

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проекту

освітнього ступеня «Бакалавр» на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З
РОЗРОБКОЮ КОНСТРУКЦІЇ ДИСКОВОЇ БОРОНИ**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІС-1-23 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____Зеленков Микита Валерійович

Керівник: _____Макаренко Дмитро Олександрович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ЕМТП _____.

(назва кафедри)

доцент _____.

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Зеленкову Микиті Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Удосконалення операцій поверхневого обробітку ґрунту з розробкою конструкції дискової борони»

керівник роботи Макаренко Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ДДАЕУ від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. **Строк подання студентом роботи** 12.06.2026 р.

3. **Вихідні дані до роботи.** Машиновикористання у рослинництві – методичні рекомендації, Відомості господарської діяльності – за останні три роки

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** 1. Аналіз технологій та машин для поверхневого обробітку ґрунту. 2. Технологічна частина. 3. Проектна частина 4. Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування проекту. Загальні висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Титульний лист. 2. Мета та завдання. 3. Аналіз існуючих машин.
 4. Конструкція проектованої борони. 5. Основні технічні параметри. 6.
Механізм регулювання кута атаки. 7. Тяговий опір та вибір енергетичного
засобу. 8. Міцність стійки та підшипникового вузла. 9. Розрахунок
напружено-деформованого стану рами. 10. Охорона праці під час роботи з
навісною бороною. 11. Економічне обґрунтування. 13. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Макаренко Д.О., к.т.н., доцент	9.05.2024	13.05.2026
2	Макаренко Д.О., к.т.н., доцент	13.05.2024	20.05.2026
3	Макаренко Д.О., к.т.н., доцент	20.05.2024	22.05.2026
4	Макаренко Д.О., к.т.н., доцент	22.05.2024	28.05.2026
5	Макаренко Д.О., к.т.н., доцент	28.05.2024	12.06.2026

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 12.05.2026 р.	виконано
2	Теоретичний	до 19.05.2026 р.	виконано
3	Розрахунковий	До 26.05.2026 р.	виконано
4	Охорона праці	до 02.06.2026 р.	виконано
5	Економічний	до 09.06.2026 р.	виконано
6	Демонстраційна частина	до 12.06.2026 р.	виконано

Студент

_____ Зеленков М.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Макаренко Д.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт освітнього рівня бакалавр виконано на тему: «Удосконалення операцій поверхневого обробітку ґрунту з розробкою конструкції дискової борони». У роботі розглянуто питання підвищення ефективності поверхневого обробітку ґрунту шляхом удосконалення конструкції навісної дискової борони.

Як базову машину-прототип прийнято дискову навісну борону типу БДН. У процесі аналізу встановлено, що такі машини мають широке застосування у сільськогосподарському виробництві, однак окремі їх конструктивні елементи потребують удосконалення з метою підвищення надійності, зручності регулювання, ремонтпридатності та якості виконання технологічного процесу.

У проєкті передбачено розробку малогабаритної навісної дискової борони з шириною захвату до 1,5 м, глибиною обробітку до 100 мм, продуктивністю не менше 1,5 га/год та регульованим кутом атаки дисків у межах 10–30°. Основну увагу приділено удосконаленню механізму регулювання кута атаки, стійки секції, вузла кріплення диска, підшипникового вузла, компоновки секцій і рами борони.

У технологічній частині обґрунтовано основні параметри проєктованої борони, виконано розрахунок продуктивності, регульованих технологічних

параметрів, тягового опору та вибрано енергетичний засіб. У проєктній частині виконано розрахунок на міцність стійки, підшипникового вузла та

		параметрів, тягового опору та вибрано енергетичний засіб. У проєктній					
		частині виконано розрахунки на міцність елемента, підшипникового вузла та	48 ДР.041.000.000.ВР				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	А.М.І.	Зеленков М.В.			Відомість дипломного проєкту		
Перевір.		Макаренко Д.О.					
Т. Контр.							
Н. Контр.		Макаренко Д.О.					
Затверд.		Деркач О.Л.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						1	1
					ДДАЕУ		

Результатом виконання дипломного проєкту є обґрунтована конструкція удосконаленої навісної дискової борони, яка забезпечує якісний поверхневий обробіток ґрунту, можливість зміни кута атаки дисків, підвищену міцність основних вузлів та зручність технічного обслуговування.

Ключові слова: поверхневий обробіток ґрунту, дискова борона, БДН, диск, кут атаки, стійка секції, підшипниковий вузол, рама борони, тяговий опір, міцність конструкції.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МАШИН ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	8
1.1. Характеристика умов поверхневого обробітку ґрунту	8
1.2. Агротехнічні вимоги до боронування	10
1.3. Аналіз машин для боронування.....	12
1.4. Ґрунтообробні машини з дисковими робочими органами.....	15
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	23
2.1. Обґрунтування конструкції борони.....	24
2.2. Обґрунтування технологічних параметрів дисків.....	26
2.3. Розрахунок регульованих технологічних параметрів борони	28
2.4. Визначення тягового опору дискової борони.....	31
2.5. Вибір енергетичного засобу.....	33
3. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	37
3.1. Розрахунок на міцність стійки секції борони.....	37
3.2. Розрахунок підшипника стійки секції борони	40
3.3. Розробка моделі об'єкта проєктування.....	41
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	57
Загальні висновки	64
Список використаних джерел.....	66
Додатки.....	69

ВСТУП

Поверхневий обробіток ґрунту є однією з важливих технологічних операцій у системі вирощування сільськогосподарських культур. Його виконують з метою розпушування верхнього шару ґрунту, подрібнення грудок, знищення бур'янів, часткового загортання післяжнивних решток, вирівнювання поверхні поля та збереження вологи.

У сучасному сільськогосподарському виробництві особливого значення набуває застосування ґрунтообробних машин, які забезпечують високу продуктивність, надійність роботи, універсальність використання та якісне виконання технологічного процесу за мінімальних енергетичних витрат. Одними з найбільш поширених машин для поверхневого обробітку ґрунту є дискові борони.

Дискові борони мають низку переваг порівняно з іншими типами борін. Їхні сферичні дискові робочі органи здатні не лише розпушувати ґрунт, а й різати рослинні рештки, перемішувати ґрунтовий шар у боковому напрямку та забезпечувати часткове перемішування верхнього шару.

Разом із тим, аналіз існуючих конструкцій дискових борін показує, що вони не завжди повною мірою відповідають сучасним вимогам до якості, надійності та зручності експлуатації. У багатьох конструкціях складним залишається регулювання кута атаки дискових секцій.

Метою дипломного проєкту є удосконалення операцій поверхневого обробітку ґрунту шляхом розробки конструкції навісної дискової борони на основі прототипу БДН із покращеними технологічними та конструктивними параметрами.

Об'єктом проєктування є технологічний процес поверхневого обробітку ґрунту дисковими робочими органами. Предметом проєктування є конструктивні та технологічні параметри навісної дискової борони.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МАШИН ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

1.1. Характеристика умов поверхневого обробітку ґрунту

Поверхневий обробіток ґрунту є однією з основних операцій у системі землеробства, оскільки він забезпечує підготовку верхнього шару ґрунту до сівби, знищення бур'янів, заробку рослинних решток, вирівнювання поверхні поля та збереження вологи. На відміну від основного глибокого обробітку, поверхневий обробіток виконується на невелику глибину, переважно в межах 3–14 см, залежно від агротехнічного призначення операції, стану поля, типу ґрунту, вологості, забур'яненості та кількості пожнивних решток.

До операцій поверхневого обробітку належать боронування, лущення стерні, передпосівна культивування, вирівнювання поверхні, подрібнення грудок, часткове перемішування рослинних решток із ґрунтом та створення дрібногрудочкуватого посівного шару. У сучасних технологіях вирощування зернових, технічних і кормових культур поверхневий обробіток виконує не лише підготовчу, а й ґрунтозахисну функцію. Він дає змогу зменшити кількість проходів агрегатів по полю, знизити енергетичні витрати, обмежити втрати вологи та створити умови для накопичення органічної речовини у верхньому шарі.

Особливе значення поверхневий обробіток має в умовах нестійкого зволоження та підвищеної ймовірності посушливих періодів. У таких умовах надмірне розпушування або багаторазові проходи техніки можуть призвести до пересушування верхнього шару, руйнування структури ґрунту та ущільнення підорного горизонту. Тому вибір машини для поверхневого обробітку повинен враховувати не тільки якість кришення, а й здатність агрегату працювати з мінімальним переущільненням, рівномірно розподіляти рослинні рештки та формувати стабільний оброблений шар.

Основними умовами, що впливають на якість поверхневого обробітку ґрунту, є: гранулометричний склад ґрунту; вологість на момент обробітку;

твердість і щільність верхнього шару; наявність ущільнених прошарків; кількість пожнивних решток; попередник; забур'яненість поля; рельєф і вирівняність поверхні; швидкість руху агрегату; тип робочих органів і параметри їх встановлення.

На легких ґрунтах поверхневий обробіток виконується з меншим тяговим опором, але за недостатньої вологості можливе надмірне розпилення ґрунту. На важких суглинкових і глинистих ґрунтах робочі органи повинні мати достатню масу, жорсткість і здатність до заглиблення. За підвищеної вологості виникає небезпека налипання ґрунту на робочі органи, утворення брил і погіршення якості перемішування. За надмірно сухого стану ґрунт має підвищену твердість, що збільшує тяговий опір і прискорює спрацювання робочих поверхонь.

Важливою особливістю сучасного поверхневого обробітку є робота по стерні та по полях із великою кількістю рослинних решток. У таких умовах робочі органи повинні не тільки розпушувати ґрунт, але й різати стебла, частково загортати органічну масу, перемішувати її з верхнім шаром і не забиватися. Найбільш придатними для цього є дискові робочі органи, які завдяки обертовому руху зменшують забивання, краще перерізають рослинні рештки та забезпечують інтенсивне перемішування ґрунту.

Поверхневий обробіток ґрунту може виконуватися різними типами машин: зубовими, пружинними, голчастими, ротаційними та дисковими боронами, культиваторами, луцильниками, комбінованими агрегатами. Серед них дискові борони мають найбільш універсальне застосування, оскільки можуть працювати після збирання зернових, соняшнику, кукурудзи, ріпаку, сої, а також використовуватись для передпосівного обробітку, подрібнення грудок і вирівнювання поля.

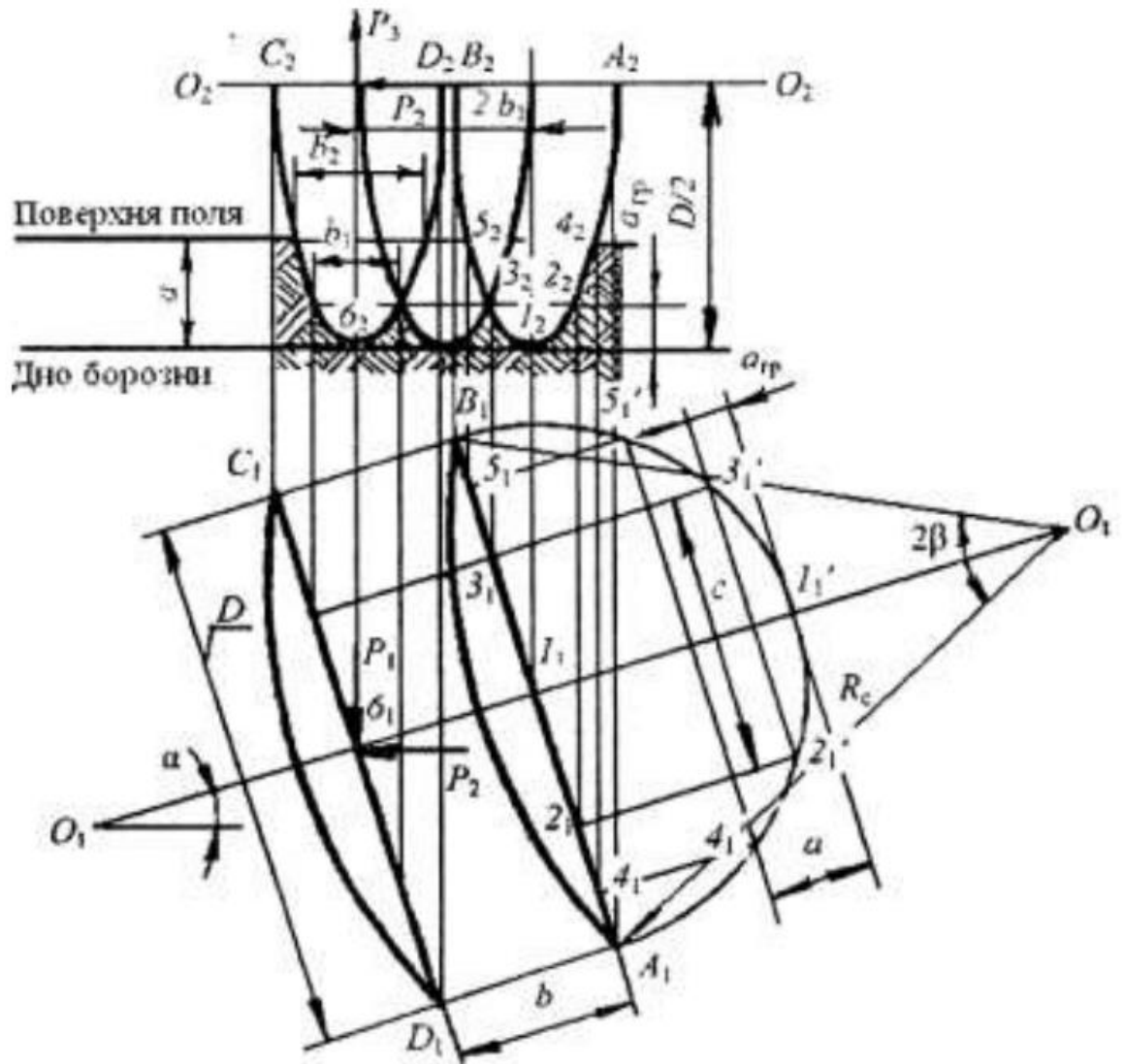


Рисунок 1.1 - Розташування дисків на осі батареї дискової борони

Під час руху диска в ґрунті його лезо відрізає скибу, піднімає її по внутрішній поверхні диска, подрібнює та зміщує вбік. Інтенсивність кришення і перемішування залежить від діаметра диска, кривизни робочої поверхні, кута атаки, кута нахилу, швидкості руху та глибини обробітку. Зі збільшенням кута атаки зростає інтенсивність перемішування, але одночасно збільшується тяговий опір і навантаження на стійку, підшипниковий вузол та раму борони.

1.2. Агротехнічні вимоги до боронування

Боронування є технологічною операцією поверхневого обробітку ґрунту, спрямованою на розпушування верхнього шару, руйнування

грунтової кірки, знищення проростків бур'янів, вирівнювання поверхні поля, закриття вологи та часткове загортання рослинних решток. Якість боронування значною мірою визначає умови проростання насіння, розвиток кореневої системи рослин і рівномірність появи сходів.

Агротехнічні вимоги до боронування встановлюються відповідно до призначення операції. Якщо боронування проводиться після основного обробітку, головною вимогою є вирівнювання поверхні, руйнування брил і створення пухкого верхнього шару. Якщо боронування виконується після збирання культури, важливим є подрібнення стерні, провокація проростання падалиці та бур'янів, часткове загортання пожнивних решток. За передпосівного обробітку основною вимогою є формування рівномірного посівного ложа з оптимальним співвідношенням дрібних і середніх ґрунтових агрегатів.

Основні агротехнічні вимоги до боронування: обробіток на задану глибину з мінімальним відхиленням по всій ширині захвату; вирівняна поверхня поля після проходу агрегату; відсутність значних гребенів, борозен і необроблених смуг; формування розпушеного дрібногрудочкуватого шару; подрібнення і рівномірне перемішування рослинних решток із ґрунтом; підрізання або вивертання проростків бур'янів; стабільна робота без забивання робочих органів; недопущення надмірного розпилення ґрунту; мінімізація ущільнення ходовими системами трактора й агрегату.

Глибина боронування залежить від типу машини та технологічної мети. Легкі борони працюють на глибину 3–5 см, середні — 5–8 см, важкі дискові борони та дискові лушпильники — до 12–16 см. Для стерньового обробітку важливо забезпечити суцільне підрізання верхнього шару, перемішування рослинних решток і створення мульчувального шару. Для передпосівної підготовки небажаним є вивертання вологого нижнього шару на поверхню, тому обробіток має бути мілким і рівномірним.

