V_{III} = \left(\pi h \left(R - \frac{h}{3} \right) \right) \frac{1}{2} \quad (2.13)$$

$$V_{III} = \left(3.14 \cdot 5.5^2 \left(30 - \frac{5.5}{3} \right) \right) \frac{1}{2} = 1338 \text{ см}^3$$

$$V = 3094.5 + 142.9 + 1338 = 4575.4 \text{ см}^3$$

$$P_n = R_x = 4575.4 \cdot 60 \cdot 10^{-2} = 2750 \text{ Н}$$

По орієнтовно знайденої величині R_x визначимо інші сили, що діють на диск:

$$R_z = R_x m, \quad (2.14),$$

$$R_y = R_x n, \quad (2.15)$$

де m, n – коефіцієнти, $m=0.45, n=0.91$ (для луцильників при $D=510\text{мм}, \alpha=30^\circ$, які можуть бути використані при розрахунках диска із кутом β) [41].

$$R_z = 2750 \cdot 0.45 = 1237.5 \text{ Н}, \quad R_y = 2750 \cdot 0.91 = 2502.5 \text{ Н}$$

Якщо відомими є сили R_x, R_y, R_z , а шуканими $-R$ і N , то по рис.2.5 знайдемо

$$R'_{xy} = R_x \cos \alpha - R_y \sin \alpha \quad (2.16)$$

$$R_{xy} = 2750 \cos 30^0 - 2502.5 \sin 30^0 = 1130.3 \text{ Н}$$

$$R = \sqrt{R_z^2 + R_{xy}^2}, \quad N = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 - R_{xy}^2}, \quad (2.17), (2.18)$$

$$R = \sqrt{1237.5^2 + 1130.3^2} = 1676 \text{ Н}, \quad N = \sqrt{2750^2 + 2502.5^2 - 1130.3^2} = 3542 \text{ Н}$$

$$\psi = \arctg \frac{R_z}{R_x \cos \alpha - R_y \sin \alpha}, \quad (2.19)$$

$$\psi = \arctg \frac{1237.5}{2750 \cos 30^0 - 2502.5 \sin 30^0} = 47^0 36'.$$

Таким чином, по знайденим усім силам, що діють на диск, можна визначити тиск, який чинить на опори підшипників та вагу знаряддя необхідну для заглиблення дисків в ґрунт

Осьовий тиск, який сприймає підшипник дорівнює силі $N=3542 \text{ Н}$.

Радіальне навантаження на підшипники в горизонтальній площині дорівнює:

$$F_{\text{рад.}} = \frac{1}{2} R_{xy}, \quad F_{\text{рад.}} = \frac{1}{2} 1130.3 = 565.2 \text{ Н}.$$

Вага знаряддя необхідна для заглиблення дисків в ґрунт:

$$G = R \sin \psi.$$

2.5 Компонування експериментальної дискової борони

На підставі математичної моделі можна визначити раціональні параметри диска під задані умови і режими роботи дискового знаряддя дозволяють знизити його питомий тяговий опір і підвищити стабільність ходу робочих органів при невисокого питомого навантаження на диск (тобто вага знаряддя може бути менше в порівнянні із серійними знаряддями). Відстань між дисками визначається з виразів 2.4-2.6. Розраховані параметри дискової секції представлені на листі загального виду двухслідної дискової борони [11].

Апробація розроблених дисків виконувалася при проектуванні нової альтернативної дискової борони із шириною захоплення $B = 2.8 \text{ м}$. Відстані між дисками в складі дискової секції складе для $D = 510 \text{ мм}$ - $b = 400 \text{ мм}$ (см. розділ 2).

Число дисків у складі дискової секції – 7 шт. Друга секція зміщена відносно першої на $b/2=200\text{мм}$, що дозволяє зменшити забивання робочих органів. Так як нова альтернативна дискова борона має індивідуальні кріплення дисків до рами через підшипниковий вузол та стійку, то постає необхідність провести конструкторський розрахунок та розрахунок на міцність.

Загальний вид дискового знаряддя представлений на листі загального виду двоуслідної дискової борони. Конструкція дозволяє довантажувати передні диски за рахунок вантажів у місцях кріплення дискових секцій, чим зміщується центр ваги машини убік передніх секцій.

2.6 Розрахунок діаметру осі під підшипник та її перевірка на міцність

Задача розрахунку: визначити необхідні розміри осі в небезпечному перерізі та перевірити вісь на міцність. Вихідні данні: сили, що діють на диск: $R_{xy} = 565,2 \text{ Н}$, $N = 3542 \text{ Н}$ (розд. 2.4); відстань між точками прикладення сил: $a = 45\text{мм}$.

Складаємо розрахункову схему осі, на якій обертається диск. При розрахунку приймемо, що сили проходять через центральний шар осі [3].

Умова міцності при вигині осі має вигляд:

$$\sigma_{\max} = \frac{|M|_{\max}}{W_{\text{н.л.}}} \leq [\sigma], \quad (2.9)$$

де $|M|_{\max}$ - найбільший згинальний момент, що діє на вісь, Н·мм; $W_{\text{н.л.}}$ – момент інерції осі щодо нейтральної лінії, мм^3 ; $[\sigma]$ - напруга, що допускається, на вигин осі, МПа.

Для сталі 30 з якої виготовлений пруток, $[\sigma]=20 \text{ МПа}$.

Визначимо найбільший згинальний момент діючий на ось :

$$M = F \cdot L, \quad (2.10)$$

де F – сила діюча на ось у горизонтальній площині, кН; L – відстань від крапки додатка сили до підшипникового вузла.

Тому що на ось діють сили $R_{xy}=565,2 \text{ Н}$, $N=3542 \text{ Н}$, але силою, що буде згинати вісь буде сила R_{xy}

$$M = 565,2 \cdot 45 = 25434 \text{ Н}\cdot\text{мм} = 25,43 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Побудуємо епюри поперечних сил і епюру згинальних моментів, що діють на вісь (рис. 2.6).

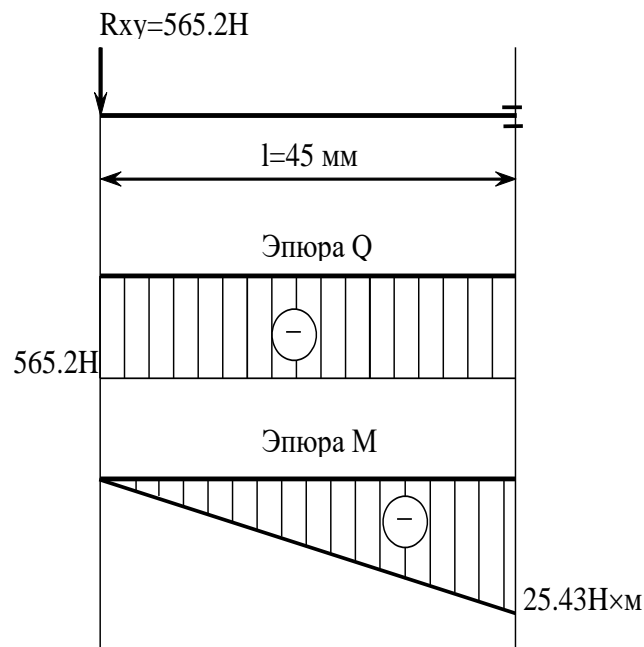


Рисунок 2.6 – Епюра поперечних сил і епюра згинальних моментів, що діють на вісь

Визначимо момент інерції щодо нейтральної лінії для балки (прутка) квадратного перетину:

$$W_{н.л.} = 0,1 \cdot d^3, \quad (2.11)$$

де d – діаметр в опорному розрізі осі, мм.