Якість боронування оцінюють за такими показниками: середня глибина обробітку; рівномірність глибини; ступінь кришення ґрунту; вирівняність

поверхні поля; кількість необроблених смуг; ступінь знищення бур'янів; повнота підрізання стерні; якість перемішування рослинних решток; гребенистість поверхні; тяговий опір агрегату; витрата пального на гектар.

Важливою вимогою є дотримання оптимальної вологості ґрунту. Якщо ґрунт перезволожений, робочі органи не забезпечують якісного кришення, а лише деформують пластичну масу, утворюючи грудки та ущільнені прошарки. Якщо ґрунт пересушений, збільшується твердість, робочі органи погано заглиблюються, зростають енергетичні витрати та спрацювання дисків. Тому боронування доцільно виконувати тоді, коли ґрунт має фізичну стиглість і добре кришиться під дією робочих органів.

Для дискових борін важливо правильно встановити кут атаки дисків. Малий кут атаки забезпечує менший тяговий опір, але слабше перемішування. Великий кут атаки підвищує інтенсивність кришення і загортання рослинних решток, але збільшує навантаження на робочі органи та енергетичні витрати. Тому конструкція сучасної дискової борони повинна передбачати можливість регулювання кута атаки відповідно до умов роботи.

1.3. Аналіз машин для боронування

Машини для боронування класифікують за типом робочих органів, способом агрегування, масою, призначенням і характером дії на ґрунт. Найбільш поширеними є зубові, пружинні, сітчасті, голчасті, ротаційні та дискові борони.

Зубові борони мають просту конструкцію і застосовуються для розпушування верхнього шару ґрунту, руйнування кірки, вирівнювання поверхні та знищення дрібних бур'янів. Їхні робочі органи — зуби квадратного, круглого або ножеподібного перерізу — діють на ґрунт шляхом розпушування і часткового переміщення частинок. Перевагами зубових борін є простота, невелика маса, низька вартість і невеликий тяговий опір. Недоліками є обмежена здатність працювати по стерні, слабе

перемішування рослинних решток і забивання за наявності великої кількості органічної маси.

Пружинні борони мають робочі органи у вигляді пружинних зубів, які коливаються під час руху та краще самоочищуються. Вони ефективні для передпосівної підготовки, закриття вологи та боротьби з ниткоподібними бур'янами. Їх доцільно застосовувати на полях із відносно невеликою кількістю пожнивних решток. Основним недоліком є недостатня дія на ущільнений ґрунт і обмежена глибина обробітку.

Сітчасті борони застосовують переважно для догляду за посівами та руйнування ґрунтової кірки. Завдяки гнучкій конструкції вони добре копіюють рельєф поля, однак не забезпечують інтенсивного розпушування і не можуть використовуватись як основний агрегат для стерньового обробітку.

Голчасті борони мають робочі органи у вигляді дисків із голками або зубцями. Вони застосовуються для мілкої обробітку, руйнування кірки, збереження стерні на поверхні та роботи в системах мінімального обробітку. Їх перевагою є менше перемішування шарів ґрунту і збереження мульчі, недоліком — обмежена ефективність за великої кількості грубостеблових решток.

Ротаційні борони обладнуються зірчастими або зубчастими робочими органами, які обертаються від взаємодії з ґрунтом. Вони забезпечують інтенсивне поверхневе кришення, а також можуть використовуватися для догляду за посівами. Однак для стерньового обробітку після культур із великою масою решток їх застосування обмежене.

Дискові борони відрізняються тим, що їхні робочі органи виконані у вигляді сферичних, вирізних, хвилястих або зубчастих дисків, які під час руху обертаються, розрізають ґрунт і рослинні рештки, піднімають скибу, кришать її та переміщують у бік. Дискові борони можуть бути легкими, середніми та важкими; навісними, напівнавісними або причіпними; одно-,

дво- або чотирирядними; із суцільними батареями або індивідуальним кріпленням кожного диска.

Переваги дискових борін полягають у здатності працювати по стерні та рослинних рештках, якісно різати і частково загортати органічну масу, зменшувати забивання порівняно із зубовими робочими органами, працювати на підвищених швидкостях і поєднувати розпушування, кришення, перемішування та вирівнювання.

До недоліків дискових борін належать більший тяговий опір порівняно з легкими зубовими боролами, підвищене спрацювання дисків і підшипникових вузлів, можливість утворення гребенів за неправильного регулювання, нерівномірність обробітку за надмірної швидкості або неправильного кута атаки, а також потреба в достатній масі агрегату для заглиблення дисків у твердий ґрунт.

Сучасні дискові борони часто комплектуються котками, вирівнювальними планками, пружинними або гумовими захистами стійок, системами регулювання глибини, а також механізмами зміни кута атаки. Це дає змогу підвищити якість роботи, зменшити кількість проходів і адаптувати агрегат до різних польових умов.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика машин для боронування

Тип борони	Основне призначення	Переваги	Недоліки
Зубова	Розпушування, закриття вологи, руйнування кірки	Проста конструкція, мала маса, низький тяговий опір	Слабко працює по стерні, забивається рештками
Пружинна	Передпосівний обробіток, знищення дрібних бур'янів	Добре самоочищається, копіює поверхню	Обмежена дія на твердий ґрунт

Продовження таблиці 1.1

Сітчаста	Догляд за посівами, руйнування кірки	Добре копіює рельєф	Мала інтенсивність розпушування
Голчаста	Мілкий обробіток, збереження стерні	Менше руйнує структуру ґрунту	Обмежена робота з великою масою решток
Ротаційна	Кришення верхнього шару, догляд за посівами	Активне поверхневе розпушування	Обмежена глибина і стерньове застосування
Дискова	Лущення стерні, передпосівний і післязбиральний обробіток	Ріже рештки, перемішує ґрунт, універсальна	Вищий тяговий опір, вимоги до регулювання

Аналіз машин для боронування показує, що для умов сучасного землеробства найбільш перспективними є дискові борони з індивідуальним кріпленням робочих органів, регульованим кутом атаки, надійними підшипниковими вузлами та прикочувальними котками. Саме такі машини здатні якісно виконувати поверхневий обробіток за наявності пожнивних решток і забезпечувати ресурсозбереження.

1.4. Ґрунтообробні машини з дисковими робочими органами

Ґрунтообробні машини з дисковими робочими органами широко застосовуються для поверхневого та мілкового обробітку ґрунту. Їх робочі органи можуть виконувати кілька операцій за один прохід: різання рослинних решток, розпушування ґрунту, перемішування органічної маси, часткове вирівнювання і прикочування поверхні. Основними

конструктивними елементами дискової борони є рама, навісний або причіпний пристрій, секції з дисками, стійки, підшипникові вузли, механізми регулювання глибини та кута атаки, опорні колеса або котки.

За конструкцією розрізняють дискові борони з батарейним розміщенням дисків і борони з індивідуальним кріпленням кожного диска. У батарейних боронах диски встановлюються на спільному валу, що утворює батарею. Така конструкція є відносно простою, але ускладнює самоочищення та може спричиняти забивання за великої кількості рослинних решток. У сучасних коротких дискових боронах кожен диск закріплений на окремій стійці, що покращує копіювання поверхні, зменшує забивання і підвищує рівномірність обробітку.

За формою диски можуть бути гладкими, вирізними, зубчастими, хвилястими або комбінованими. Гладкі диски краще підходять для вирівнювання і менш інтенсивного обробітку. Вирізні та зубчасті диски краще заглиблюються в ґрунт, активніше розрізають рослинні рештки й забезпечують інтенсивніше перемішування. Хвилясті диски використовуються для ультрамілкового обробітку, коли потрібно забезпечити суцільне підрізання верхнього шару без надмірного переміщення ґрунту.

Робота дискового робочого органа визначається такими основними параметрами: діаметр диска; товщина диска; форма леза; радіус кривизни; кут атаки; кут нахилу; відстань між дисками; кількість рядів; глибина обробітку; швидкість руху агрегату; навантаження на один диск.

Збільшення діаметра диска сприяє кращій роботі по пожнивних рештках і дає змогу обробляти ґрунт на більшу глибину. Водночас великі диски потребують більшої маси агрегату та більшої тягової потужності трактора. Зменшення відстані між дисками покращує суцільність обробітку, але може підвищувати ризик забивання. Збільшення кількості рядів покращує перемішування, проте збільшує металоємність і тяговий опір.

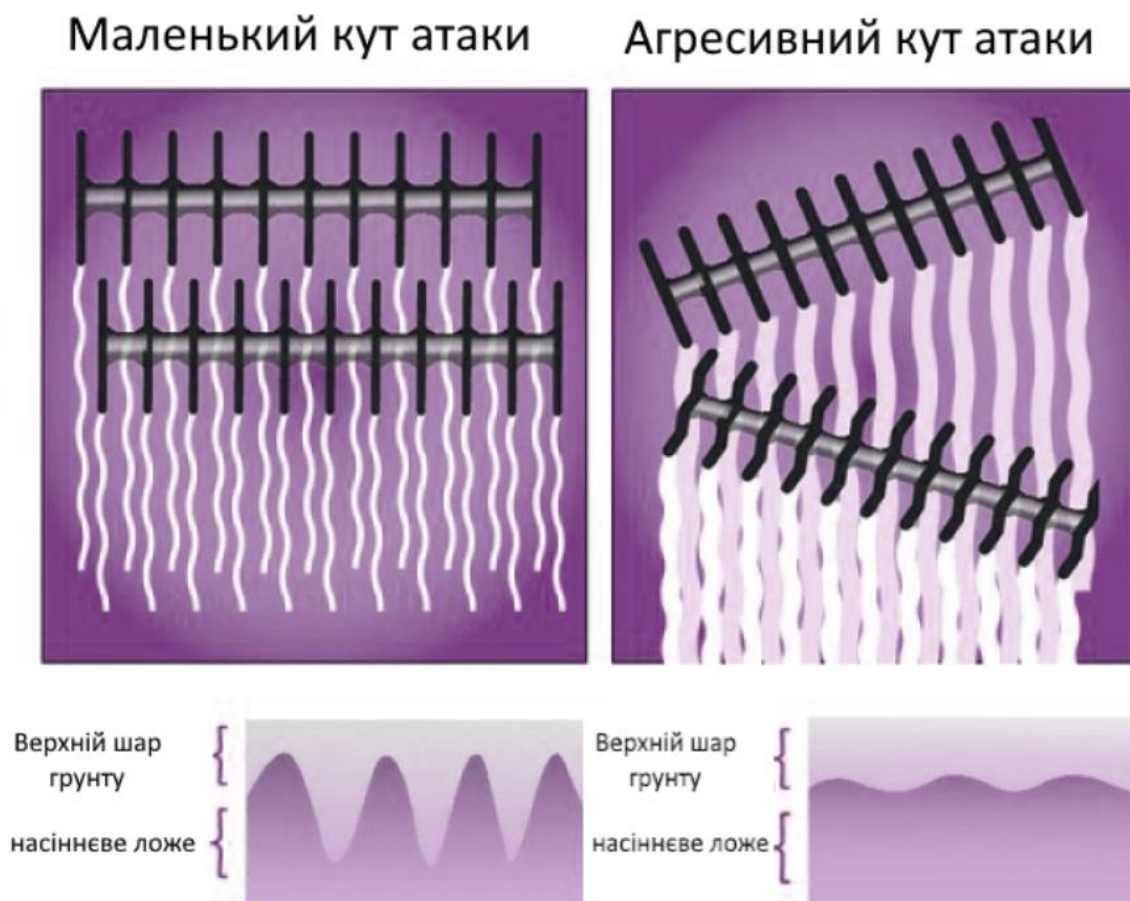


Рисунок 1.2 – Схема дії дворядної дискової борони, з різним кутом атаки, на ґрунт

LEMKEN Rubin 10 — компактна дискова борона, призначена для інтенсивного стерньового та поверхневого обробітку. За даними виробника, машина має робочу глибину до 14 см, симетричне розміщення увігнутих зубчастих дисків і диски DuraMaxx діаметром 645 мм.

BEDNAR ATLAS AE_L — важка компактна дискова борона для роботи на полях із великою кількістю рослинних решток, зокрема після кукурудзи, соняшнику або озимого ріпаку. У конструкції застосовано диски 620×6 мм, встановлені попарно за системою TWIN-DISC.

KUHN OPTIMER L/XL — дисковий стерньовий культиватор, який може використовуватися для луцення стерні, передпосівної підготовки і перемішування рослинних решток. Серія OPTIMER охоплює машини з робочою шириною від 3 до 12,5 м; OPTIMER L оснащується дисками

діаметром 510 мм, а OPTIMER XL — дисками більшого діаметра для інтенсивнішого обробітку.

Väderstad Carrier — універсальний дисковий культиватор для мілкою та інтенсивного обробітку. Залежно від комплектації він може працювати у діапазоні від ультрамілкою обробітку до глибшого перемішування пожнивних решток.

LOZOVA MACHINERY DUCAT — лінійка коротких дискових борін-лушпильників українського виробництва, призначених для стерньового обробітку, перемішування ґрунту з рослинною масою та роботи на полях із різною кількістю решток.

ELVORTI PALLADA — дискові борони з індивідуальним розміщенням дисків на стійках, які використовуються для передпосівного і післязбирального обробітку, подрібнення грудок, заробки добрив та пожнивних решток.



Рисунок 1.3 – LEMKEN Rubin 10: загальний вигляд дискової борони



Рисунок 1.4 – BEDNAR ATLAS AE_L: загальний вигляд дискової борони



Рисунок 1.5 – KUHN OPTIMER L/XL: загальний вигляд дискової борони



Рисунок 1.6 – LOZOVIA MACHINERY DUCAT: загальний вигляд дискової борони



Рисунок 1.7 – Väderstad Carrier: загальний вигляд дискової борони



Рисунок 1.8 – ELVORTI PALLADA: загальний вигляд дискової борони

Таблиця 1.2 – Приклади сучасних дискових борін різних виробників

Виробник	Модель	Особливості конструкції	Призначення
LEMKEN	Rubin 10 / Rubin 12	Великі диски, інтенсивне перемішування, симетричне розміщення дисків	Стерньовий і поверхневий обробіток
BEDNAR	ATLAS	Великі диски, система TWIN-DISC, робота з великою кількістю решток	Важкий стерньовий обробіток
KUHN	OPTIMER	Дворядна дискова система, можливість комплектації різними котками	Лущення стерні, передпосівний обробіток

Продовження таблиці 1.2

Väderstad	Carrier	Варіанти для ультрамілкового та глибшого обробітку	Мілкий обробіток, перемішування решток
LOZOVA MACHINERY	DUCAT	Коротка дискова борона- луцильник, широка лінійка захватів	Стерньовий обробіток, перемішування рослинної маси
ELVORTI	PALLADA	Індивідуальні стійки дисків, регулювання кута атаки	Передпосівний і післязбиральний обробіток

Порівняльний аналіз конструкцій показує, що сучасні дискові борони розвиваються у напрямі підвищення швидкості роботи, збільшення ресурсу робочих органів, покращення копіювання рельєфу, зменшення обслуговування підшипникових вузлів і забезпечення стабільної глибини обробітку. Водночас залишається актуальним завдання удосконалення конструкції дискової борони для конкретних умов експлуатації. Особливу увагу необхідно приділити міцності рами, надійності стійок, довговічності підшипникових вузлів, можливості регулювання кута атаки та забезпеченню рівномірного обробітку по всій ширині захвату.

Отже, для подальшого проєктування доцільно прийняти за основу конструкцію короткої дворядної дискової борони з індивідуальним кріпленням дисків, регульованим кутом атаки, прикочувальним котком і посиленою рамою. Такий тип машини найбільш повно відповідає вимогам поверхневого обробітку ґрунту, забезпечує якісне кришення, перемішування рослинних решток і вирівнювання поверхні поля.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Метою технологічної частини є обґрунтування конструктивної схеми проектованої дискової борони, визначення її основних технологічних параметрів, розрахунок регульованих режимів роботи, тягового опору та вибір енергетичного засобу. Проектована машина повинна забезпечувати поверхневий обробіток ґрунту на глибину до 100 мм, мати ширину захвату до 1,5 м, продуктивність не менше 1,5 га/год і регульований кут атаки дисків у межах 10–30°.

Виходячи з вимог до якості поверхневого обробітку, борона розглядається як навісна коротка дворядна дискова машина з індивідуальним кріпленням робочих органів. Така схема є доцільною для малогабаритного агрегату, оскільки забезпечує компактність, добру маневреність, рівномірний обробіток по ширині захвату, можливість роботи по стерні та порівняно просту систему регулювання глибини й кута атаки дисків.

Таблиця 2.1 – Технічні вимоги та прийняті параметри проектованої дискової борони

Показник	Вимога	Прийнято у проєкті
Ширина захвату, м	до 1,5	1,50
Глибина обробітку, мм	до 100	40–100
Продуктивність, га/год	не менше 1,5	1,53 за $v = 12$ км/год
Кут атаки дисків, град	10–30	10; 15; 20; 25; 30
Тип машини	поверхневий обробіток	навісна коротка дворядна дискова борона
Кількість рядів дисків	не регламентовано	2
Загальна кількість дисків, шт.	за розрахунком	12
Діаметр диска, мм	за розрахунком	460

Продовження таблиці 2.1

Агрегатування	за тяговим опором	трактор класу 1,4 потужністю 55–60 кВт
---------------	-------------------	---

2.1 Обґрунтування конструкції борони

Для виконання поверхневого обробітку ґрунту приймається конструкція короткої дискової борони з двома рядами сферичних дисків, установлених на індивідуальних стійках. Передній ряд дисків переміщує ґрунт в один бік, а задній ряд дисків компенсує бокове зміщення, додатково кришить скибу та вирівнює поверхню поля. За робочими органами встановлюється коток, який обмежує глибину обробітку, ущільнює нижню частину обробленого шару та вирівнює поверхню після проходу агрегату.

Навісна схема агрегатування обрана через невелику ширину захвату машини. Вона зменшує металоємність порівняно з причіпною схемою, спрощує розвороти на краях поля та дає змогу застосовувати борону з тракторами тягового класу 1,4. Рама виконується зварною з двох поперечних балок, поздовжніх зв'язків і навісного пристрою. Для підвищення жорсткості доцільно застосувати коробчастий профіль, а в місцях кріплення стійок передбачити підсилювальні накладки.

Індивідуальне кріплення дисків має переваги над батарейною схемою для проектованої малої борони: кожен диск краще копіює мікрорельєф, між стійками залишається вільний простір для проходження рослинних решток, а у випадку спрацювання або пошкодження окремого робочого органа його можна замінити без розбирання всієї батареї. Підшипниковий вузол доцільно прийняти закритого типу з ущільненнями, оскільки він працює в умовах пилу, абразивного середовища та періодичних ударних навантажень.

Конструкція повинна передбачати регулювання кута атаки дисків. Для малої борони раціональним є ступінчастий механізм на секторній планці з отворами, що забезпечує фіксацію робочої секції у положеннях 10°, 15°, 20°,

25° і 30°. Таке рішення просте у виготовленні, надійне в експлуатації та достатньо точне для виробничих умов.

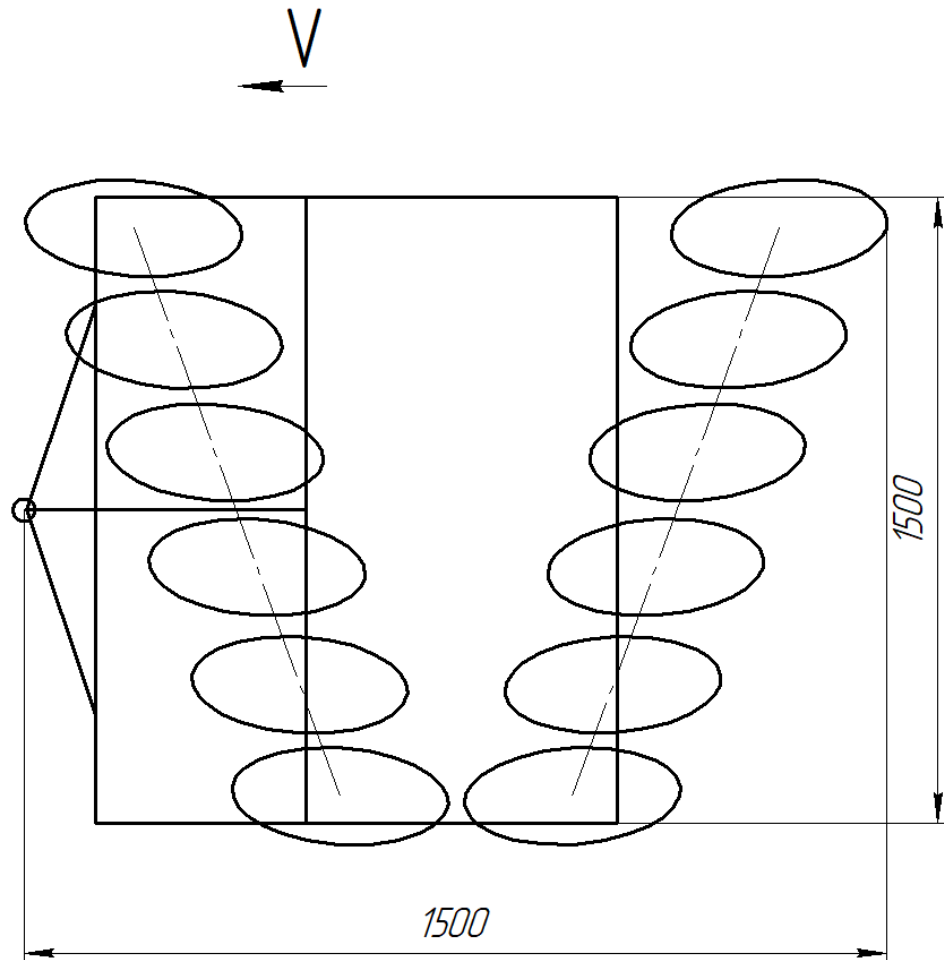


Рисунок 2.1 – Загальна конструктивно-технологічна схема
проектованої дворядної дискової борони

Основними складальними одиницями проекрованої борони є: навісний пристрій; зварна рама; передня дискова секція; задня дискова секція; індивідуальні стійки дисків; підшипникові вузли; сферичні диски; механізм регулювання кута атаки; опорно-прикочувальний коток; елементи регулювання глибини обробітку.

Прийнята схема забезпечує суміщення кількох технологічних операцій за один прохід: різання рослинних решток, розпушування верхнього шару, кришення скиби, часткове перемішування ґрунту з органічною масою та вирівнювання поверхні. Це відповідає вимогам ресурсозберігаючого

поверхневого обробітку і зменшує потребу в додаткових проходах агрегатів по полю.

2.2 Обґрунтування технологічних параметрів дисків

Технологічні параметри дискових робочих органів визначають якість кришення, інтенсивність перемішування, здатність до заглиблення та тяговий опір борони. До основних параметрів належать діаметр диска D , товщина δ , глибина обробітку a , кут атаки α , кут нахилу диска β , міждисковий інтервал t , кількість дисків і кількість рядів.

Максимальна робоча глибина для дискових робочих органів повинна становити орієнтовно не більше 0,20–0,25 діаметра диска. За цієї умови диск достатньо заглиблюється в ґрунт, не працює на межі геометричного занурення і зберігає запас для проходження пожнивних решток.

$$a_{\max} \leq (0,20 \dots 0,25) \cdot D, \quad (2.1)$$

де $a_{\max}$ – максимальна глибина обробітку, м; D – діаметр диска, м.

З умови забезпечення глибини обробітку до 100 мм мінімальний діаметр диска визначається за виразом:

$$D \geq a_{\max} / 0,22 = 0,10 / 0,22 = 0,455 \text{ м.} \quad (2.2)$$

Отже, приймаємо стандартний діаметр диска $D = 460$ мм. Відношення глибини до діаметра становить:

$$a_{\max} / D = 0,10 / 0,46 = 0,217 < 0,25. \quad (2.3)$$

Умова геометричної працездатності виконується, тому диск діаметром 460 мм можна прийняти для проекрованої борони. Товщину диска приймаємо $\delta = 4$ мм. Така товщина є достатньою для борони малої ширини захвату, забезпечує прийнятну міцність леза та не призводить до надмірного збільшення маси робочого органу.

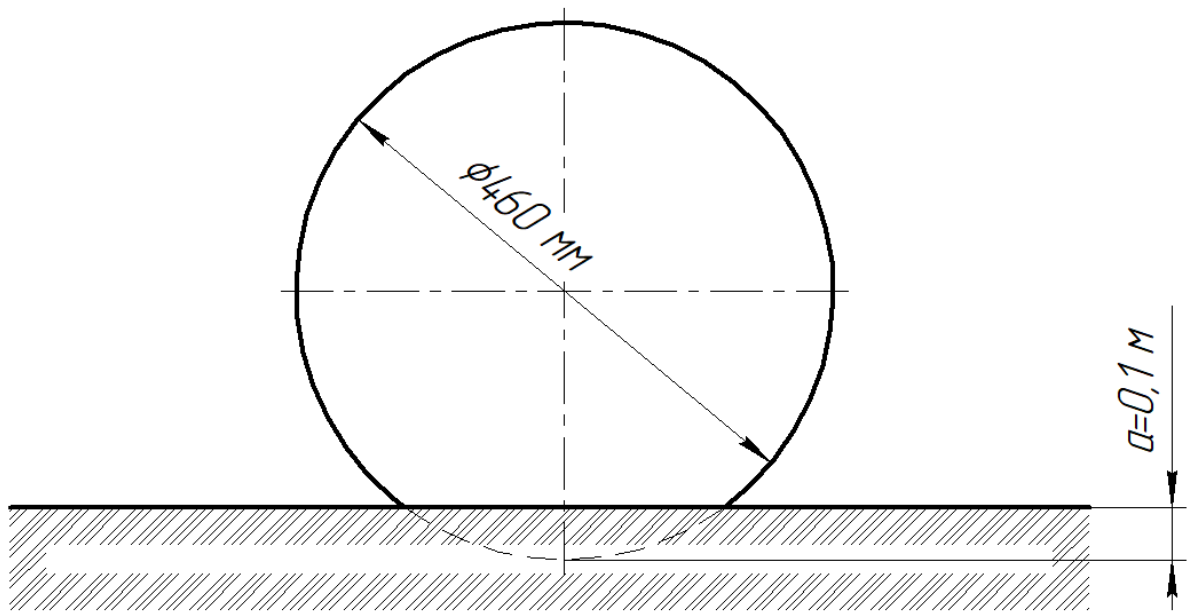


Рисунок 2.2 – Основні технологічні параметри дискового робочого органа

Для забезпечення ширини захвату 1,5 м приймаємо два ряди дисків із міждисковим інтервалом у ряду $t = 250 \text{ мм}$. Задній ряд зміщується відносно переднього на половину інтервалу, тобто на 125 мм. Це забезпечує перекриття слідів дисків і зменшує ймовірність утворення необроблених смуг.

$$N_p = B / t = 1,50 / 0,25 = 6 \text{ шт.} \quad (2.4)$$

де n_p – кількість дисків в одному ряду; B – ширина захвату борони, м; t – відстань між дисками в ряду, м.

$$n_{\text{заг}} = 2 \cdot n_p = 2 \cdot 6 = 12 \text{ шт.} \quad (2.5)$$

Отже, проєктована борона має 12 дисків: 6 дисків у передньому ряду і 6 дисків у задньому ряду. Відстань між рядами приймаємо 650–700 мм, що достатньо для проходження ґрунтової маси і рослинних решток без забивання.

Кут атаки дисків приймається регульованим у межах 10–30°. За малих кутів атаки зменшується тяговий опір і забезпечується мілке розпушування.

При збільшенні кута атаки підвищується інтенсивність кришення, перемішування і загортання рослинних решток, однак зростають тяговий опір і навантаження на стійки та раму. Тому конструкція повинна забезпечувати зміну кута залежно від конкретних умов роботи.

Таблиця 2.2 – Прийняті технологічні параметри дискових робочих органів

Параметр	Позначення	Прийняте значення	Обґрунтування
Діаметр диска	D	460 мм	забезпечує обробіток до 100 мм
Товщина диска	δ	4 мм	достатня міцність і помірна маса
Максимальна глибина	$a_{\max}$	100 мм	відповідно до технічних вимог
Кількість рядів	z	2	компенсація бокового зміщення ґрунту
Кількість дисків у ряду	n_p	6	за шириною 1,5 м та інтервалом 250 мм
Загальна кількість дисків	$n_{\text{заг}}$	12	два ряди по 6 дисків
Інтервал у ряду	t	250 мм	задній ряд зміщений на 125 мм
Кут атаки	α	10–30°	регулювання інтенсивності обробітку
Рекомендована швидкість	v	10–12 км/год	досягнення продуктивності та якості кришення

2.3 Розрахунок регульованих технологічних параметрів борони

До регульованих технологічних параметрів проекрованої борони належать глибина обробітку, кут атаки дисків і робоча швидкість агрегату.

Регулювання глибини здійснюється зміною положення опорно-прикочувального котка відносно рами. Регулювання кута атаки виконується поворотом секцій або окремих стояків із фіксацією на секторній планці. Робоча швидкість вибирається з урахуванням продуктивності, якості кришення та тягових можливостей трактора.

Для розрахунку продуктивності використовується залежність:

$$W = 0,1 \cdot B \cdot v \cdot \tau, \quad (2.6)$$

де W – змінна продуктивність агрегату, га/год;

B – робоча ширина захвату, м;

v – робоча швидкість, км/год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни.

Для невеликої навісної борони з урахуванням розворотів, регулювання і перекриттів приймаємо $\tau = 0,85$.

Мінімальна швидкість, необхідна для забезпечення продуктивності не менше 1,5 га/год, становить:

$$V_{\min} = W_{\min} / (0,1 \cdot B \cdot \tau) = 1,5 / (0,1 \cdot 1,5 \cdot 0,85) = 11,76 \text{ км/год.} \quad (2.7)$$

Отже, для виконання технічної вимоги щодо продуктивності приймаємо робочу швидкість $v = 12$ км/год. За цієї швидкості продуктивність дорівнює:

$$W = 0,1 \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 0,85 = 1,53 \text{ га/год.} \quad (2.8)$$

Отримане значення перевищує мінімально допустиму продуктивність, тому прийнята ширина захвату і швидкісний режим є обґрунтованими. За важких ґрунтових умов або за максимальної глибини обробітку швидкість може бути знижена до 10–11 км/год, однак у цьому випадку продуктивність буде меншою, тому для виконання вимоги 1,5 га/год слід працювати на верхній межі рекомендованого швидкісного діапазону.

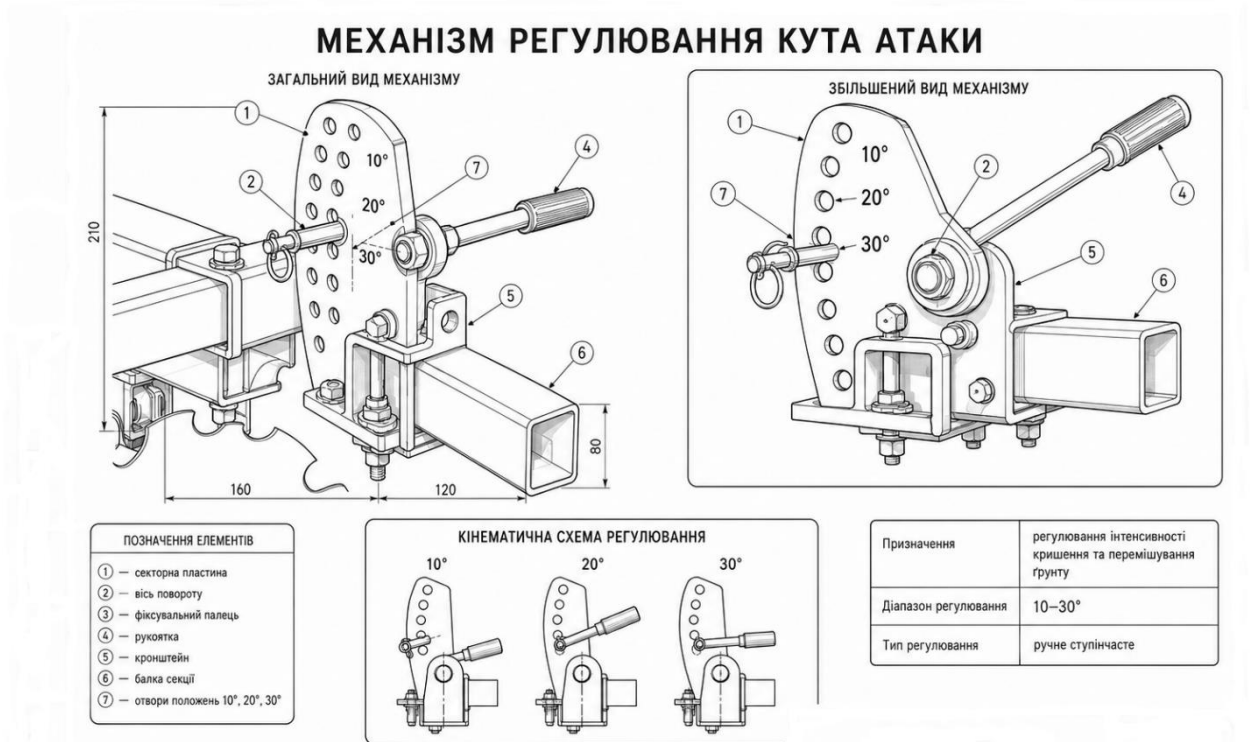


Рисунок 2.3 – Схема ступінчастого регулювання кута атаки диска

Положення кута атаки доцільно призначати залежно від стану ґрунту і технологічної мети операції. За передпосівного обробітку, коли потрібно мінімально перемішувати ґрунт і зберегти вологу, кут атаки встановлюють 10–15°. Для лушення стерні та заробки рослинних решток раціональним є кут 20–25°. За підвищеної твердості ґрунту, значної кількості рослинної маси або необхідності інтенсивного перемішування встановлюють 25–30°.