Підставивши вираження (2.9) і (2.10) у (2.11) і виконавши деякі математичні перетворення одержимо формулу:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M}{0,1[\sigma]}}, \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{25434}{0,1 \cdot 20}} \approx 23,3 \text{ мм}. \quad (2.12)$$

Для забезпечення умови міцності приймаємо перетин осі з діаметром підшипник $d = 30 \text{ мм}$.

2.7 Підбір підшипників кочення

Задача розрахунку: Підібрати підшипники для осі на якій обертається диск та перевірити їх на довговічність.

Вихідні данні: Сили, що діють на опору підшипника: $F_r=565.2$ Н, $F_a=3542$ Н, термін служби зняряддя $L=4000$ год, пере навантаження ПВ 150%.

Визначаємо частоту обертання осі, n об/хв.

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_d}, \quad (2.13)$$

де v – лінійна швидкість руху зняряддя, м/с; D_d – діаметр диска, м.

$$n = \frac{60 \cdot 2.5}{3.14 \cdot 0.51} = 93.7 \text{ об/хв}$$

Оскільки $n=93,6$ об/хв., то розрахунки ведемо по динамічній вантажопідйомності.

Визначаємо тип підшипника.

$$\frac{F_a}{v \cdot F_r} \geq 0.35, \quad (2.14)$$

де v – коефіцієнт обертання, $v=1$, при обертанні внутрішнього кільця обійми підшипника.

$$\frac{3542}{1 \cdot 565.2} = 6.3 > 0.35 - \text{приймаємо шариковий радіально – упорний підшипник.}$$

Орієнтовно підбираємо підшипник – 36206К ГОСТ 831-75 з параметрами $d=30$ мм, $D=62$ мм, $B=62$ мм, $C=37700$ Н, $C_o=26100$ Н.

Визначаємо приведенні навантаження в підшипниках.

$$P = (XVF_r + YF_a)k_\sigma k_T, \quad (2.15)$$

де X, Y – коефіцієнти відповідно радіального та осьового навантаження; k_σ - коефіцієнт безпеки, $k_\sigma=1,3$; k_T – температурний коефіцієнт, при температурі нижче 100°C $k_\sigma=1$.

Проводимо проміжні розрахунки для визначення X і Y .

Знаходимо допоміжний параметр e із відношення:

$$e = \frac{F_a}{C_o} = \frac{3542}{26100} = 0.14$$

Приймаємо $X=0,45$, $Y=1,81$.

$$P = (0.45 \cdot 1 \cdot 565.2 + 1.81 \cdot 3542) \cdot 1.3 = 8665 \text{ Н}$$

Визначаємо ресурс підшипника.

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P} \right)^m, \quad (2.16)$$

де m – ступеневий показчик, для шарикопідшипників $m=3$.

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 93.7} \left(\frac{37700}{8665} \right)^3 = 14650 \text{ год}$$

Таким чином, $L_h=14650$ год $>$ $L=4000$ год – умова на довговічність підшипника виконується.

2.9 Висновки з розділу

Подано теоретичний аналіз і розрахунок параметрів сферичного диска для альтернативної дискової борони. Розглянуто геометрію диска, встановлено залежності між його кривизною, діаметром, кутами установки та різання, а також визначено товщину диска за емпіричними співвідношеннями. Обґрунтовано відстань між дисками з урахуванням кута їх нахилу. Проаналізовано сили, що діють на диск під час роботи, зокрема силу у площині диска (R) та нормальну силу (N), а також вплив тиску «потилиці» леза. Наведено числові розрахунки для умов: глибина обробітку 160 мм, діаметр диска 510 мм, кут установки 30° , встановлено оптимальну відстань між дисками – 400 мм, обчислено сили опору, нормальну силу, вагу знаряддя та осьовий тиск. Отримані результати дозволяють забезпечити ефективну та стабільну роботу дискового робочого органу.

3 АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ ДИСКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ

3.1 Агротехнологічні основи вибору параметрів дискових робочих органів

Зміст технологічного процесу дискового знаряддя або дискового робочого органу, що знов розробляється, витікає зі встановленого для проектування агротехнічного завдання. Задачею конструктора є можливо більш повне забезпечення заданої якості роботи, що може бути досягнутий відповідним вибором параметрів робочих органів і встановленням належного режиму їх роботи. Звідси виникає необхідність обліку умов роботи знаряддя і тих змін в технологічному процесі, які можуть бути слідством вибору тих або інших значень геометричних параметрів дисків.

До розділу агротехнічних вимог можуть бути віднесені: глибина обробки і допустимі межі її відхилення; ступінь розпушення ґрунту; елементи обороту пласта і перерозподілу горизонтів ґрунту; наявність гребнів dna борозни і поверхні обробленого поля; утворення борозен і гребнів заданого профілю; знищення і закладення смітної рослинності. Умови роботи характеризуються типом ґрунту (фізико-механічними властивостями і вогкістю у момент обробки), рельєфом і фоном поля, наявністю в ґрунті каміння і коренів рослин, наявністю вегетативних смітних рослин, наявністю на поверхні поля рослинних залишків, добрив [6, 9, 10].

Відповідно до умов роботи і змісту технологічного процесу знаряддя, що розробляється, належить вибрати швидкість поступального руху знаряддя $-V$, параметри диска $-D$ і R , кут атаки $- \alpha$, задній кут різання $- \varepsilon_a$, взаємне розміщення дисків, механізм копіювання рельєфу поля, способи регулювання глибини ходу дисків і установки кута атаки.

Вплив зміни кута атаки на силову характеристику дисків. Тяговий опір R_x при збільшенні кута атаки з 10° в початковий період зменшується, досягаючи

мінімуму при $\alpha=15...18^\circ$, потім зростає. При $\alpha = 25^\circ$ намічається різке збільшення тягового опору R_x майже по лінійній залежності. Збільшення кута атаки до $30 - 35^\circ$ викликає лінійне зростання бокової сили R_y . При $\alpha=35...40^\circ$ бічна сила досягає максимуму, потім намічається її зниження. Вертикальна сила R_z при збільшенні кута атаки різко знижується, досягаючи мінімуму при $\alpha = 30...35^\circ$. Подальше збільшення кута атаки приводить до підвищення вертикальної сили. Осьова сила N у всіх дослідах різко зростає майже по лінійній залежності від збільшення кута атаки [8, 12].

Коефіцієнти n і m мають однакову закономірність зміни, але величина s по значенню завжди вище n . В початковий період ці коефіцієнти різко зростають і, як правило, при $25...300$ досягають максимального значення, надалі вони різко зменшуються.

Із збільшенням кута атаки коефіцієнт m зменшується. Мінімальне значення його ($m = 0,3...0,4$) досягається при $\alpha=35...40^\circ$. Надалі помічено його збільшення.

Вплив глибини обробки тяговий опір R_x : із збільшенням глибина обробки зростає по прямій. Відносна зміна тягового опору залежно від глибини при різних кутах атаки майже однакова. При різких змінах умов роботи (виду роботи, механічного складу ґрунту, твердості і вогкості) інтенсивність тягового опору дещо змінюється. Встановлено, що ступінь зміни сил R_y , R_z , N і коефіцієнтів m , n і s залежить від кута атаки. При малих кутах атаки бічна R_y і осьова N сили при збільшенні глибини обробки зменшуються. При великих кутах атаки сили R_y і N із збільшенням глибини обробки зростають. Вертикальна сила R_z із заглибленням дисків зростає. При великих кутах атаки ступінь зростання вертикальної сили R_z нижче, а по абсолютному значенню вона менше інших сил.

При $\alpha=10...15^\circ$ ці коефіцієнти із збільшенням глибини різко зменшуються, при $\alpha<10^\circ$ їх абсолютне значення дуже мало і при великому заглибленні дисків наближається до нуля. Причому крива залежності має дещо, увігнутий вигляд.

При $\alpha=20...35$ можна вважати, що коефіцієнти n і s змінюються лінійно,

ступінь їх зміни незначна. Закономірність зміни коефіцієнта m також залежить від кута атаки. Для дисків діаметром 510 мм коефіцієнт m спочатку зменшується, при глибині обробки більше 12 см зміни його незначні.

Вплив швидкості руху. Аналіз результатів експериментальних даних дозволяє зробити висновки, що тип дисків, вигляд і умови роботи трохи впливають на відносне зростання тягового опору від зміни швидкості. При кутах атаки 25, 30 і 35° тяговий опір змінюється практично однаково.

Аналіз результатів динамометруванням дискових батарей дозволив зробити висновок, що при роботі дисків в режимі борони ($\alpha=15^\circ$) з підвищенням швидкості поступального руху на 1 км/год тяговий опір дисків збільшується на 7-13%, а при роботі в режимі луцильника ($\alpha = 25..35^\circ$) - на 5-11% [12].

Загальна оцінка ефекту, одержуваного від підвищення швидкості руху борін і луцильників до 2,5 м/с, позитивна, але при цьому необхідно вирішувати питання стабільності ходу по глибині робочих органів.

Найвищу зносостійкість продемонстрували диски, виготовлені з двошарового прокату, де несучий шар товщиною 3 мм виготовлений зі сталі 50 з твердістю HRC 20–25, а робочий – зі сталі 65Г, загартованої до HRC 46–50. Разом з тим виявлено, що при використанні дисків з кутом загострення 15–17° відбувається надмірне стирання і вихід твердого внутрішнього шару, що спричиняє його руйнування і розшарування диска. Найкращим варіантом для таких дисків є кут загострення 28–30°, за якого форма ріжучої кромки під час роботи майже не змінюється порівняно з початковою.

Задана глибина обробки a значною мірою визначає вибір необхідної величини діаметра диска, оскільки згідно найпростішої емпіричної залежності $D = ka$, де d_o – коефіцієнт, значення якого вироблено практикою для кожного виду знаряддя. Мінімальне значення d_o не може бути менше 3, оскільки при $k=2$ диск виявився б зануреним в ґрунт на величину радіусу, що викликало б вдавлювання в ґрунт підшипників і катушок розпорів батареї. Разом з тим, доцільно застосування найменший з допустимих за умов роботи значень d_o , оскільки із збільшенням D зменшується заглиблююча здатність дисків.

Для борін луцильників і інших знарядь, в яких застосовується розміщення дисків на батареї, при виборі значення d_o повинні враховуватися:

- а) габарити катушок розпорів і підшипників батареї;
- б) розміри батареї і її копіююча здатність,
- в) фон і засміченість поля, оскільки від перерахованих чинників в значній мірі залежить виникнення заклинювання ґрунту або окремих глиб між дисками.

Нахил дисків у вертикальній площині застосовується в плугах і підгортальниках, рідше на боронах і луцильників з плоскими дисками, тобто в тих випадках, коли кожний диск має індивідуальну вісь обертання. Нахил дисків назад на кут $\beta \approx 20^\circ$ в плугах вабить зменшення вертикальної реактивної сили, що виштовхує диск з ґрунту, полегшує підйом пласта і його рух по увігнутій поверхні диска, але погіршує здатність диска обертати пласт.

Внаслідок цього в плугах неминуче застосування нерухомих (або що обертаються, дискових) додаткових елементів, які виконують і роль очищувачів для очищення дисків. В дискових підгортальниках застосовують нахил дисків у вертикальній площині вперед, а не назад, як в плугах. Така постановка дисків можлива лише при роботі на рихлому ґрунті.

Забезпечення позитивних значень заднього кута $-\varepsilon_a$ обов'язково в плугах і луцильниках. Недотримання цієї умови збільшує розпиленість ґрунту, порушення стійкості ходу знарядь і збільшення тягового опору. Перерахування в наслідок контакту між зворотною стороною заточування леза диска і ґрунтом виявляються тим виразніше, чим сильніше ущільнений ґрунт. Для борін, диски яких проводять не відділення стружки від моноліту, а розрізання пластів і глиб, допустимо застосування негативних значень кута ε_a . Але кут ε_a завжди повинен залишатися менше кута загострення леза ι , оскільки в осоружному випадку виникає зіткнення з ґрунтом опуклої поверхні диска.

Пристосованість знаряддя до рельєфу поля має на меті забезпечення стабільності ходу робочих органів по глибині. В дискових знаряддях, що не мають обмежувачів глибини ходу (коліс) заглиблення дисків в ґрунт відбувається до тих пір, поки реактивний опір ґрунту не зрівноважить вагу

секцій. Отже, в даному випадку глибина ходу дисків буде функцією однорідності опору ґрунту, тобто диски будуть підійматись на ущільнених ділянках поля і заглиблюватися – на рихлих.

3.2 Розробка операційно-технологічної карти поверхневого обробітку ґрунту

Умови роботи. Розрахунок проведено з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов темно-сірих опідзолених, добре окультурених дерново-підзолистих та чорноземних ґрунтах після просапних культур, що найбільш розповсюджені у Дніпропетровській області.

Марка трактора - ЮМЗ-10264; марка машини – БД-2,8М (умовна назва розробленої машини); тип ґрунту – підзолисті та чорноземні ґрунти; агрофон – стерня; вид обробітку – боронування дисками; глибина обробітку - до 16 см; рельєф поля: площа з ухил до 3%; розміри ділянки поля – Довжина $L = 1200$ м; Ширина $B = 400$ м., експлуатаційна вага трактора – 6650 кг; експлуатаційна маса с.-г. знаряддя – 810 кг; максимальна ширина захвату – 3,0 м; допустима робоча швидкість – до 12 км/год.

Агротехнічні вимоги до поверхневого обробітку ґрунту. Вимоги передбачають:

- рівномірність обробітку - поверхня ґрунту повинна бути оброблена рівномірно, без пропусків та нерівностей.

- глибина обробітку залежить від культури, яку будуть висівати. Зазвичай, для більшості культур глибина обробітку повинна бути не менше 10-16 см з відхиленням не більше 5 %;

- після поверхневого обробітку ґрунт повинен мати дрібну структуру. Це полегшує проростання насіння і збільшує його контакт з ґрунтом;

- після проходження агрегату ґрунт повинен бути очищений від рослинних залишків і інших залишків, що можуть заважати подальшій обробці;

- оптимальна вологість ґрунту для поверхневого обробітку – 60–70% від

вологої маси. Занадто висока вологість сприяє надмірному ущільненню, занадто низька – пересиханню;

– для поверхневого обробітку ґрунту повинна використовуватися техніка, яка забезпечує рівномірний та ефективний обробіток.