Таблиця 2.3 – Рекомендовані налаштування борони залежно від умов роботи

Умови	а, мм	α, град	v, км/год	Ефект
Волога	40–60	10–15	11–12	Мілке розпушування
Сівба	50–70	15–20	10–12	Посівний шар
Стерня	60–90	20–25	10–12	Підрізання бур'янів, перемішування решток
Твердий	80–100	25–30	9–11	Інтенсивне кришення

Глибина обробітку встановлюється так, щоб усі диски рівномірно заглиблювалися на задану величину. Для цього борона повинна мати достатню масу, жорстку раму, правильне положення навіски та стабільну опору на коток. Після встановлення кута атаки обов'язково перевіряють горизонтальність рами, оскільки перекис призводить до нерівномірної глибини переднього і заднього рядів.

2.4 Визначення тягового опору дискової борони

Тяговий опір дискової борони залежить від ширини захвату, глибини обробітку, типу ґрунту, вологості, кута атаки дисків, швидкості руху, маси агрегату та стану робочих органів. Для проектного розрахунку тяговий опір визначаємо за спрощеною залежністю, яка враховує опір ґрунту робочим органам і опір переміщенню самої машини:

$$R = K \cdot B \cdot a \cdot k_{\alpha} + G \cdot f, \quad (2.9)$$

де R – тяговий опір борони, кН;

K – питомий коефіцієнт опору ґрунту, кН/м²;

B – ширина захвату, м;

a – глибина обробітку, м;

k_{α} – коефіцієнт впливу кута атаки;

G – вага борони, кН;

f – коефіцієнт опору коченню та переміщенню машини.

Для розрахунку приймаємо: $B = 1,5$ м; $a = 0,10$ м; $K = 45$ кН/м² для середніх умов роботи; $G = 5,0$ кН, що відповідає орієнтовній масі борони близько 500 кг; $f = 0,10$. Коефіцієнт впливу кута атаки приймаємо за залежністю:

$$k_{\alpha} = 1 + 0,015 \cdot (\alpha - 20), \quad (2.10)$$

де α – кут атаки дисків, град. За $\alpha = 20^\circ$ коефіцієнт дорівнює 1,00; за меншого кута опір зменшується, за більшого – зростає.

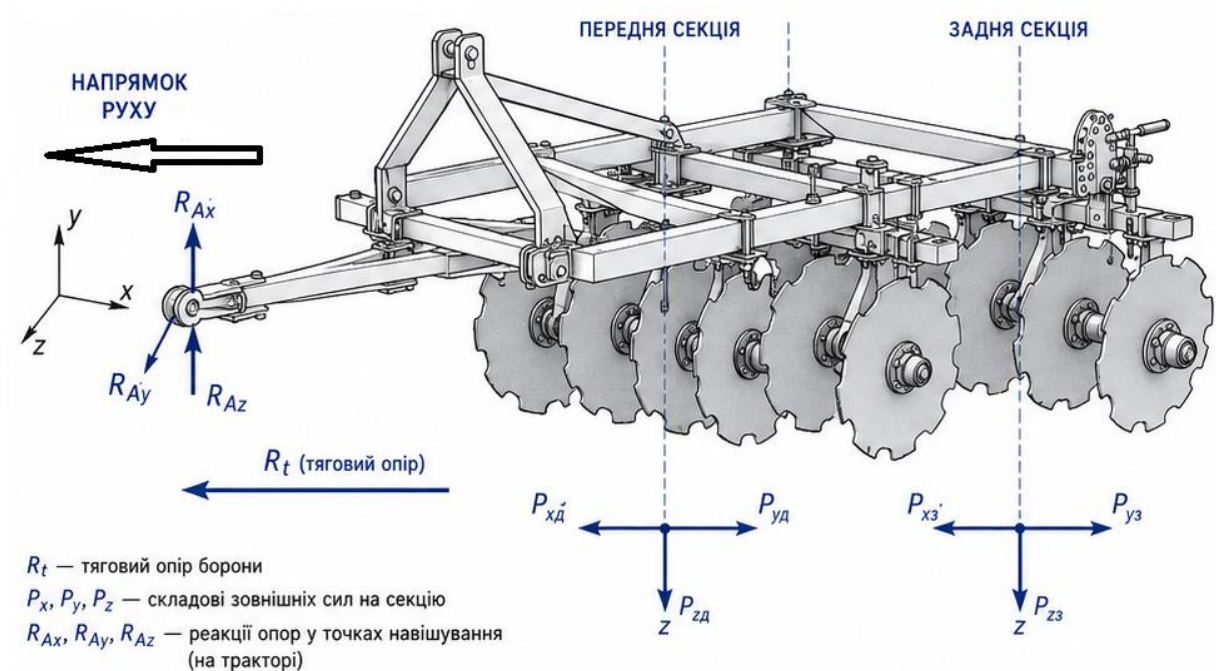


Рисунок 2.4 – Схема сил, що діють на дисковий робочий орган під час обробітку ґрунту

Розрахунок виконуємо для трьох характерних положень кута атаки: 10° , 20° і 30° . Максимальний тяговий опір очікується за найбільшої глибини обробітку та кута атаки 30° .

Таблиця 2.4 – Розрахунок тягового опору проекрованої борони

Кут атаки α , град	Коефіцієнт k_α	Тяговий опір R , кН	Розрахунковий опір з запасом 25%, кН
10	0.850	6.24	7.80
15	0.925	6.74	8.43
20	1.000	7.25	9.06
25	1.075	7.76	9.70
30	1.150	8.26	10.33

За максимально важкого розрахункового режиму $\alpha = 30^\circ$ отримуємо $R = 8,26$ кН. З урахуванням запасу 25% для нерівномірності ґрунтових умов, локального ущільнення, забивання рослинними рештками та динамічних навантажень розрахунковий тяговий опір становить:

$$R_{\text{розр}} = 8,26 \cdot 1,25 = 10,33 \text{ кН.} \quad (2.11)$$

Отримане значення використовується для вибору енергетичного засобу. Слід зазначити, що при роботі на менших кутах атаки і глибині 60–80 мм фактичний тяговий опір буде нижчим, тому агрегат матиме достатній запас за тяговими можливостями.

2.5 Вибір енергетичного засобу

Енергетичний засіб вибирають за двома основними умовами: забезпечення потрібної тягової сили на робочій передачі та достатність потужності двигуна для руху агрегату з розрахунковою швидкістю. Для проекрованої борони розрахунковий тяговий опір становить $R_{\text{розр}} = 10,33$ кН, а робоча швидкість, необхідна для продуктивності не менше 1,5 га/год, становить $v = 12$ км/год.

Потужність на гаку трактора визначається за формулою:

$$N_{\text{г}} = R_{\text{розр}} \cdot v / 3,6, \quad (2.12)$$

де N_r – тягова потужність на гаку, кВт;

$R_{розр}$ – розрахунковий тяговий опір, кН;

v – робоча швидкість, км/год.

$$N_r = 10,33 \cdot 12 / 3,6 = 34,4 \text{ кВт.} \quad (2.13)$$

Необхідна ефективна потужність двигуна з урахуванням втрат у трансмісії та експлуатаційного запасу визначається за виразом:

$$N_{дв} = N_r / (\eta_t \cdot \zeta), \quad (2.14)$$

де η_t – коефіцієнт корисної дії трансмісії, приймаємо, $\eta_t = 0,80$;

ζ – коефіцієнт використання потужності двигуна з урахуванням резерву, приймаємо $\zeta = 0,85$.

$$N_{дв} = 34,4 / (0,80 \cdot 0,85) = 50,6 \text{ кВт.} \quad (2.15)$$

Отже, для агрегування проекрованої борони потрібен трактор з потужністю двигуна не менше 50,6 кВт. З урахуванням запасу, польових умов і потреби підтримувати швидкість 10–12 км/год доцільно вибрати трактор тягового класу 1,4 з потужністю 55–60 кВт. Як типовий енергетичний засіб може бути використаний трактор МТЗ-82.1 або аналогічний за тяговим класом і потужністю трактор.

Перевіримо тягову умову. Орієнтовна зчіпна вага трактора класу 1,4 становить 34–36 кН. За коефіцієнта зчеплення рушіїв із ґрунтом $\phi = 0,45$ доступна тягова сила дорівнює:

$$P_{доп} = \phi \cdot G_{тр} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ кН.} \quad (2.16)$$

Оскільки $P_{доп} = 15,75 \text{ кН} > R_{розр} = 10,33 \text{ кН}$, умова тягового зчеплення виконується. Це означає, що трактор класу 1,4 має достатній запас тягового

зусилля для роботи з проектованою дисковою бороною за максимальної глибини обробітку і кута атаки 30° .

Таблиця 2.5 – Обґрунтування вибору енергетичного засобу

Показник	Позначення	Значення
Розрахунковий тяговий опір борони	$R_{\text{розр}}$	10,33 кН
Робоча швидкість	v	12 км/год
Потужність на гаку	$N_{\text{г}}$	34,4 кВт
ККД трансмісії	$\eta_{\text{т}}$	0,80
Коефіцієнт експлуатаційного запасу	ζ	0,85
Потрібна потужність двигуна	$N_{\text{дв}}$	50,6 кВт
Рекомендований клас трактора	-	тяговий клас 1,4
Рекомендована потужність двигуна	-	55–60 кВт
Приклад енергетичного засобу	-	МТЗ-82.1 або аналогічний трактор

Прийнятий енергетичний засіб забезпечує виконання технологічної операції з потрібною продуктивністю та має запас за потужністю і тяговим зусиллям. За нормальних умов роботи агрегат МТЗ-82.1 + дискова борона шириною 1,5 м може працювати на швидкості 10–12 км/год, а за легших умов – підтримувати продуктивність понад 1,5 га/год.

Висновок

У технологічній частині обґрунтовано конструкцію проекрованої дискової борони для поверхневого обробітку ґрунту. Прийнято навісну коротку дворядну схему з індивідуальним кріпленням 12 сферичних дисків діаметром 460 мм. Така конструкція забезпечує ширину захвату 1,5 м, робочу

глибину до 100 мм, можливість роботи по стерні та рівномірне перемішування верхнього шару ґрунту.

Розраховано основні технологічні параметри: у кожному ряду встановлюється 6 дисків із міждисковим інтервалом 250 мм, задній ряд зміщується відносно переднього на 125 мм, кут атаки регулюється в межах 10–30°. Для забезпечення продуктивності не менше 1,5 га/год при ширині захвату 1,5 м необхідна робоча швидкість становить 11,76 км/год, тому прийнято $v = 12$ км/год, за якої продуктивність дорівнює 1,53 га/год.

За максимальної глибини 100 мм і кута атаки 30° тяговий опір борони з урахуванням 25% запасу становить 10,33 кН. Необхідна потужність двигуна трактора становить 50,6 кВт. Для агрегування рекомендовано трактор тягового класу 1,4 потужністю 55–60 кВт, наприклад МТЗ-82.1 або аналогічний за технічними характеристиками енергетичний засіб.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

У проєктній частині виконано розрахунок на міцність стійки секції дискової борони, розрахунок підшипника стійки секції та розроблено спрощену модель об'єкта проєктування. Крім того, проведено розрахунок на міцність рами дискової борони з візуалізацією найбільш навантажених зон. Розрахунки виконані для проєктованої короткої дворядної дискової борони шириною захвату 1,5 м із 12 дисками діаметром 460 мм, глибиною обробітку до 100 мм і регулюванням кута атаки дисків у межах 10–30°.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для проєктного розрахунку

Параметр	Позначення	Значення
Ширина захвату борони	B	1,5 м
Максимальна глибина обробітку	h	0,10 м
Кількість дисків	n	12 шт.
Діаметр диска	D	460 мм
Робоча швидкість для розрахунку	V	10 км/год
Діапазон кута атаки	α	10–30°
Матеріал рами	-	Сталь Ст3 / S235
Матеріал стійки	-	Сталь 09Г2С або еквівалент

3.1 Розрахунок на міцність стійки секції борони

Стійка секції сприймає сумарне навантаження від диска та взаємодії робочого органа з ґрунтом. Для спрощеного розрахунку приймаємо, що на одну стійку діють три взаємно перпендикулярні складові сили: горизонтальна P_x , бічна P_y та вертикальна P_z . З огляду на глибину обробітку до 100 мм та роботу по стерні, для одного диска прийнято: $P_x = 1000$ Н, $P_y = 550$ Н, $P_z = 450$ Н.

Результуюча сила визначається за формулою:

$$R = \sqrt{(P_x^2 + P_y^2 + P_z^2)} = \sqrt{(1000^2 + 550^2 + 450^2)} = 1226.8 \text{ Н.} \quad (3.1)$$

Розрахункова довжина стійки від місця закріплення до центра прикладання навантаження прийнята $l = 0,45 \text{ м}$. Поперечний переріз стійки приймаємо прямокутним: $60 \times 12 \text{ мм}$. Тоді момент опору перерізу становить:

$$W = b \cdot h^2 / 6 = 12 \cdot 60^2 / 6 = 7200 \text{ мм}^3. \quad (3.2)$$

Максимальний згинальний момент:

$$M = R \cdot l = 1226.8 \cdot 0,45 = 552.053 \text{ кН} \cdot \text{м} = 552053 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \quad (3.3)$$

Напруження згину:

$$\sigma = M / W = 552053 / 7200 = 76.7 \text{ МПа}. \quad (3.4)$$

Додатково визначимо дотичні напруження від поперечної сили:

$$\tau = 1,5 \cdot Q / A = 1,5 \cdot 1226.8 / (60 \cdot 12) = 2.56 \text{ МПа}. \quad (3.5)$$

Еквівалентне напруження за енергетичною теорією міцності:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} = 76.8 \text{ МПа}. \quad (3.6)$$

Для сталі з допустимим напруженням $[\sigma] = 240 \text{ МПа}$ коефіцієнт запасу міцності становить $n = [\sigma] / \sigma_{\text{екв}} = 3.12$.

Прогин верхньої точки стійки: $f = R \cdot l^3 / (3EI) = 0.82 \text{ мм}$, що є допустимим для даної конструкції.