Оптимальний склад агрегату. Визначаємо питомий тяговий опір для даної швидкості руху:

$$K = K_0 \cdot \left[1 + (V_p - V_0) \frac{\Delta C}{100} \right], \quad (3.1)$$

де K_0 – питомий тяговий опір, при швидкості руху, $V_0 = 7$ км /год.; V_p – робоча швидкість руху агрегату на даній передачі, км /год.; ΔC – тип наростання питомого тягового опору у відсотках, $\Delta C = 1\%$.

Таблиця 3.1 – Характеристика трактора ЮМЗ-10264 при $N_{кр} = N_{кр \max}$.

Передача	Швидкість руху, V_p , км /год.	Нормальне тягове зусилля, $P_{кр}$, к Н	Годинна витрата палива, G_m , кг /год.	Буксування, δ , %
III	7,2	28	25	8,7
IV	10,8	22	17	7,5

$$K_0 = (4 \dots 9) + (0,45 \dots 0,8) = 7,81 \quad (3.2)$$

$$K_{III} = 7,81 \left[1 + (7,2 - 7) \frac{1}{100} \right] = 7,83 \text{ кН/м}$$

$$K_{IV} = 7,81 \left[1 + (10,8 - 7) \frac{1}{100} \right] = 8,11 \text{ кН/м}$$

Гранична ширину захвату знаряддя:

$$B_{np} = \frac{P_{кр} - G \cdot \sin \alpha}{K + S_m \cdot \sin \alpha + S_{cy} \cdot (f + \sin \alpha)}, \quad (3.3)$$

де $P_{кр}$ – нормальне тягове зусилля на гаку при даній швидкості агрегату, кН; G – вага енергетичного засобу, кН; $\sin \alpha$ – нахил місцевості у відсотках.

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{i}{100}. \quad (3.4)$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{100} = 0,01\%$$

де S_m – відношення ваги знаряддя до її ширини захвату агрегату, кН.

$$S_M = \frac{G_M}{\epsilon_K}, \quad (3.5)$$

$$S_M = \frac{8,1}{2,8} = 2,89 \text{ кН}$$

де ϵ_K – ширина захвату агрегату, м; G_M – маса ґрунтообробного знаряддя, кН.

$$B_{\text{прIII}} = \frac{28 - 66,5 \cdot 0,01}{7,83 + 2,89 \cdot 0,01} = 3,48 \text{ м};$$

$$B_{\text{прIV}} = \frac{22 - 66,5 \cdot 0,01}{8,11 + 2,89 \cdot 0,01} = 2,99 \text{ м};$$

Визначаємо можливу кількість машин в агрегаті [5]:

$$n = \frac{B_{\text{пр}}}{\epsilon_K}, \quad (3.6)$$

$$n_{\text{III}} = \frac{3,48}{2,8} = 1,24 \text{ шт.}$$

$$n_{\text{III}} = \frac{2,99}{2,8} = 1,07 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість машин, як на III, так і на IV передачі – 1 шт.

Визначаємо тяговий опір МТА агрегату [10]:

$$R_a = n \cdot B_p \cdot K + G_M \cdot n \cdot \sin \alpha, \quad (3.7)$$

де B_p – робоча ширина захвату знаряддя, м.

$$B_p = \epsilon_K \cdot \beta, \quad (3.8)$$

де β – коефіцієнт використання робочої ширини знаряддя, $\beta = 0,96$;

$$B_p = 2,8 \cdot 0,96 = 2,68 \text{ м.}$$

$$R_{aIII} = 1 \cdot 2,68 \cdot 7,83 + 8,1 \cdot 1 \cdot 0,01 = 21,06 \text{ кН.}$$

$$R_{aIV} = 1 \cdot 2,68 \cdot 8,11 + 8,1 \cdot 1 \cdot 0,01 = 21,81 \text{ кН.}$$

Визначаємо коефіцієнт використання потужного зусилля трактора [5]:

$$\xi_p = \frac{R_a}{P_{\text{кр}} - G \cdot \sin \alpha}. \quad (3.9)$$

$$\xi_{\text{III}} = \frac{21,06}{28,0 - 66,5 \cdot 0,01} = 0,76$$

$$\xi_{\text{IV}} = \frac{21,81}{22,0 - 66,5 \cdot 0,01} = 0,8$$

Відповідно до виконаних розрахунків встановлено, що для даних умов експлуатації нам необхідно прийняти четверту передачу, на якій максимально

використовується тягова потужність трактора і при цьому коефіцієнт використання тягового зусилля – оптимальне. На IV передачі показник використання потужності має вище значення. Виходячи з розрахунку приймаємо робочу швидкість руху агрегату $V_p = 10,8$ км /год.ю При цьому годинна витрата палива становитиме $G_m = 17,0$ кг /год.

Результати розрахунків приведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні параметри роботи трактора

Передача	Тяговий опір МТА, R_a кН	Коефіцієнт використання тяг. зусилля	Робоча швидкість агрегату V_m , км/год	Годинна витрата палива G_m , кг/га
IV	21,81	0,8	10,8	17,0

Підготовка агрегату до роботи. Підготовка агрегату до роботи потребує:

- перевірити стан усіх вузлів і деталей, інспекції кріплень. Деформовані деталі підлягають ремонту або заміні;
- змастити підшипникові вузли дискового знаряддя перед початком роботи;
- налаштувати глибини роботи агрегату;
- перевірити правильність зчеплення знаряддя з трактором;
- необхідно перевірити роботу гідравлічної системи та достатність рівня гідравлічної рідини системи;
- необхідно перевірити, що всі пристрої безпеки на знарядді та на транспортному засобі працюють належним чином, а також дотримано всіх інструкцій з безпеки.

Підготовка поля до роботи. Початку роботи МТА на полі передують підготовка ділянки поля:

- прибрати з поля будь-які перешкоди, такі як камені, гілки, залишки рослин тощо;
- визначити необхідну глибину обробітку для конкретної культури та типу ґрунту;

- виконати розмітку ділянки (поворотні смуги, загони та ін.);
- нанести маркування лінії першого проходу зняття уздовж ділянки.

Технологічні показники. Виконання процесу зняття для суцільного поверхневого обробітку човниковим способом руху обумовлює виконання кругових (грушоподібних) поворотів. Мінімальний радіус розраховується [10]:

$$R_0 = e_k, \quad (3.10)$$

$$R_0 = 2,8 \text{ м.}$$

Мінімально достатня ширина для здійснення повороту [10]:

$$E_{\min} = 2,8 \cdot R_0 + e + d_k, \quad (3.11)$$

де e – відстань, яку проходить агрегат під час виїзду, м

$$e = l_{mp} + l_m, \quad (3.12)$$

$$e = 4010 + 1200 = 5210 = 5,2 \text{ м.}$$

$$d_k = \frac{e_k}{2}. \quad (3.13)$$

$$d_k = \frac{2,8}{2} = 1,4 \text{ м.}$$

$$E_{\min} = 2,8 \cdot 2,8 + 5,2 + 1,4 = 14,44 \text{ м.}$$

Значення ширини повороту E обирається таким, щоб воно було не меншим за мінімально допустиме E_{\min} та кратним робочій ширині захвату. У розрахунках прийнято $E = 16,8$ м.

Знаходимо поворотну довжину [10]:

$$L_x = (6,6..8)R_0 + 2e, \quad (3.14)$$

$$L_x = 8 \cdot 2,8 + 2 \cdot 5,2 = 32,8 \text{ м.}$$

Знаходимо робочого шляху довжину (вихідні дані) [10]:

$$L_p = L - 2E, \quad (3.15)$$

$$L_p = 1200 - 2 \cdot 16,8 = 1166,4 \text{ м.}$$

Встановлюємо час, витрачений на виконання корисної роботи за один прохід агрегату:

$$t_p = \frac{0,06 \cdot L_p}{V_p}, \quad (3.16)$$

$$t_p = \frac{0,06 \cdot 1166,4}{10,8} = 6,48 \text{ хв.}$$

Встановлюємо час, що витрачається на один холостий прохід (поворот) при швидкості $V_x = 5$ км/год:

$$t_x = \frac{0,06 \cdot L_x}{V_x}, \quad (3.17)$$

$$t_x = \frac{0,06 \cdot 32,8}{5} = 0,39 \text{ хв.}$$

Для очищення робочих органів приймаємо час $t = 2$ хв. Встановлюємо час, витрачений на один цикл [10]:

$$t_{ц.} = t_p + t_x + t_{оч}, \quad (3.18)$$

$$t_{ц.} = 6,48 + 0,39 + 2 = 8,87 \text{ хв.}$$

Розраховуємо позацикловий час [10]:

$$t_{н.ц.} = t_{зуп} + t_{контр} + t_{об} + t_{в'їзд} + t_{виїзд}, \quad (3.19)$$

де $t_{зуп}$ – час зупинки агрегату з особистих причин, $t_{зуп} = 10 \dots 15$ хв.; $t_{контр}$ – час, витрачений на контроль якості роботи та регулювання, $t_{контр} = 5 \dots 10$ хв.; $t_{об}$ – час на обслуговування агрегату на початку та в кінці зміни, $t_{об} = 20$ хв.; $t_{в'їзд}$ – час, необхідний для в'їзду в загін, $t_{в'їзд} = 0,5$ хв.; $t_{виїзд}$ – час на виїзд агрегату з загону, $t_{виїзд} = 0,5$ хв.

$$t_{н.ц.} = 10 + 5 + 20 + 0,5 + 0,5 = 36 \text{ хв.} \quad (3.20)$$

Виразуємо кількість циклів за зміну [10]:

$$П_{ц.} = \frac{T_{зм} - t_{н.ц.}}{t_{ц.}}, \quad (3.21)$$

де $T_{зм}$ – загальна тривалість зміни за умови восьмигодинного робочого дня, $T_{зм} = 480$ хв.

$$П_{ц.} = \frac{480 - 36}{8,87} = 50,06 \cdot \tau$$

Кількість проходів округлюється до найближчого парного цілого числа в більшу сторону: $П_{ц.} = 52$. Визначаємо уточнений баланс часу роботи агрегату в загоні:

$$T_{зм} = П_{ц.} \cdot (t_p + t_x + t_{оч}) + t_{н.ц.}, \quad (3.22)$$

$$T_{зм} = 52 \cdot (6,48 + 0,39 + 2) + 36 = 497,24 \text{ хв.}$$

Обчислюємо коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{зм}} = \frac{t_u \cdot \Pi_u}{T_{зм}} \quad (3.23)$$

$$\tau = \frac{8,87 \cdot 52}{497,24} = 0,93.$$

Технічна продуктивність за годину робочого часу зміни [10]:

$$W_{год} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (3.24)$$

$$W_{год} = 0,1 \cdot 2,8 \cdot 10,8 \cdot 0,93 = 2,81 \text{ га/год.}$$

Розрахувати витрату палива на гектар [10]:

$$g = \frac{G_p \cdot T_p + G_x \cdot T_x + G_0 \cdot T_0}{60 \cdot F_3}, \quad (3.25)$$

де G_p , G_x , G_0 — відповідно витрати палива двигуном трактора ЮМЗ-10264: при робочому навантаженні $G_p = 16 \dots 16,4$ кг/год; при холостих обертах і заїздах $G_x = 10,1 \dots 12,0$ кг/год; при зупинках агрегату з увімкненим двигуном $G_0 = 2,5$ кг/год; T_p — час роботи агрегату під навантаженням.

$$T_p = t_p \cdot \Pi_u, \quad (3.26)$$

$$T_p = 6,48 \cdot 52 = 336,96 \text{ хв.} = 5,62 \text{ год.}$$

T_x — час роботи на холостому ході (повороти, заїзд, виїзд).

$$T_x = t_x \cdot \Pi_u + t_{візд} + t_{виїзд}, \quad (3.27)$$

$$T_x = 0,39 \cdot 52 + 0,5 + 0,5 = 21,28 \text{ хв.} = 0,36 \text{ год.}$$

T_0 — час простою з увімкненим двигуном (під час зупинок):

$$T_0 = t_{оч} \cdot \Pi_u + t_{контр} + t_{зуп} + t_{об}, \quad (3.28)$$

$$T_0 = 2 \cdot 52 + 5 + 10 + 20 = 139 \text{ хв.} = 2,32 \text{ год.}$$

F_3 — виробнича потужність МТА за одну зміну роботи [10]:

$$F_3 = W_{год} \cdot T_p = 2,81 \cdot 5,62 = 15,8 \text{ га}, \quad (3.29)$$

Розрахунок витрати палива на один гектар проводиться наступним чином:

$$g = \frac{17 \cdot 5,62 + 11,0 \cdot 0,36 + 2,5 \cdot 2,32}{15,8} = 6,65 \text{ кг/га.}$$

Кількість витраченого праці на одну одиницю виконаної роботи [10]:

$$H = \frac{m_{mp} + m_{об}}{W_{год}}, \quad (3.30)$$

де m_{mp} , $m_{об}$ — це кількість тракторів і обслуговуючого персоналу, залучених до

виконання даної операції.

$$H = \frac{1}{2,81} = 0,28 \text{ год/га.}$$

На основі виконаних розрахунків встановлено, що робоча швидкість агрегату складає $V_p = 10,8$ км/год. Основні технологічні показники роботи ґрунтообробного агрегату: технічна продуктивність за одну годину змінного часу становить 2,81 га/год, погектарна витрата палива – 6,65 кг/га, а затрати праці на одиницю виконаної роботи – 0,28 люд.год/га.