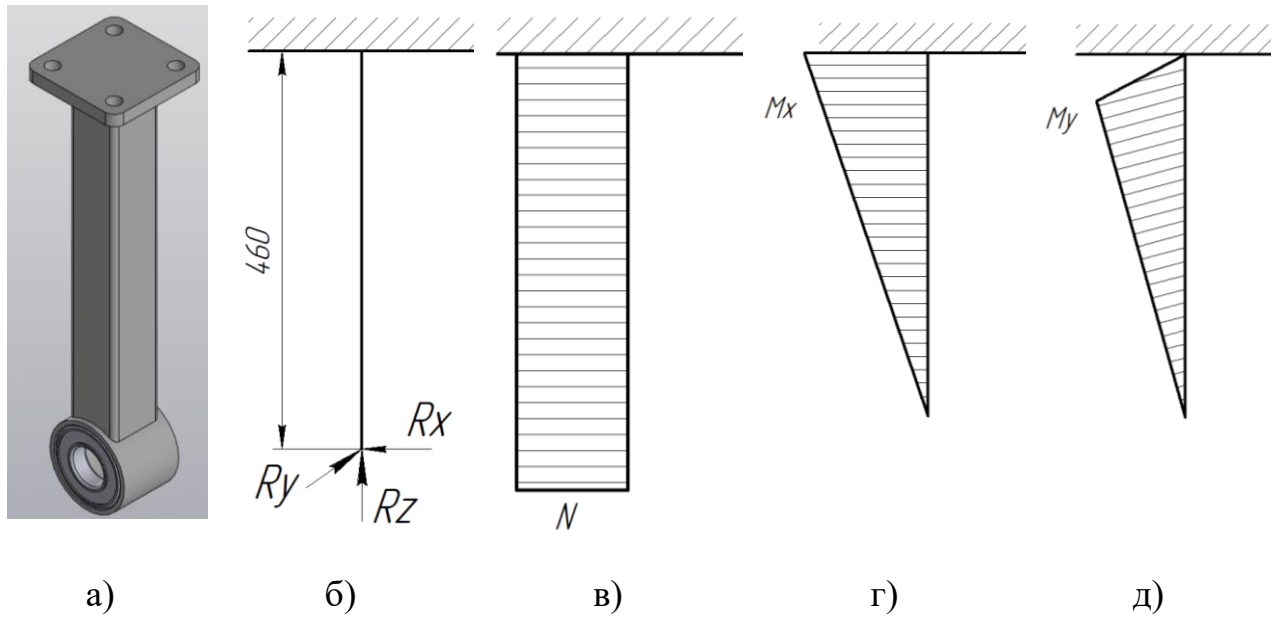


Рисунок 3.1 – Схема навантаження стійки секції дискової борони:

а - загальний вигляд; б – розрахункова схема; в – епюра нормальних сил; г – епюра згинальних моментів M_x ; д – епюра згинальних моментів M_y

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку

Показник	Формула	Значення	Висновок
Результуюча сила	$R = \sqrt{(P_x^2 + P_y^2 + P_z^2)}$	1226.8 Н	Навантаження на 1 стійку
Згинальний момент	$M = R \cdot l$	552.053 кН·м	Розрахунковий максимум
Напруження згину	$\sigma = M/W$	76.7 МПа	Менше допустимого
Еквівалентне напруження	$\Sigma_{\text{екв}} = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)}$	76.8 МПа	Стійка міцна
Коефіцієнт запасу	$n = [\sigma]/\sigma_{\text{екв}}$	3.12	Запас достатній
Прогин	$f = R \cdot l^3 / (3EI)$	0.82 мм	У межах норми

Отже, обрана стійка перерізом 60×12 мм забезпечує необхідну міцність і жорсткість при роботі дискової борони на глибині до 100 мм.

3.2 Розрахунок підшипника стійки секції борони

Для забезпечення надійної роботи диска і маточини приймаємо встановлення двох однорядних кулькових підшипників закритого типу 6207-2RS. Такий підшипник має гумові ущільнення, що є важливим при експлуатації в умовах пилу, вологи та абразивного забруднення.

Радіальне навантаження на один підшипниковий вузол приймаємо $F_r = 1,30$ кН, осьове – $F_a = 0,55$ кН. Для глибокорозточного кулькового підшипника при даному співвідношенні навантажень еквівалентне динамічне навантаження становить:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1,0 \cdot 1,30 + 1,6 \cdot 0,55 = 2,18 \text{ кН.} \quad (3.7)$$

Частота обертання диска за робочої швидкості 10 км/год і діаметра 460 мм становить $n \approx 115,3$ об/хв.

Вимагаємо ресурс підшипника не менше 5000 год. Тоді потрібна динамічна вантажопідйомність:

$$C_{\text{потр}} = P \cdot (60 \cdot n \cdot Lh / 10^6)^{1/3} = 7,10 \text{ кН.} \quad (3.8)$$

Для підшипника 6207-2RS каталожна динамічна вантажопідйомність становить $C = 25,7$ кН, а статична $C_0 = 15,3$ кН. Оскільки $C > C_{\text{потр}}$, підшипник задовольняє вимоги. Розрахунковий ресурс такого підшипника становить $L_{10h} \approx 236,776$ год.

Статична перевірка:

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a = 1,06 \text{ кН;} \quad (3.9)$$

коефіцієнт статичної безпеки:

$$f_0 = C_0 / P_0 = 14,5. \quad (3.10)$$

що значно перевищує мінімально допустиме значення.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані навантаження підшипникового вузла стійки секції

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Радіальне навантаження	F_r	1.30 кН	Від реакції ґрунту
Осьове навантаження	F_a	0.55 кН	Від кута атаки диска
Еквівалентне навантаження	P	2.18 кН	Розрахункове
Потрібна динамічна вантажопідйомність	$C_{\text{потр}}$	7.10 кН	За ресурсу 5000 год
Фактична динамічна вантажопідйомність	C	25.7 кН	Підшипник 6207-2RS
Фактична статична вантажопідйомність	C_0	15.3 кН	Каталожне значення
Розрахунковий ресурс	L_{10h}	236,776 год	Із запасом

Таким чином, застосування підшипника 6207-2RS є технічно обґрунтованим. Він забезпечує достатню вантажопідйомність, великий ресурс і захист від забруднення.

3.3 Розробка моделі об'єкта проєктування

Об'єктом проєктування є коротка дворядна дискова борона навісного типу з шириною захвату 1,5 м. Конструктивно борона містить зварну раму, навісний пристрій, дві секції дисків (по 6 дисків у кожному ряді), механізм регулювання кута атаки та прикочувальний коток. Основні поздовжні елементи рами виконуються з квадратної труби 80×80×5 мм, поперечини – з прямокутної труби 60×40×4 мм.

Для дослідження напружено-деформованого стану елементів сільськогосподарських машин нині широко застосовують сучасні інженерні програмні комплекси, які дають змогу моделювати геометрію деталей, задавати навантаження та виконувати розрахунки методом скінченних елементів. Одним із найбільш зручних і поширених засобів для такого інженерного аналізу є програмний комплекс SolidWorks.

Тривимірна твердотільна модель малогабаритної дискової борони, створена в середовищі SolidWorks, наведена на рис. 3.2.

Спрощена геометрична модель об'єкта проєктування наведена на рисунку 3.2. Вона використовується для розрахунку навантаження на раму і виявлення найбільш навантажених зон.

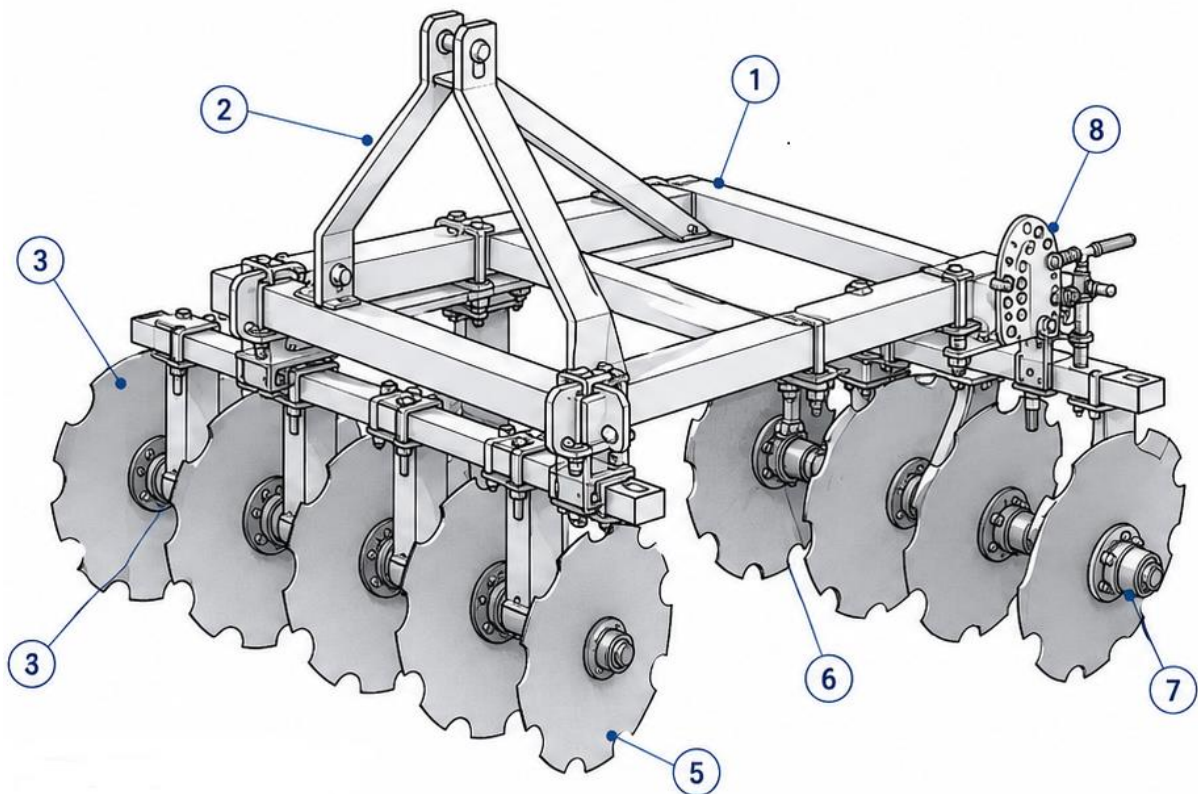


Рисунок 3.2 – Твердотільна модель дискової борони

Розрахунок міцності рами малогабаритної дискової борони виконуємо для випадку її транспортування у навісному положенні на тракторі. За такої схеми борона з'єднується з гідроначіпною системою трактора за допомогою двох нижніх пальців і верхнього кронштейна. У цьому випадку раму можна розглядати як консольну конструкцію із защемленням у місцях кріплення.

Розрахунок проводимо у модулі SolidWorks Simulation програмного комплексу SolidWorks у такій послідовності.

Спочатку твердотільну модель рами завантажуюмо в розрахункове середовище програми (рис. 3.3, а). Далі на модель наносимо сітку скінченних елементів, яка забезпечує поділ конструкції на окремі розрахункові елементи (рис. 3.3, б). Після цього задаємо умови закріплення рами в місцях розташування внутрішніх кріпильних пальців і верхнього кронштейна (рис. 3.3, в).

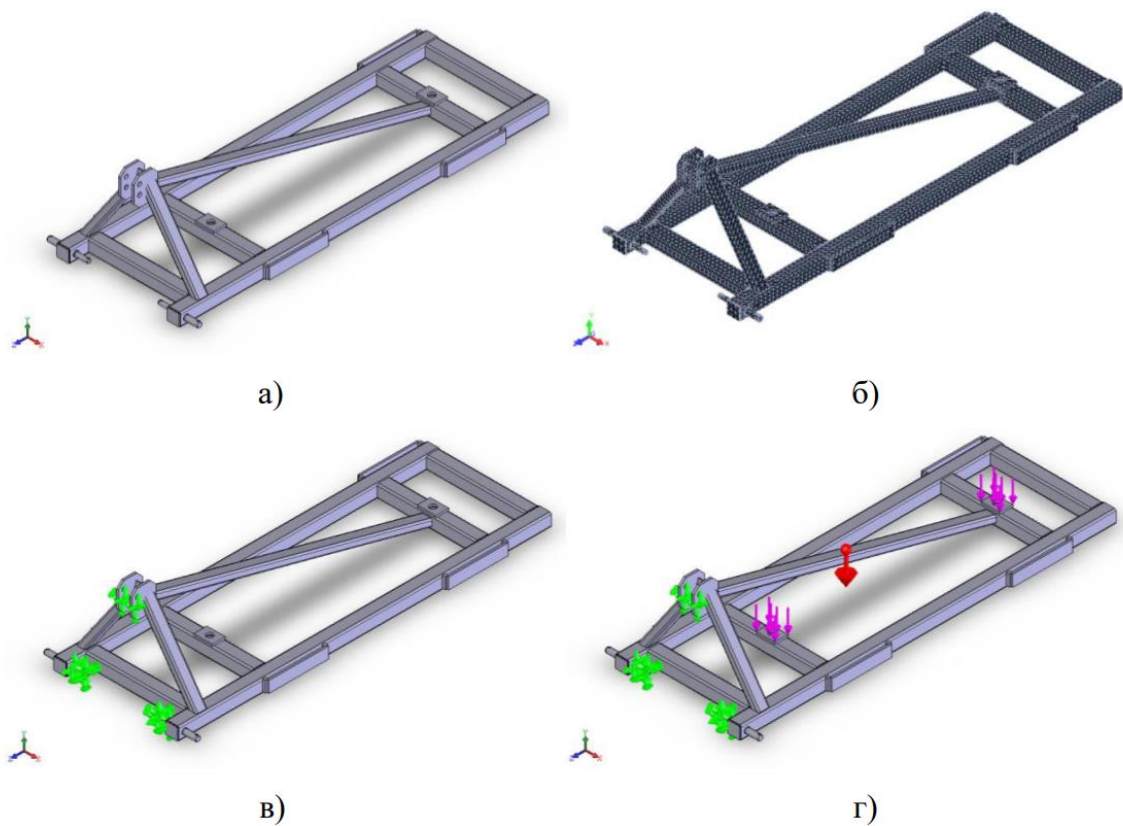


Рисунок 3.3 – Етапи підготовки твердотільної моделі рами малогабаритної дискової борони до розрахунку: а – твердотільна модель рами борони; б – сітка скінченних елементів; в – умови закріплення рами; г – зовнішні навантаження, прикладені до рами.

За результатами розрахунку встановлено, що найбільші напруження виникають у зоні кріплення пальців рами.

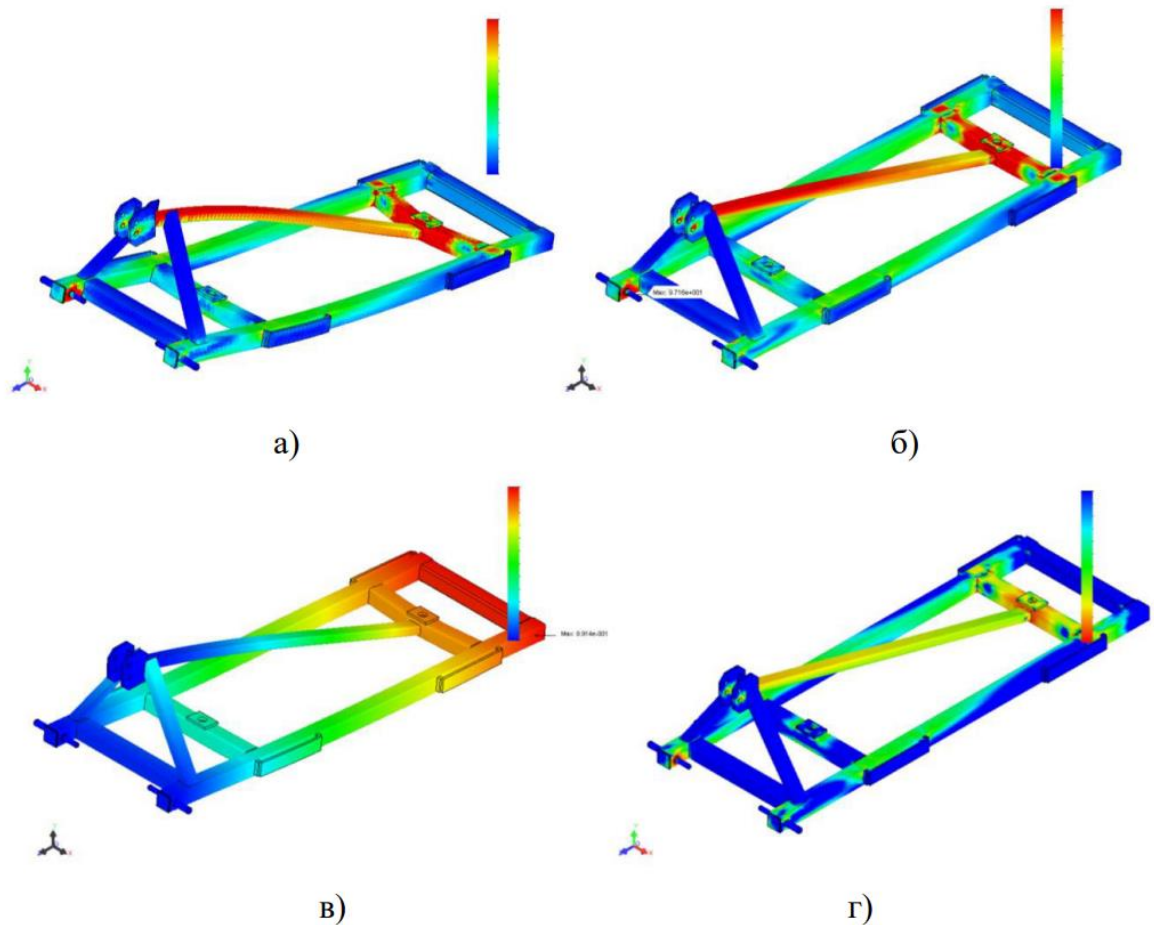


Рисунок 3.4 – Результати розрахунку напружено-деформованого стану рами малогабаритної дискової борони

Під час розрахунку на раму діють такі основні навантаження:

- сумарний тяговий опір від дванадцяти дисків $R_x \approx 12,0$ кН;
- вертикальна складова навантаження від робочих органів і маси секцій $R_z \approx 5,4$ кН;
- локальні навантаження в місцях кріплення стійок;
- концентрація напружень у зоні приєднання навісного пристрою до рами.