3.2 Висновки з розділу

У процесі вибору дискових робочих органів для агротехнічного знаряддя важливо враховувати різноманітні фактори, такі як глибина обробітку, тип ґрунту, рельєф поля та умови роботи. Зміна кута атаки диска має значний вплив на силові характеристики, тяговий опір і ефективність роботи. Оптимальний кут атаки забезпечує мінімальний тяговий опір та ефективну роботу робочих органів. Вибір параметрів диска, таких як діаметр, кут атаки та механізми регулювання глибини, має ключове значення для забезпечення стабільності та ефективності обробітку ґрунту. Важливим аспектом є також розробка операційно-технологічної карти для обробітку ґрунту, яка включає агротехнічні вимоги щодо рівномірності обробітку, глибини, структури ґрунту та оптимальної вологості. Вибір техніки та параметрів агрегату, таких як тяговий опір і швидкість руху, також є важливим для забезпечення ефективної роботи в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона праці. Експлуатація дискової борони потребує дотримання низки заходів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників, що працюють з цим обладнанням. Важливими аспектами охорони праці є:

1. Інструктажі та навчання: Перед початком роботи з дисковою бороною оператори повинні пройти інструктаж з техніки безпеки та охорони праці, ознайомитися з інструкціями з експлуатації та обслуговування техніки відповідно до вимог нормативних документів, зокрема Правил безпеки при експлуатації машин та обладнання для обробки ґрунтів (ДНАОП 0.00-1.21-01).

2. Перевірка технічного стану: Перед початком роботи необхідно провести перевірку технічного стану дискової борони, зокрема, стану дисків, кріплень, гідравлічної системи, а також інших важливих елементів машини. Згідно з ДСТУ 3649:2017 "Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарських машин і обладнання", необхідно своєчасно виконувати планове технічне обслуговування і проводити усунення дефектів.

3. Особисті засоби захисту: Для забезпечення безпеки працівників слід використовувати спеціальний одяг (робочі комбінезони), рукавички, захисні окуляри, а також інші засоби індивідуального захисту згідно з вимогами ДСТУ EN 340:2008 "Одежда защитная. Общие требования".

4. Безпечне використання дискової борони: Оператор повинен дотримуватись встановлених норм і правил щодо керування дисковою бороною, включаючи обмеження швидкості руху та маневрування на складних ділянках, а також уникати контактів з рухомими частинами техніки. Важливо дотримуватися Нормативів безпеки праці в сільському господарстві (ДНАОП 1.1.13-1.02).

5. Вентиляція та освітлення: Якщо робота з дисковою бороною проводиться в закритих приміщеннях (наприклад, у цехах ремонту), необхідно

забезпечити належну вентиляцію та освітлення робочих зон відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.21-01.

6. Надзвичайні ситуації та дії при аварії: У разі аварії або нещасного випадку на робочому місці необхідно негайно повідомити керівництво і викликати медичну допомогу, а також здійснити заходи для надання першої допомоги. Також важливо мати укомплектовані аптечки першої допомоги на робочих місцях.

Захист навколишнього середовища. Захист навколишнього середовища при експлуатації дискової борони включає кілька важливих аспектів, що повинні забезпечити мінімальний негативний вплив на екологію:

1. Запобігання забрудненню ґрунту та води: Згідно з Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища" (2002), операції, пов'язані з використанням дискових борін, повинні бути спрямовані на запобігання забрудненню земель та водних ресурсів. Це включає контроль за витоками пального, мастильних матеріалів, а також за зниженням забруднення від викидів двигуна.

2. Зниження викидів забруднюючих речовин: Дискові борони, що використовуються на тракторних шасі, повинні відповідати вимогам щодо рівня викидів шкідливих речовин в атмосферу. Це регулюється ДСТУ 3655:2017 "Сільськогосподарські трактори. Вимоги безпеки", де встановлені норми викидів для сільськогосподарської техніки.

3. Енергоефективність та збереження ресурсів: Важливим аспектом є використання енергоефективних технологій. Сучасні дискові борони повинні бути розроблені таким чином, щоб мінімізувати витрати пального та енергії під час обробки ґрунту, що також сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

4. Використання біорозкладних матеріалів: Для зменшення впливу на екологію слід використовувати біорозкладні мастила і пального, що відповідають вимогам ДСТУ 4048-2001 "Мастила для сільськогосподарських машин".

5. Управління відходами: У процесі експлуатації дискової борони можуть виникати різні відходи, такі як зношені деталі, мастила, паливо. Відповідно до Закону України "Про відходи" (2012), ці відходи повинні бути зібрані, утилізовані або перероблені відповідно до екологічних стандартів.

Забезпечення охорони праці та захисту навколишнього середовища при експлуатації дискової борони є невід'ємною частиною роботи сільськогосподарських підприємств. Це включає в себе дотримання стандартів безпеки, зниження негативного впливу на навколишнє середовище та використання технічних засобів, що відповідають екологічним вимогам.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДИСКОВОГО ЗНАРЯДДЯ

Ось перероблений текст з деякими змінами в числах:

Експлуатаційно-технологічні показники агрегату наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Експлуатаційно-технологічні показники

Показник	Значення показника за даними випробувань
Тип робіт	Стерня гречки
Швидкість переміщення, км/год:	-
- робочі	13,2
- транспортні	20,5
Ширина знаряддя, м:	-
- конструктивні	2,6
- робочі	2,4
Продуктивність знаряддя, га/год:	-
- основна	3,05
- змінне	2,18*
- експлуатаційне	2,08
Технологічні і експлуатаційні показники:	-
- технічний сервіс	1,0
- надійність	1,0
- змінний час	0,77*
- час експлуатації	0,73

* – встановлено з урахуванням характеристик типового модельного господарства:

- середня площа поля – 95 га;
- середньозважена довжина гону – 0,95 км;
- відстань від поля до бригади – 3,2 км;
- середня відстань між полями – 1,1 км.

Ключовими показниками оцінювання економічної доцільності впровадження вдосконаленої техніки виступають зміни у структурі витрат, що призводять до загального економічного ефекту. Розрахунок відповідних економічних параметрів здійснено відповідно до вимог ДСТУ 4397:2005, який

регламентує основні принципи, критерії економічної оцінки та методи їх визначення під час випробування сільськогосподарської техніки (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Вихідні дані та розрахунок економічних показників

Назва показника	Значення показника
Продуктивність знаряддя, га/год:	
- змінне	2,24
- експлуатація	2,06
Термін служби, р.:	
- силового засобу	10
- знаряддя	10
Персонал, осіб	1
Нормативне навантаження за рік, год:	
- силового засобу	1605*
- знаряддя	210*
Відрахування на агрегат:	
- амортизація	0,11 / 0,1
- технічний сервіс і ремонт	0,14 / 0,008
Вартість ПММ, грн/л	53,1
Витрати ПММ, л/га	13,5

Зниження загальних витрат при використанні модернізованої машини зумовлене скороченням споживання паливно-мастильних матеріалів у складі прямих експлуатаційних витрат (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Структура прямих експлуатаційних витрат, грн/га

Витрати	Базова машина	Проектна машина
Оплата праці	115,3	115,3
Амортизація	162,7	162,7
Технічний сервіс і ремонт	155,3	155,3
ПММ	318,1	295,2

У структурі прямих експлуатаційних витрат удосконалений агрегат демонструє зменшення витрат на 3,3%.

Розмір річного економічного ефекту від його використання обчислюється за такою формулою:

$$E_p = \Pi_{\delta} - \Pi_H \quad (5.1)$$

де показані витрати на одну умовну одиницю роботи для базової (серійної) та модернізованої (удосконаленої) машини відповідно:

$$E_p = 318,1 - 295,2 = 22,9 \text{ грн/га}$$

Техніко-економічну доцільність впровадження пружних стояків робочих органів, оптимізованих за конструктивними і динамічними показниками, оцінено відповідно до затвердженої методики. Розрахунки показали, що щорічний економічний приріст становить 22,9 грн/га, що стало можливим завдяки підвищенню енергоефективності, зокрема скороченню витрат на паливно-мастильні матеріали на 7,2% порівняно з базовим зразком техніки.