Для спрощеного перевірного розрахунку головну поперечну балку приймаємо як балку прольотом 1,5 м із рівномірно розподіленим вертикальним навантаженням. Тоді інтенсивність навантаження становить:

$$q = R_z / B = 5,4 / 1,5 = 3,60 \text{ кН/м.} \quad (3.11)$$

Максимальний згинальний момент у середині прольоту:

$$M_{\max} = q \cdot L^2 / 8 = 3,60 \cdot 1,5^2 / 8 = 1,01 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (3.12)$$

Для труби 80×80×5 мм момент опору перерізу становить $W = 35.3 \text{ см}^3 = 35300 \text{ мм}^3$. Тоді нормальне напруження в основній балці:

$$\sigma = M_{\max} / W = 1012500 / 35300 = 28,7 \text{ МПа}. \quad (3.13)$$

З урахуванням концентрації напружень у зоні навісного пристрою (коефіцієнт $k = 3,0$) максимальне еквівалентне напруження може досягати $\sigma_{\max} \approx 86,0 \text{ МПа}$.

Для сталі Ст3 із допустимим напруженням $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ коефіцієнт запасу рами становить $n = 1,86$. Максимальний прогин рами за результатами спрощеного розрахунку не перевищує 2,4 мм.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку рами дискової борони

Зона рами	Рівень напружень, МПа	Колір на схемі	Характеристика
Вузол навішування	86.0	Червоний	Найбільш навантажена зона
Місця кріплення стійок	68–74	Помаранчевий	Локальні піки від секцій
Поперечини	40–50	Жовтий	Робочі напруження середнього рівня
Поздовжні балки	30–45	Зелений	Основне несуче навантаження
Крайні ділянки та коток	20–30	Синій	Найменш навантажені зони

За результатами аналізу бачимо, що найбільш небезпечними є зони приєднання навісного пристрою та місця кріплення стійок переднього ряду

дисків. Для підвищення довговічності конструкції доцільно передбачити посилювальні накладки товщиною 6–8 мм у зоні навішування та косинки в місцях приєднання поперечин.

Висновки

1. Розрахунок показав, що стійка секції борони перерізом 60×12 мм має еквівалентне напруження 76,8 МПа і коефіцієнт запасу міцності 3,12, тобто забезпечує надійну роботу в заданих умовах.

2. Для підшипникового вузла обґрунтовано використання підшипника 6207-2RS. За еквівалентного навантаження 2,18 кН його динамічна вантажопідйомність має значний запас, а розрахунковий ресурс становить близько 236,776 год.

3. Спрощений розрахунок рами дискової борони показав, що максимальні еквівалентні напруження у зоні навішування не перевищують 86,0 МПа, що менше допустимих 160 МПа.

4. Візуалізація навантажених зон дозволила виділити найбільш відповідальні ділянки рами, які доцільно локально посилити для підвищення ресурсу та надійності конструкції.

5. Отримані результати підтверджують працездатність і достатню міцність спроектованої дискової борони для поверхневого обробітку ґрунту на глибину до 100 мм.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці під час експлуатації навісної дискової борони має важливе значення, оскільки робота агрегату пов'язана з дією рухомих і гострих робочих органів, підвищеним тяговим навантаженням, можливістю защемлення працівника в зоні навішування та ризиком травмування під час очищення, регулювання або ремонту машини. Дискові робочі органи під час руху інтенсивно взаємодіють із ґрунтом, обертаються та можуть захоплювати рослинні рештки, каміння або сторонні предмети. Тому безпечна експлуатація борони повинна ґрунтуватися на технічній справності агрегату, правильному агрегуванні з трактором, дотриманні технологічних режимів і виконанні вимог інструкцій з охорони праці.

Нормативна база та загальні положення

Вимоги охорони праці при роботі з навісною дисковою бороною формуються на основі Закону України «Про охорону праці», Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві, Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, а також стандартів безпеки для сільськогосподарських машин. У цих документах визначено загальні обов'язки роботодавця і працівників, вимоги до навчання, інструктажів, технічного стану машин, огороження небезпечних зон, використання засобів індивідуального захисту та безпечної експлуатації обладнання.

До роботи з тракторним агрегатом допускають працівників, які мають відповідну професійну підготовку, посвідчення тракториста-машиніста потрібної категорії, пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктажі, навчання та перевірку знань з питань охорони праці. Оператор повинен знати будову трактора і борони, призначення органів керування, порядок навішування, регулювання глибини обробітку та кута атаки дисків, а також правила безпечного виконання робіт у полі та під час транспортування.

Навісна дискова борона повинна використовуватися тільки за призначенням. Забороняється експлуатувати агрегат із несправними дисками, тріщинами у рамі, ослабленими болтовими з'єднаннями, пошкодженими пальцями навіски, відсутніми шплінтами, несправними підшипниковими вузлами або ненадійно зафіксованими регулювальними механізмами.

Таблиця 4.1 – Нормативні документи з охорони праці при експлуатації навісної дискової борони

Нормативний документ	Сфера застосування	Значення для роботи з бороною
Закон України «Про охорону праці»	Загальні правові основи охорони праці	Визначає обов'язки роботодавця і працівників щодо створення безпечних умов праці
Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві	Експлуатація сільськогосподарської техніки	Встановлюють вимоги до справності машин, огороження рухомих частин, дотримання безпечної дистанції
НПАОП 0.00-4.12-05	Навчання, інструктажі та перевірка знань	Регламентує порядок допуску працівників до виконання робіт
ДСТУ EN ISO 4254-1:2017	Безпека сільськогосподарських машин	Містить загальні вимоги до конструкційної безпеки машин та інформації для користувача

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час роботи з навісною дисковою бороною на працівника можуть діяти механічні, фізичні, організаційні та природні небезпечні фактори. Найбільшу небезпеку становлять зони навішування агрегату, робочі органи,

які мають гострі ріжучі кромки, а також рама і секції, що можуть опускатися під дією власної ваги або гідравлічної системи трактора.

До основних небезпечних факторів належать: защемлення під час з'єднання борони з трактором; порізи і травмування гострими дисками; падіння навісної машини при ремонті без надійних підставок; викидання каміння або грудок ґрунту з-під робочих органів; перекидання агрегату на схилах; наїзд на сторонніх осіб; підвищений рівень шуму та вібрації; запиленість робочої зони; ризик пожежі під час роботи на сухій стерні.

Таблиця 4.2 – Основні небезпечні фактори при роботі з навісною дисковою бороною

Небезпечний фактор	Можливі наслідки	Рівень ризику	Профілактичні заходи	Відповідальний
Защемлення в зоні навіски	Травмування рук і ніг, забої	Високий	Агрегатувати тільки після повної зупинки трактора; подавати сигнали; не перебувати між машинами під час під'їзду	Тракторист, причіплювач
Контакт із дисками	Порізи, травми кистей	Високий	Очищати і регулювати лише після зупинки двигуна та опускання борони на землю	Оператор

Продовження таблиці 4.2

Падіння навісної машини	Тяжкі травми	Високий	Не працювати під піднятою бороною без механічних упорів і підставок	Оператор, слюсар
Викидання грунту і каміння	Удари, пошкодження очей	Середній	Дотримуватися безпечної дистанції, використовувати окуляри під час огляду і ремонту	Оператор
Робота на схилах	Втрата стійкості агрегату	Високий	Працювати з урахуванням допустимого ухилу, уникати різких поворотів	Тракторист
Пил, шум, вібрація	Втома, підразнення органів дихання і зору	Середній	Застосовувати ЗІЗ, підтримувати справність кабіни та сидіння трактора	Оператор

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед виїздом у поле тракторист повинен оглянути трактор і борону, перевірити їх комплектність, технічну справність та наявність необхідних засобів безпеки. Особливу увагу слід приділити стану дисків, стійок,

підшипникових вузлів, рами, механізмів регулювання кута атаки, пальців навіски, шплінтів і стопорних елементів.

Перед початком роботи необхідно:

- перевірити надійність кріплення дисків, стійок, секцій і котка;
- переконатися у відсутності тріщин на дисках, зварних швах і рамі;
- перевірити відсутність люфту у підшипникових вузлах;
- переконатися, що регулювальні механізми глибини обробітку та кута атаки зафіксовані;
- перевірити справність гідравлічної системи трактора та відсутність підтікання робочої рідини;
- перевірити справність гальм, рульового керування, освітлення та сигналізації трактора;
- очистити борону від залишків ґрунту і рослинної маси після попередньої роботи;
- переконатися, що в зоні агрегування і руху немає сторонніх осіб.

Якщо під час огляду виявлено несправності, роботу починати забороняється. Усунення несправностей проводять тільки на рівному майданчику, при опущеній на землю бороні, заглушеному двигуні трактора і зафіксованій машині від самовільного переміщення.

Вимоги безпеки під час агрегування борони з трактором

Агрегування навісної дискової борони з трактором є одним із найбільш небезпечних етапів роботи. Основна небезпека полягає у можливому защемленні працівника між трактором і рамою борони, травмуванні руками при встановленні пальців або самовільному зміщенні агрегату.

Під час агрегування необхідно дотримуватися такої послідовності: трактор повільно підводять до борони; причіплювач перебуває збоку від

агрегату і подає зрозумілі сигнали трактористу; після зупинки трактора, увімкнення стоянкового гальма і вимкнення передачі виконують з'єднання нижніх тяг навіски; встановлюють пальці і шплінти; з'єднують верхню тягу; перевіряють рівність установа борони та працездатність механізму піднімання.

Забороняється перебувати між трактором і бороною під час руху трактора назад, підставляти руки під отвори кронштейнів під час суміщення тяг, використовувати випадкові предмети замість пальців і шплінтів, а також виконувати навішування на нерівному або слизькому майданчику.

Вимоги безпеки під час роботи в полі

Під час виконання поверхневого обробітку ґрунту тракторист повинен вести агрегат із такою швидкістю, яка забезпечує стійкість руху, якісне копіювання поверхні поля та безпечну роботу робочих органів. Для проектованої борони доцільно працювати в межах швидкості, прийнятої технологічним розрахунком, не допускаючи різких розгонів, гальмувань і поворотів із заглибленими дисками.

Під час роботи в полі необхідно виконувати такі вимоги:

- починати рух плавно, після переконання у відсутності людей і перешкод перед агрегатом;
- не перевозити людей на тракторі поза обладнаним місцем і категорично не перевозити людей на рамі борони;
- не виконувати регулювання глибини, кута атаки або очищення дисків під час руху агрегату;
- перед розворотом на кінці гону підняти борону у транспортне положення;
- не робити крутих поворотів із заглибленими дисками, щоб не перевантажити раму, стійки і навісну систему;
- не допускати перебування людей у зоні можливого викидання ґрунту, каміння і рослинних решток;

- об'їжджати каміння, пні, металеві предмети, глибокі колії та інші перешкоди;
- під час роботи на схилах рухатися з урахуванням стійкості трактора і рекомендацій інструкції з експлуатації.

Якщо під час роботи з'явився сторонній шум, підвищена вібрація, заклинювання диска, перекіс секції або пошкодження стійки, агрегат слід негайно зупинити. Огляд виконують тільки після зупинки трактора, вимикання двигуна і опускання борони на землю.

Вимоги безпеки під час транспортування

Під час переїзду між полями або руху дорогами навісна борона повинна бути піднята у транспортне положення і надійно зафіксована. Перед початком руху слід перевірити роботу гідравлічної системи, надійність приєднання нижніх тяг і верхньої тяги, фіксацію пальців, справність світлової сигналізації трактора та відсутність сторонніх предметів на рамі борони.

Під час транспортування забороняється різко повертати, рухатися з піднятою бороною на високій швидкості по нерівній дорозі, перевозити на агрегаті людей або вантажі, а також залишати трактор із піднятою бороною без нагляду. У разі зупинки агрегату борону потрібно опустити на землю або зафіксувати механічним упором.

Під час проїзду під повітряними лініями електропередач необхідно переконатися, що піднята машина не може зачепити проводи. При русі польовими дорогами слід обирати безпечну швидкість, враховувати збільшення заднього виносу агрегату і зміну керованості трактора.

Вимоги безпеки під час технічного обслуговування, очищення та ремонту

Технічне обслуговування навісної дискової борони виконують на рівному майданчику з твердим покриттям або на ущільненій ділянці поля. Перед початком обслуговування борону необхідно опустити на землю,

вимкнути двигун трактора, вийняти ключ із замка запалювання, увімкнути стоянкове гальмо і встановити упори під колеса трактора за потреби.

Забороняється виконувати ремонт, змащування, підтягування болтів, регулювання кута атаки або очищення дисків при працюючому двигуні, піднятій і незафіксованій бороні, а також під час обертання робочих органів. Якщо необхідно працювати під піднятою рамою або секцією, обов'язково встановлюють механічні підставки, які виключають падіння машини.

Очищати диски від намотаних рослинних решток потрібно спеціальним гаком, скребком або дерев'яним пристроєм. Забороняється очищати диски руками без рукавиць, використовувати несправний інструмент або прикладати надмірні зусилля, що можуть спричинити раптове зісковзування інструменту.

Засоби індивідуального захисту та санітарно-гігієнічні вимоги

Працівники, які виконують агрегування, регулювання, обслуговування і ремонт навісної дискової борони, повинні користуватися засобами індивідуального захисту. До основних ЗІЗ належать спецодяг, спецвзуття з нековзною підошвою, захисні рукавиці, захисні окуляри під час очищення або ремонту, а також сигнальний жилет при роботі біля рухомої техніки. При роботі в умовах значної запиленості використовують засоби захисту органів дихання.

Тривала робота в полі повинна організовуватися з урахуванням режиму праці та відпочинку. У спекотну погоду необхідно забезпечити працівника питною водою, можливістю відпочинку в тіні та перервами для запобігання перегріванню. У темний час доби робота допускається лише за достатнього освітлення робочої зони та справних світлових приладів трактора.

Пожежна безпека та дії в аварійних ситуаціях

Під час роботи на стерні або сухих рослинних рештках існує небезпека займання від гарячих частин трактора, іскор, короткого замикання або тертя

пошкоджених вузлів. Трактор, що агрегується з бороною, повинен бути укомплектований справним вогнегасником, аптечкою, знаком аварійної зупинки і засобами зв'язку.

Перед роботою необхідно очистити трактор від накопичення пилу, соломи і рослинних решток поблизу гарячих поверхонь двигуна та вихлопної системи. Забороняється заправляти трактор паливом при працюючому двигуні, палити біля агрегату та залишати промаслене ганчір'я на машині.

Таблиця 4.3 – Дії працівника в аварійних ситуаціях

Ситуація	Дії оператора	Додаткові заходи
Поломка стійки або диска	Зупинити трактор, опустити борону, вимкнути двигун	Огородити місце ремонту, замінити пошкоджені деталі
Заклинювання диска	Зупинити агрегат, дочекатися повної зупинки робочих органів	Очищати тільки інструментом і в рукавицях
Підтікання гідравлічної рідини	Опустити борону, скинути тиск у системі	Не перевіряти витік рукою, застосовувати картон або щиток
Пожежа	Зупинити трактор, вимкнути двигун, використати вогнегасник	Повідомити відповідальну особу, за потреби викликати рятувальну службу
Травмування працівника	Негайно зупинити роботу, надати першу допомогу	Повідомити керівника робіт і медичну службу

Висновки

1. Робота з навісною дисковою бороною пов'язана з підвищеним ризиком травмування через наявність гострих дискових робочих органів, зони навішування та можливість падіння піднятої машини.

2. Безпечна експлуатація агрегату забезпечується технічною справністю трактора і борони, правильним агрегуванням, дотриманням

технологічної швидкості та заборонаю перебування людей у небезпечних зонах.

3. Перед початком роботи обов'язково перевіряють стан дисків, стійок, рами, підшипникових вузлів, пальців навіски, шплінтів і регулювальних механізмів.