ВИСНОВКИ

1. У розділі також проведено аналіз найбільш поширених типів ґрунтів, та їх фізико-механічних властивостей. Основними ґрунтами є сірі, темно-сірі опідзолені та малогумусні чорноземи на лісових породах. Для забезпечення високих урожаїв і підтримання ґрунтозахисної системи в аграрному виробництві на цих ґрунтах потрібно підтримувати щільність ґрунту в межах $1,1 \text{ г/см}^3$ і не перевищувати $1,25 \text{ г/см}^3$.

2. Подано теоретичний аналіз і розрахунок параметрів сферичного диска для альтернативної дискової борони. Розглянуто геометрію диска, встановлено залежності між його кривизною, діаметром, кутами установки та різання, а також визначено товщину диска за емпіричними співвідношеннями. Обґрунтовано відстань між дисками з урахуванням кута їх нахилу. Проаналізовано сили, що діють на диск під час роботи, зокрема силу у площині диска (R) та нормальну силу (N), а також вплив тиску «потилиці» леза. Наведено числові розрахунки для умов: глибина обробітку 160 мм, діаметр диска 510 мм, кут установки 30° , встановлено оптимальну відстань між дисками – 400 мм, обчислено сили опору, нормальну силу, вагу знаряддя та осьовий тиск. Отримані результати дозволяють забезпечити ефективну та стабільну роботу дискового робочого органу.

3. У процесі вибору дискових робочих органів для агротехнічного знаряддя важливо враховувати різноманітні фактори, такі як глибина обробітку, тип ґрунту, рельєф поля та умови роботи. Зміна кута атаки диска має значний вплив на силові характеристики, тяговий опір і ефективність роботи. Оптимальний кут атаки забезпечує мінімальний тяговий опір та ефективну роботу робочих органів. Вибір параметрів диска, таких як діаметр, кут атаки та механізми регулювання глибини, має ключове значення для забезпечення стабільності та ефективності обробітку ґрунту. Важливим аспектом є також розробка операційно-технологічної карти для обробітку ґрунту, яка включає агротехнічні вимоги щодо рівномірності обробітку, глибини, структури ґрунту та оптимальної вологості. Вибір техніки та параметрів агрегату, таких як тяговий опір і

швидкість руху, також є важливим для забезпечення ефективної роботи в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

4. Забезпечення охорони праці та захисту навколишнього середовища при експлуатації дискової борони є невід'ємною частиною роботи сільськогосподарських підприємств. Це включає в себе дотримання стандартів безпеки, зниження негативного впливу на навколишнє середовище та використання технічних засобів, що відповідають екологічним вимогам.

5. Техніко-економічну доцільність впровадження пружних стояків робочих органів, оптимізованих за конструктивними і динамічними показниками, оцінено відповідно до затвердженої методики. Розрахунки показали, що щорічний економічний приріст становить 22,9 грн/га, що стало можливим завдяки підвищенню енергоефективності, зокрема скороченню витрат на паливно-мастильні матеріали на 7,2% порівняно з базовим зразком техніки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Михайлов В.М. Грунтозахисні технології в землеробстві. Навчальний посібник. Київ: Видавництво НУБіП України, 2017. 376 с.
2. Кравченко В.М., Горюнов О.І., Грищенко С.А. Дослідження фізико-механічних властивостей ґрунту: методи та прилади. Київ: Видавництво КНУБА, 2017. 240 с.
3. Веселовська Н.Р., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 283 с.
4. Система землеробства No-till: Навчальний посібник. К.: "Логос", 2011. 352 с.
5. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. Сільськогосподарські машини: Навчальний посібник. Київ: "Агроосвіта", 2017. 180 с.
6. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Довбуш А.Д. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування. Тернопіль, 2019. 72 с.
7. Кравченко В.М., Мельник С.М., Коноваленко В.В. Дискові знаряддя для обробітку ґрунту та їх розрахунок. Київ: Видавництво НАУ, 2017. 192 с.
8. Швець Л. В., Паладійчук Ю. Б., Труханська О. О. Технічний сервіс в АПК. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 648 с.
9. Головачук А.Ф., Марченко В.І., Орлов В.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник, 2004. 320 с.
10. Mualem, A. M., Schaap, J. W. Physical and Mechanical Properties of Soils and their Measurements. Boca Raton, FL: CRC Press, 2019.
11. Гнатів В. І., Кісельов С. В., Чернявська О. В. Дискові знаряддя в землеробстві: монографія. Київ: КНУБА, 2018. 172 с.
12. Aliiev, E., Tesliuk, H., Puhach, A., Kobets, O., Zolotovska, O., Boiko, V. Improving the work process efficiency of a tillage module for pre-sowing tillage.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (124)), 60–71. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284597

13. Kobets A., Aliiev E., Tesliuk H., Aliieva O. Simulation of the interaction between the working bodies of tillage machines and the soil in Simcenter STAR-CCM+. Machinery & Energetics, 14 (1), 9–23. DOI: 10.31548/machinery/1.2023.09

14. Aliiev E., Tesliuk H. Analytical justifications of constructive parameters of bionic colters for vertical soil treatment. Machinery & Energetics, 15(3), 129-139. DOI: 10.31548/machinery/3.2024.129

15. Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. U.P.B. Sci. Bull., Series D, 83 (4): 123–140. Available at: https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/r_ezabf_492985.pdf

16. Лабатюк Ю.М. Математичне моделювання процесу взаємодії робочого органу глибокорозпушувача з ґрунтом / Ю.М. Лабатюк, Е. Б. Алієв // Науковий вісник Таврійського державного агро-технологічного університету. – Вип. 5. т. 2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – С. 133-140.

17. Козаченко О.В. Моделювання енергоощадної форми леза ґрунтообробного робочого органу / О.В. Козаченко, О.М. Шкрегаль, В.С. Каденко, Е.Б. Алієв // Материалы XIII Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании» 5 -8 июня 2017 г. – Технический университет. – Варна (Болгария), 2017. – Вип. 2. – С. 131-138.

18. Алієв Е.Б., Теслюк Г.В. (2023). Перспективи чисельного моделювання взаємодії ґрунтообробних робочих органів із ґрунтом у Simcenter STAR-CCM+. Збірник тез Міжнародної наукової інтернет-конференції (21 березня 2023 р.). Олійні культури: сьогодення та перспективи. Запоріжжя. ІОК НААН, 2023. С. 120-121.