4. Усі операції з очищення, регулювання і ремонту виконують тільки після повної зупинки агрегату, вимкнення двигуна та опускання борони на землю або її надійної фіксації механічними підставками.

5. Застосування засобів індивідуального захисту, дотримання пожежної безпеки і своєчасне навчання працівників з охорони праці є необхідними умовами запобігання виробничому травматизму.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Метою економічного обґрунтування є визначення доцільності впровадження розробленої дискової борони у виробничих умовах та порівняння її основних економічних показників із серійним аналогом БДН-1,7. Порівняння виконано для однакового обсягу робіт, що забезпечує коректну оцінку витрат праці, витрат пально-мастильних матеріалів, собівартості виконання операції та строку окупності додаткових капіталовкладень.

Базовий варіант передбачає використання навісної дискової борони БДН-1,7. Проєктний варіант передбачає застосування розробленої малогабаритної дворядної дискової борони шириною захвату 1,5 м, глибиною обробітку до 100 мм та регульованим кутом атаки дисків 10–30°.

У розрахунку прийнято, що борона використовується на площі 100 га. Урожайність озимої пшениці культури становить 3,5 ц/га. Валовий збір за таких умов дорівнює 350 ц, або 35 т. Цей показник використано для довідкового визначення витрат на одиницю продукції, тоді як основний економічний ефект визначається за різницею експлуатаційних витрат на виконання операції поверхневого обробітку ґрунту.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічного розрахунку

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Площа виконання робіт	F	га	100
Урожайність культури	Y	ц/га	3.5
Валовий збір продукції	Q	ц	350
Середня ціна дизельного пального	Ц _д	грн/л	85.16
Коефіцієнт урахування мастильних матеріалів	K _{пмм}	-	1.10
Оплата праці механізатора з нарахуваннями	З _г	грн/год	120

Продовження таблиці 5.1

Норма амортизації	H_a	%	10
Норма витрат на ремонт і ТО	H_p	%	8
Нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень	E_n	-	0.15

Примітка. Ціна дизельного пального прийнята за середнім ринковим рівнем на момент виконання розрахунку. Для навчального розрахунку витрати на мастильні матеріали враховано коефіцієнтом 1,10 до вартості дизельного пального.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічна характеристика базового та проєктного варіантів

Показник	Одиниця	БДН-1,7	Проектна борона
Тип машини	-	навісна дискова борона	навісна дискова борона
Ширина захвату	м	1,7	1,5
Робоча швидкість	км/год	10	12
Коефіцієнт використання часу зміни	-	0,88	0,86
Продуктивність за годину основного часу	га/год	1,50	1,55
Глибина обробітку	-	до 130–150 мм	до 100 мм
Кількість дисків	шт.	20	12
Витрата пального	л/га	6,0	4,8
Балансова вартість машини	грн	60900	80900

Проектний варіант має дещо меншу ширину захвату, однак завдяки поліпшеному компонованню робочих органів, зменшенню тягового опору та

підвищенню допустимої робочої швидкості забезпечує продуктивність не нижче 1,5 га/год.

Зниження питомої витрати пального у проєктному варіанті обумовлене зменшенням маси робочих секцій, раціональним регулюванням кута атаки дисків та зниженням втрат на надмірне переміщення ґрунту.

Розрахунок експлуатаційних витрат

Годинну продуктивність агрегату визначають за формулою:

$$W = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot \tau, \quad (5.1)$$

де W – продуктивність, га/год;

B – ширина захвату, м;

V – робоча швидкість, км/год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни.

Для базового варіанта приймаємо $W_б = 1,50$ га/год, для проєктного варіанта $W_п = 1,55$ га/год.

Витрати праці на виконання операції визначають за формулою:

$$T = F / W. \quad (5.2)$$

Для БДН-1,7: $T_б = 100 / 1,50 = 66,67$ люд.-год.

Для проєктної борони: $T_п = 100 / 1,55 = 64,52$ люд.-год.

Вартість пально-мастильних матеріалів на 1 га визначаємо за формулою:

$$C_{пмм} = g \cdot Ц_d \cdot k_{пмм}, \quad (5.3)$$

де g – питома витрата дизельного пального, л/га;

$Ц_d$ – ціна дизельного пального, грн/л;

$k_{пмм}$ – коефіцієнт урахування мастильних матеріалів.

Для базового варіанта: $C_{пмм.б} = 6,0 \cdot 85,16 \cdot 1,10 = 562,06$ грн/га.

Для проєктного варіанта: $C_{пмм.п} = 4,8 \cdot 85,16 \cdot 1,10 = 449,64$ грн/га.

Витрати на амортизацію, ремонт і технічне обслуговування визначаються за формулою:

$$C_{a+p} = K \cdot (H_a + H_p) / F, \quad (5.4)$$

де K – балансова вартість машини, грн;

H_a – норма амортизації;

H_p – норма витрат на ремонт і технічне обслуговування;

F – річний обсяг робіт, га.

Для БДН-1,7: $C_{a+p.б} = 60900 \cdot 0,18 / 100 = 109,62$ грн/га.

Для проектної борони: $C_{a+p.п} = 80900 \cdot 0,18 / 100 = 145,62$ грн/га.

Собівартість виконання операції

Собівартість виконання поверхневого обробітку ґрунту на 1 га визначаємо як суму витрат на оплату праці, пально-мастильні матеріали, амортизацію, ремонт і технічне обслуговування:

$$C = C_{\text{праці}} + C_{\text{пмм}} + C_{a+p}. \quad (5.5)$$

Для базового варіанта: $C_б = 80,00 + 562,06 + 109,62 = 751,68$ грн/га.

Для проектного варіанта: $C_п = 77,42 + 449,64 + 145,62 = 672,68$ грн/га.

Загальна собівартість виконання операції на площі 100 га становить: для БДН-1,7 – 75167,60 грн, для проектної борони – 67268,42 грн.

Довідково собівартість виконання операції в перерахунку на 1 ц продукції становить: для базового варіанта – 214,76 грн/ц, для проектного варіанта – 192,20 грн/ц.

Таблиця 5.3 – Розрахунок експлуатаційних витрат за варіантами

Показник	Одиниця	БДН-1,7	Проектна борона	Зміна
Витрати праці на 1 га	люд.-год/га	0,667	0,645	-0,022
Витрати праці на 100 га	люд.-год	66,67	64,52	-2,15

Продовження таблиці 5.3

Вартість ПММ на 1 га	грн/га	562,06	449,64	-112,41
Вартість ПММ на 100 га	грн	56205,60	44964,48	-11241,12
Амортизація, ремонт і ТО	грн/га	109,62	145,62	+36,00
Собівартість робіт	грн/га	751,68	672,68	-78,99
Загальні витрати на площу	грн	75167,60	67268,42	-7899,18

Розрахунок річної економії, економічного ефекту та строку окупності

Річну економію від впровадження проєктної борони визначаємо як різницю загальних витрат за базовим і проєктним варіантами:

$$E_p = Z_b - Z_n. \quad (5.6)$$

$$E_p = 75167,60 - 67268,42 = 7899,18 \text{ грн.}$$

Додаткові капіталовкладення визначають як різницю між балансовою вартістю проєктної борони та базового аналога:

$$\Delta K = K_n - K_b. \quad (5.7)$$

$$\Delta K = 80900 - 60900 = 20000 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект з урахуванням нормативного коефіцієнта ефективності капіталовкладень визначаємо за формулою:

$$E = E_p - E_n \cdot \Delta K. \quad (5.8)$$

$$E = 7899,18 - 0,15 \cdot 20000 = 4899,18 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капіталовкладень визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \Delta K / E_p. \quad (5.9)$$

$$T_{\text{ок}} = 20000 / 7899,18 = 2,53 \text{ року.}$$

Таблиця 5.4 – Порівняння економічних показників базового та проектного варіантів

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант БДН-1,7	БДН-1,5М	Результат / відхилення
Витрата праці	люд.-год/га; люд.-год/100 га	0,667; 66,67	0,645; 64,52	зменшення на 2,15 люд.-год
Вартість ПММ	грн/га; грн/100 га	562,06; 56205,60	449,64; 44964,48	економія 11241,12 грн
Собівартість	грн/га; грн/100 га	751,68; 75167,60	672,68; 67268,42	зменшення на 78,99 грн/га
Додаткові капітало-вкладення	грн	—	20000	потрібні для впровадження
Річна економія	грн/рік	—	7899,18	за рахунок зниження витрат
Річний економічний ефект	грн/рік	—	4899,18	з урахуванням $E_H = 0,15$
Термін окупності	років	—	2,53	менше 3 років

Висновки

1. За результатами розрахунку собівартість виконання поверхневого обробітку ґрунту з використанням БДН-1,7 становить 751,68 грн/га, а з використанням проєктної борони – 672,68 грн/га.
2. Річна економія на площі 100 га становить 7899,18 грн. Основна частина економії формується за рахунок зменшення витрат пально-мастильних матеріалів.
3. Додаткові капіталовкладення на впровадження проєктної борони становлять 20000 грн.
4. Річний економічний ефект з урахуванням нормативного коефіцієнта ефективності капіталовкладень становить 4899,18 грн.
5. Термін окупності додаткових капіталовкладень дорівнює 2,53 року, що свідчить про економічну доцільність впровадження розробленої дискової борони.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дипломному проєкті обґрунтовано доцільність удосконалення операцій поверхневого обробітку ґрунту шляхом розроблення малогабаритної навісної дискової борони. Аналіз конструкцій сучасних машин показав, що найбільш перспективною для заданих умов є коротка дворядна схема з індивідуальним кріпленням дисків, регульованим кутом атаки та зварною посиленою рамою.

2. Для проєктованої борони прийнято ширину захвату 1,5 м, максимальну глибину обробітку 100 мм, два ряди по шість сферичних дисків діаметром 460 мм і міждисковий інтервал 250 мм. Задній ряд зміщений відносно переднього на 125 мм, що забезпечує суцільність обробітку та компенсацію бічних сил.

3. Розроблено ступінчастий механізм регулювання кута атаки дискових секцій у межах 10–30°. За кутів 10–15° борона може застосовуватися для мілкого та передпосівного обробітку, за 20–25° — для лущення стерні й перемішування рослинних решток, а за 25–30° — для інтенсивнішого обробітку ущільненого ґрунту.

4. Встановлено, що для забезпечення продуктивності не менше 1,5 га/год за ширини захвату 1,5 м потрібна швидкість 11,76 км/год. Прийнята робоча швидкість 12 км/год забезпечує розрахункову продуктивність 1,53 га/год і відповідає технічному завданню.

5. За максимальної глибини 100 мм та кута атаки 30° розрахунковий тяговий опір борони з урахуванням 25-відсоткового запасу становить 10,33 кН. Необхідна потужність двигуна визначена на рівні 50,6 кВт, тому для агрегування рекомендовано трактор тягового класу 1,4 потужністю 55–60 кВт, зокрема МТЗ-82.1 або його аналог.

6. Перевірка міцності стійки секції перерізом 60×12 мм показала, що еквівалентне напруження становить 76,8 МПа, а коефіцієнт запасу міцності — 3,12. Отримані значення підтверджують достатню міцність і жорсткість стійки за прийнятого навантаження.

7. Для підшипникового вузла обґрунтовано застосування двох закритих кулькових підшипників 6207-2RS. За еквівалентного динамічного навантаження 2,18 кН підшипник має достатній запас вантажопідйомності та розрахунковий ресурс близько 236 776 год, що перевищує прийняту мінімальну вимогу 5000 год.

8. Розрахунок напружено-деформованого стану рами показав, що найбільш навантаженою є зона приєднання навісного пристрою. Максимальні еквівалентні напруження не перевищують 86,0 МПа за допустимого значення 160 МПа, коефіцієнт запасу становить 1,86, а максимальний прогин — до 2,4 мм. Для підвищення довговічності рекомендовано посилити вузол навішування та місця кріплення стійок косинками і накладками.

9. У розділі охорони праці визначено основні небезпечні фактори під час агрегування, роботи, очищення, регулювання і ремонту навісної дискової борони. Безпечна експлуатація забезпечується справністю трактора і борони, надійною фіксацією навіски, заборонаю перебування в небезпечних зонах, виконанням обслуговування лише після зупинки двигуна та опускання машини на землю або механічні підставки.

10. Економічне порівняння з бороною БДН-1,7 на площі 100 га показало зниження витрат праці на 2,15 люд.-год, витрат на пально-мастильні матеріали на 11 241,12 грн і собівартості обробітку на 78,99 грн/га. Річна економія становить 7899,18 грн, річний економічний ефект — 4899,18 грн, а термін окупності додаткових капіталовкладень 20 000 грн дорівнює 2,53 року.

11. Сукупність технологічних, конструктивних, міцнісних, безпекових та економічних показників підтверджує працездатність і доцільність запропонованої конструкції. Проектована навісна дискова борона може бути рекомендована для поверхневого обробітку ґрунту в невеликих і середніх господарствах, де важливими є маневреність, простота регулювання, ремонтпридатність і зниження експлуатаційних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ : Каравела. [Електронний ресурс].
2. Василенко П. М., Погорілий Л. В. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин. [Електронний ресурс].
3. Механізація обробітку ґрунту: навчальні та методичні матеріали з агроінженерії. [Електронний ресурс].
4. Деталі машин: довідкові матеріали для розрахунку валів, підшипників, зварних рам і металоконструкцій. [Електронний ресурс].
5. ISO 281. Rolling bearings — Dynamic load ratings and rating life. Geneva: International Organization for Standardization, [Електронний ресурс].
6. SKF. Rolling bearings catalogue. Технічні дані кулькових підшипників серії 6200. [Б. м.]: SKF, [Електронний ресурс].
7. LEMKEN. Rubin 10 / Rubin 12: офіційні технічні матеріали виробника. [Б. м.]: LEMKEN, [Електронний ресурс].
8. BEDNAR FMT. ATLAS та SWIFTERDISC: офіційні технічні матеріали виробника: BEDNAR FMT, [Електронний ресурс].
9. KUHN. OPTIMER: офіційні технічні матеріали виробника. [Б. м.]: KUHN, [Електронний ресурс].
10. Väderstad. Carrier: офіційні технічні матеріали виробника: Väderstad, [Електронний ресурс].
11. LOZOVA MACHINERY. DUCAT: офіційні технічні матеріали виробника: LOZOVA MACHINERY, [Електронний ресурс].
12. ELVORTI. PALLADA: офіційні технічні матеріали виробника: ELVORTI, [Електронний ресурс].
13. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
14. Сільськогосподарські машини: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Агроосвіта, [Електронний ресурс].

15. Иофинов С.А., Лишко Г.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1984. – 351 с.
16. Машины для обробітку ґрунту та сівби: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, [Електронний ресурс].
17. Ільченко В. Ю. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. Київ: Урожай, [Електронний ресурс].
19. Опір матеріалів: навчальний посібник. Київ: Центр учбової літератури, [Електронний ресурс].
20. Підшипники кочення: довідкові матеріали з вибору та розрахунку підшипників, [Електронний ресурс].
21. Дискові борони навісні типу БДН: технічний опис та інструкція з експлуатації. [Електронний ресурс].
22. Методичні вказівки до виконання дипломних проєктів для здобувачів спеціальності 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ
23. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. [Електронний ресурс].
24. Технічна характеристика трактора МТЗ-82.1: інструкція з експлуатації. [Електронний ресурс].
25. Економіка використання машинно-тракторного парку: навчальний посібник. [Електронний ресурс].
27. Каталоги виробників дискових борін і луцильників для поверхневого обробітку ґрунту.
28. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>.
29. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18>.

30. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці: наказ Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15: НПАОП 0.00-4.12-05, 2005.

31. ДСТУ EN ISO 4254-1:2017. Сільськогосподарські машини. Вимоги щодо безпеки. Частина 1. Загальні вимоги (EN ISO 4254-1:2015, IDT; ISO 4254-1:2013, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

32. ДСТУ ISO 11684:2009. Сільськогосподарські та лісогосподарські трактори і машини. Знаки безпеки та графічне зображення небезпеки. Загальні вимоги. [Б. м.]: [б. в.], 2009.