19. Теслюк Г. В., Алієв Е. Б., Золотовська О. В. (2024). Обґрунтування форми пазуреподібного прутка ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку. Сільськогосподарські машини, 50, 7-17. DOI: 10.36910/asm.vi50.1313

20. Hula J., Kovaricek P., Mayer V. Exploitational indicators, Diesel fuel consumption and work quality during disc tiller skimming / J. Hula, P. Kovaricek, V. Mayer. // Res. Agr. Eng. – 2003. – Vol. 49 (3). – P. 85 - 95.
21. J. Hula, R. Šindelar, P. Kovaricek Operational effects of implements on crop residues in soil tillage operations / J. Hula, R. Šindelar, P. Kovaricek. // Res. Agr. Eng. – 2005. – Vol. 51 (4). – P. 119 - 124.
22. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning / W.H. Wischmeier, D.D. Smith. // Agricultural Handbook Washington, D.C., US Department of Agriculture – 1978. – No. 537. – P. 58.
23. Arshad M.A. Tillage practises for sustainable agriculture and environmental quality in different agro ecosystems / M.A. Arshad. // Soil Till. Res. – 1999. – No. 53. – P. 1–3.
24. Cannell R.Q., Hawes J.D. Trend in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates / R.Q. Cannell, J.D. Hawes. // Soil Till. Res. – 1994. – No. 30. – P. 245–282.
25. Hanna H.M., Melvin S.W., Pope R.O. Tillage implement operational effects on residue cover / H.M. Hanna, S.W. Melvin, R.O. Pope. // Appl. Engng. Agric. – 1995. – No. 11. – P. 205–210.
26. Sunflower / Products >> Disk Harrows >>1444 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.sunflowermfg.com/products/index.php?id=49&sID=61&pID=116>. – Заголовок з екрана.
27. MV V shaped trailed single beam harrow with central trolley hydraulic folding frame [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.maschionet.com/catalog/product/mv/uk_UA. – Заголовок з екрана.
28. Kverneland Visio 200 / Disc Harrows / Soil Equipment / Kverneland brand Corporate site / Home – Kverneland brand [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://ien.kverneland.com/Soil-Equipment/Disc-Harrows/Disc-Harrows/Kverneland-Visio-200>. – Заголовок з екрана.

ДОДАТКИ

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Обґрунтування конструкції та параметрів дискового зчаряддя для поверхневого обробітку ґрунту

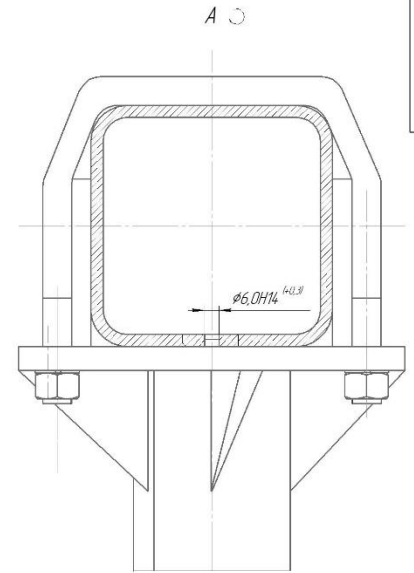
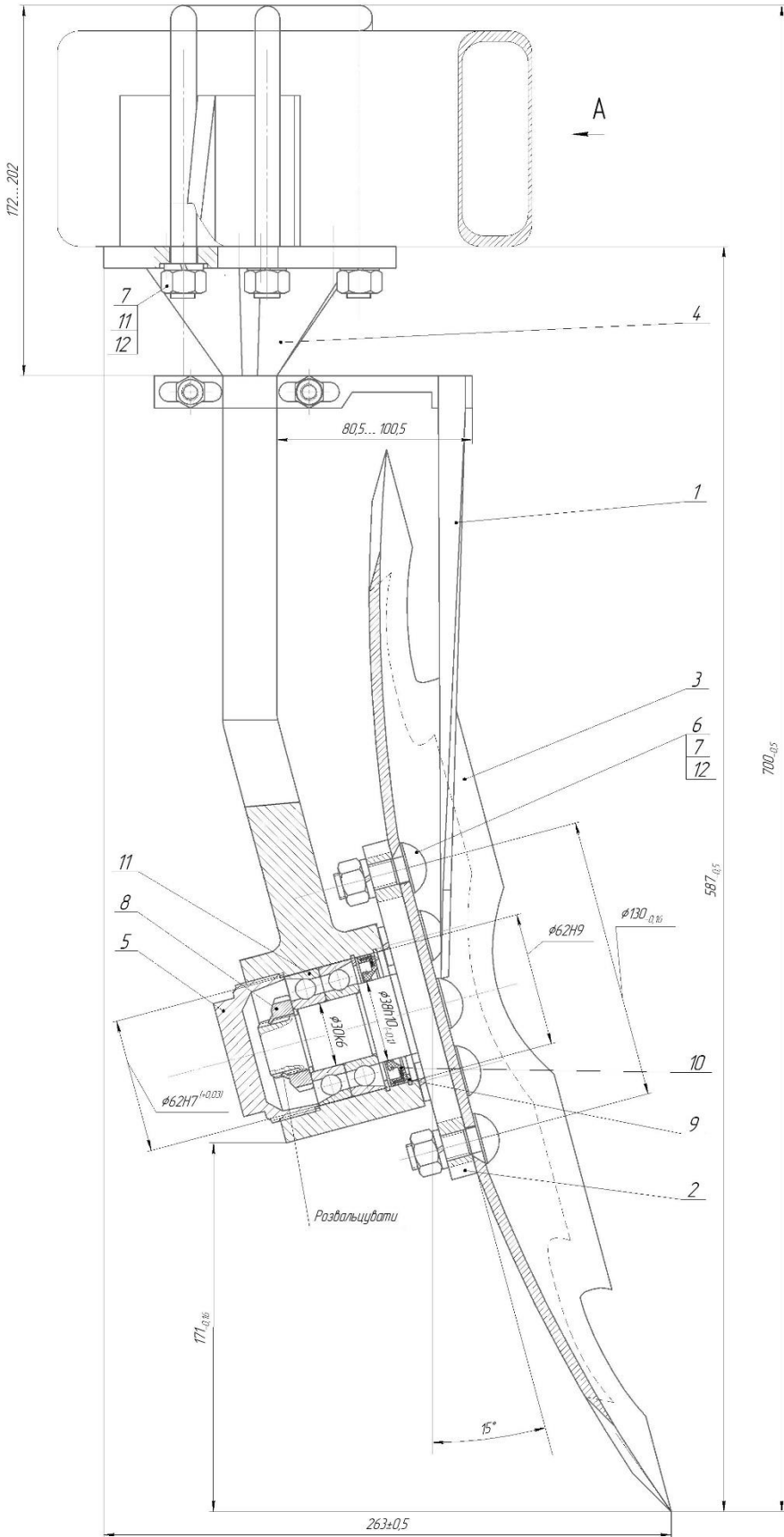
Демонстраційний матеріал до дипломного проекту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-2-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»
Красіцький Юрій Юрійович

Керівник: канд. техн. наук, доцент
Теслюк Геннадій Володимирович

Дніпро, 2025

52ДП.026000.100.СК



700.45

597.65

Технічні вимоги

1. Підшипники пагинні бути змащені
2. Не допускається перекиз осі відносно зовнішньої об'єми підшипника більше 30°
3. Очищувач поз. 2 відрегулювати так щоб відстань до поверхні диска становила 20-25 мм
4. Покриття зовнішніх поверхонь - емаль ПФ-115, синій, ГОСТ 6465-76, IV, С
- 5 *Розміри для довідок

						52ДП.026000.100.СК		
ЗМ. АРК.	№ докум.	Лист	Вид	Лист	Маса	Матеріал		
Розроб.	Мод. (змін.) (В)					Робочий орган		
Вироб.	Розроб. (В)					Автори	Автори	?
Технікер							Складальне креслення	
Машинист	Рисуючий (В)					ДДАЕУ		
Копія	Креслючий (В)					АІ-2-22		