33. Борона дискова навісна БДН-1,7. Технічна характеристика: ширина захвату 1,7 м, продуктивність 1,5 га/год, кількість дисків 20, робоча швидкість до 10 км/год. URL: <https://agrolismash.com.ua/p2597813-borona-diskova-navisna.html>

34. Обґрунтування очікуваної вартості предмета закупівлі: БДН-1,7, ціна 60 900 грн з ПДВ, технічна характеристика. URL: <https://e-forest.gov.ua/wp-content/uploads/2025/09/Obgruntuvannia-1.pdf>

35. Ціни на дизельне паливо в Україні. Мінфін. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/>

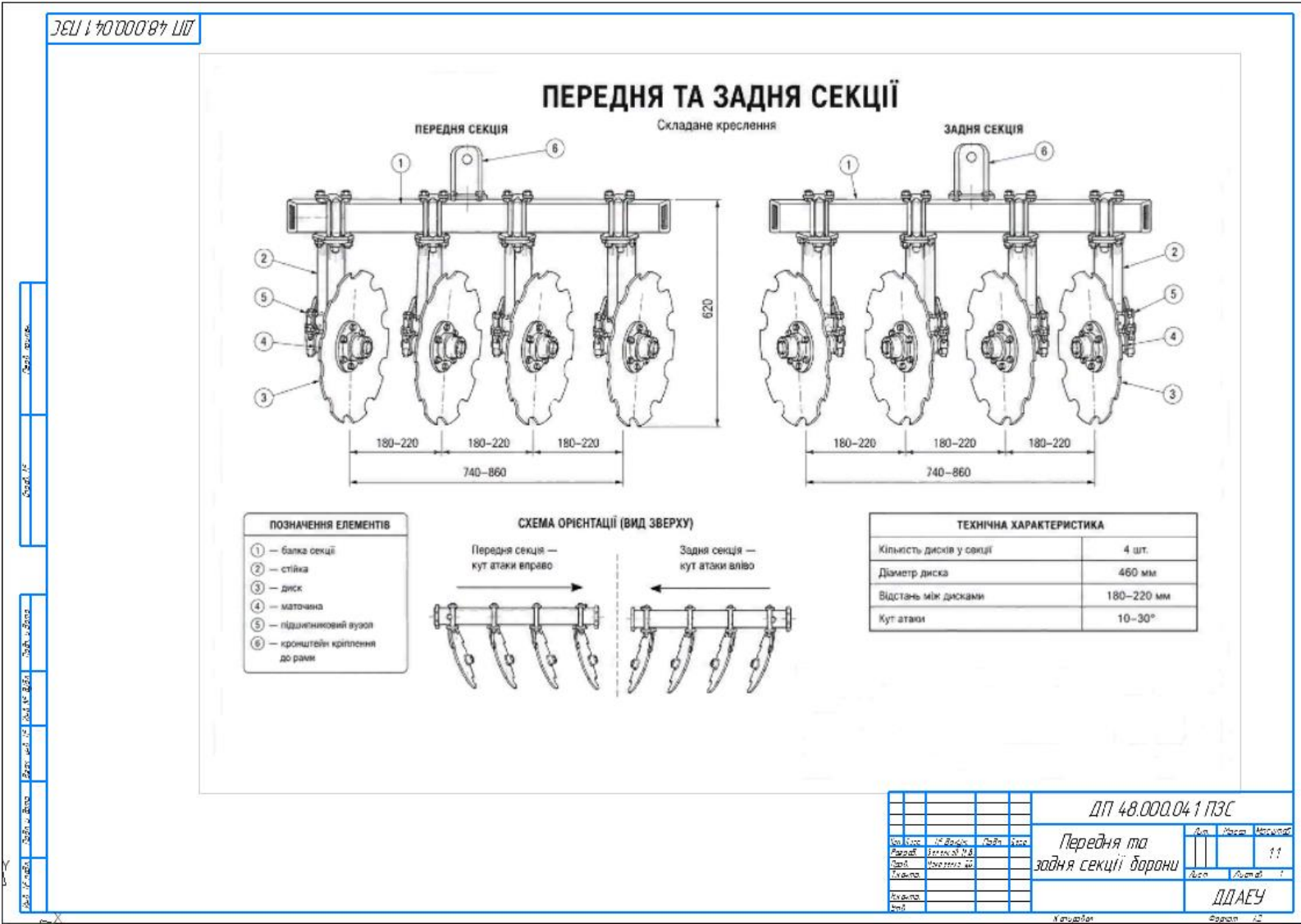
ДОДАТКИ

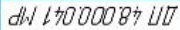
Додаток А

План механізованих робіт при вирощуванні озимої пшениці на площі 100 га

Операції	Агротех. вики	Од. Виміру	Обсяг роботи	Строки виконання		Трив. роботи за добу	Склад агрегату			К-сть с.-г.м.	Виробіток			Потрібно для виконання роботи			Витрати палива		Затрати праці, люд-год/га		К-сть нормо-змін	Обсяг роооти, у.е.га			
				календ.	прив. дні		трактор	зчіпка	с.-г. м.		за год	за зм.	за добу	агрегат.	тракторис.	доп.прац.	за нормою	на весь обсяг	на одиниц. роботи	на весь обсяг					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	Лущення І	10см	га	100	09-18,07	5	7	МТЗ-82,1		БДН-1,5	1	1,53	10,7	10,7	1	1		2,24	224	0,11	11,0	4,7	51,7		
2	Зав. мін. Доб.	0,3т/га	т	30	02-22,08	15	7	ЮМЗ-6		ПЭ-0,8	1	20	140,0	140	1	1		0,18	5,4	0,070	2,1	0,6	2,68		
3	Внес.мін.доб.	0,3т/га	т	30	02-22,08	15	7	ЮМЗ-6		1РМГ-4	1	4	29,0	29	1	1		1,7	51	0,21	6,3	3,1	35,84		
4	Нав.орг.доб.	30т/га	т	3000	02-22,08	15	21	Т-150К		ПБ-35	1	34	240,0	720	1	3		0,3	900	0,029	87,0	37,5	433,1		
5	Внес.орг. Добрив	30т/га	т	300	05-25,08	15	7	Т-150К		ПРТ-10	1	7	51,0	51	1	1		1,1	330	0,137	41,1	2,0	22,6		
6	Оранка	27см	га	100	05-22,08	15	14	Т-150К		ПЛП-6-35	1	2	12,6	25,2	1	2		14,8	1480	0,550	55,0	2,4	275,0		
7	Передпос.культ.	6-8 см	га	100	20,08-01,09	3	21	Т-150К	СП-11	КПС-4	1	7	46,7	140	1	3	6	2,9	290	0,440	44,0	6,4	74,2		
8	Нав.нас.і доб.	0,32т/га	т	32	05-15,09	7	7	ЮМЗ-6		ПЭ-0,8	1	20	140,0	140	1	1		0,18	5,76	0,050	1,6	0,7	2,9		
9	Перев.нас.і доб.	0,32т/га	т	32	05-15,09	7	7	Зил-ММЗ-554		-	-	8	54,5	54,5	1	1	2	0,67	21,44	0,380	12,2	1,8			
10	Сівб.з. внес.доб.	0,32т/га	га	100	05-15,09	7	14	Т-70С		СЗУ-3,6	2	4	25,9	51,8	1	2	2	2,5	250	0,540	54,0	11,5	73,0		
11	Піджив.азот. доб.	0,13т/га	га	13	20-30,03	5	7	ЮМЗ-6		1РМГ-4	1	4	29,0	29	1	1		1,41	18,33	0,240	3,1	1,3	6,6		
12	Перев.води	0,13т/га	т	13	01-10,04	5	7	ЮМЗ-6		ВР-3М	1	3	21,80	21,8	1	1		1,12	14,56	0,320	4,2	4,9	209,0		
13	Перев.гербіц	0,006т/га	т	6	01-10,04	3	7	ЮМЗ-6		ОШУ-50А	1	2	10,6	10,6	1	1		3	18	0,660	4,0	10,2	42,9		
14	Приготув.роб.розч	0,15т/га	т	15	01-10,04	5	14	ЮМЗ-6		ОШУ-50А	1	2	10,60	21,2	1	2		3	45	0,660	9,9	10,2	42,9		
15	Внес.роб.розч	0,15т/га	га	15	01-10,04	5	14	ЮМЗ-6		ОШУ-50А	1	2	10,60	21,2	1	2		3	45	0,660	9,9	10,2	42,9		
16	Пряме комбайнув.	3,5 т/га	га	100	15-28,07	10	14	Дон-1500		-	1	2	11,90	23,8	2	2	2	9,6	960	1,170	117,0	25,2			
17	Перев.зерна на тік	6 км	т	133	10-28,07	12	14	Зил-ММЗ-554		-		8	54,30	109	1	1		0,67	89,311	0,128	17,1	22,1			
18	Перевез.соломи	6 т/га	т	600	10-28,07	12	21	ЮМЗ-6		-		8	57,28	172	1	3		2,49	1494	0,120	72,0	31,1	131,7		
19	Скиртування	6 т/га	т	600	12-30,07	12	14	ЮМЗ-6		ПФ-0,5	1	15	105	210	1	2		0,23	138	0,060	36,0	17,4	72,0		
																		6379,801				587,4		1519,0	







ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ПОВЕРХНЕВОГО
ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З РОЗРОБКОЮ КОНСТРУКЦІЇ
ДИСКОВОЇ БОРОНИ**

Виконав: студент 4 курсу,

групи АІС-1-23

Зеленков Микита Валерійович

Керівник: к.т.н.,

Макаренко Дмитро Олександрович

Мета та завдання

МЕТА

Розробити малогабаритну навісну дворядну дискову борону з регульованим кутом атаки та обґрунтувати її технологічні, міцнісні й економічні показники.

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ

- обґрунтувати конструктивну схему та параметри дисків
- розрахувати продуктивність, тяговий опір і вибрати трактор
- перевірити міцність стійки, підшипника та рами
- оцінити безпеку й економічну ефективність

Аналіз існуючих машин

Сучасний напрям розвитку — компактні дворядні дискові борони, для невеликих господарств, з регульованими робочими органами



LEMKEN Rubin



BEDNAR ATLAS

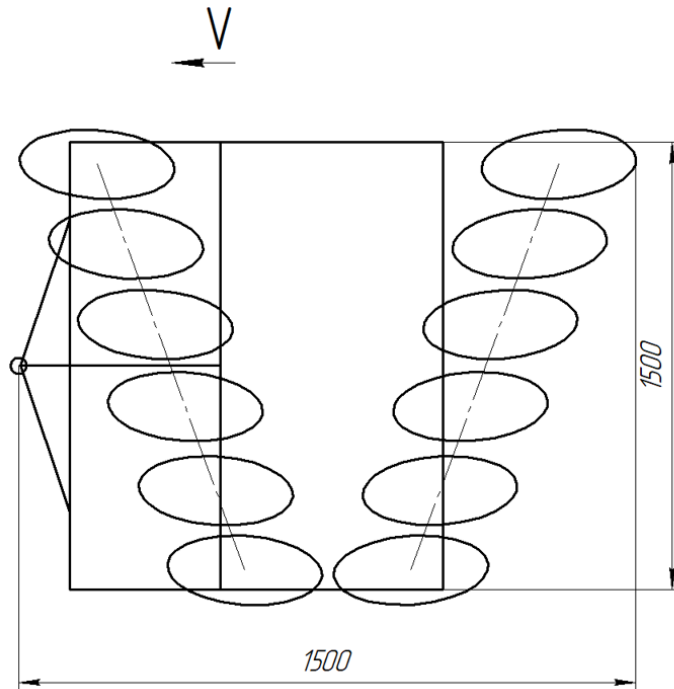


KUHN OPTIMER

Для проєкту прийнято коротку навісну дворядну схему, ступінчастим регулюванням кута атаки та посиленою зварною рамою.

Переваги: робота по стерні • менше забивання • простіша заміна окремого диска • краща адаптація до умов поля

Конструкція проєктованої борони



Основні вузли

- триточковий навісний пристрій
- зварна рама прямокутного профілю
- передня і задня дискові секції
- 12 сферичних дисків Ø460 мм
- закриті підшипникові вузли
- механізм регулювання кута атаки

Навісна схема → маневреність і менша металоемність

Основні технічні параметри

Ширина захвату

1,50 м

малогабаритна навісна машина

Глибина обробітку

40–100 мм

регулювання опорним органом

Диски

12 шт.

2 ряди по 6

Діаметр

Ø460 мм

товщина 4 мм

Кут атаки

10–30°

ступінчасте регулювання

Робоча швидкість

12 км/год

рекомендований режим

Продуктивність

1,53 га/год

за коеф. 0,85

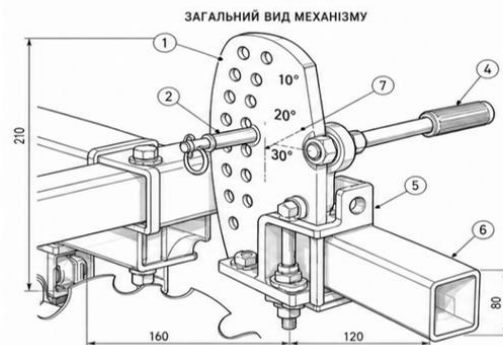
Міждисковий інтервал

250 мм

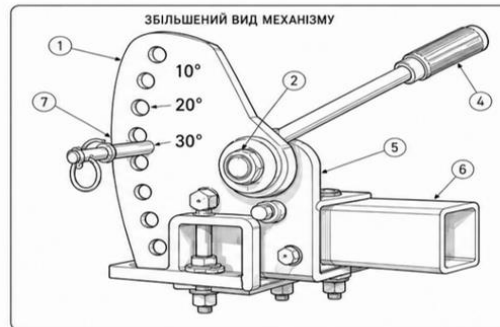
зміщення рядів 125 мм

Прийняті параметри забезпечують суцільність обробітку, роботу на заданій глибині та виконання вимоги продуктивності не менше 1,5 га/год.

Механізм регулювання кута атаки



ПОЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ	
①	— секторна пластина
②	— вісь повороту
③	— фіксувальний палець
④	— рукоятка
⑤	— кронштейн
⑥	— балка секції
⑦	— отвори положень 10°, 20°, 30°



Призначення	регулювання інтенсивності кришення та перемішування ґрунту
Діапазон регулювання	10–30°
Тип регулювання	ручне ступінчасте

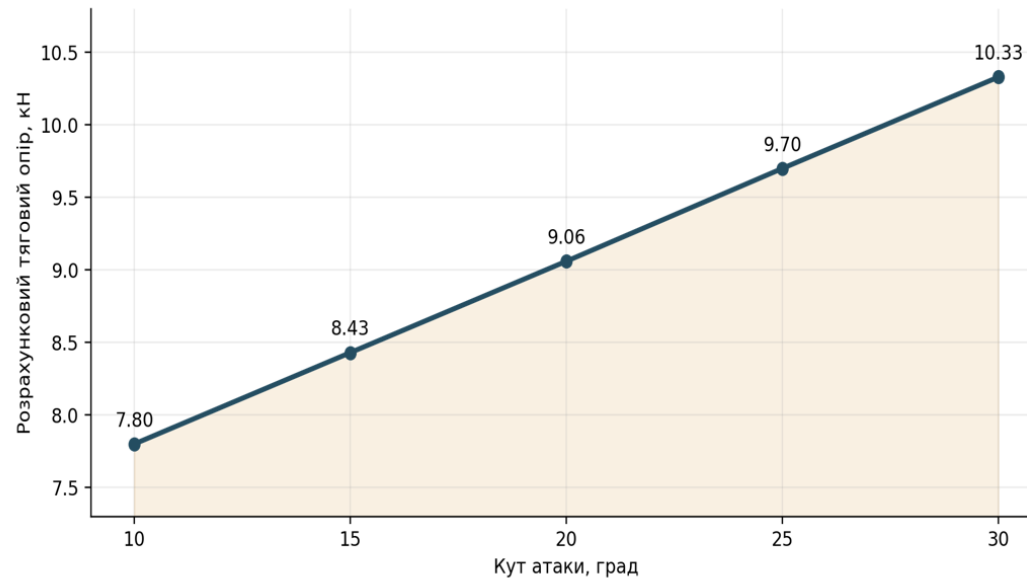
Режими роботи

10–15° мілке розпушування,
збереження вологості

20–25° лущення стерні,
перемішування решток

25–30° інтенсивне кришення
твердого ґрунту

Тяговий опір та вибір енергетичного засобу



Зростання опору зі збільшенням кута атаки

Максимальний розрахунковий опір

10,33 кН

глибина 100 мм; $\alpha = 30^\circ$

Необхідна потужність двигуна

50,6 кВт

з урахуванням експлуатаційного запасу

Рекомендований трактор

MT3-82.1

тяговий клас 1,4; 55–60 кВт

15,75 кН > 10,33 кН

доступне тягове зусилля перевищує опір борони

Міцність стійки та підшипникового вузла

Еквівалентне напруження стійки

76,8 МПа

переріз 60×12 мм

Коефіцієнт запасу

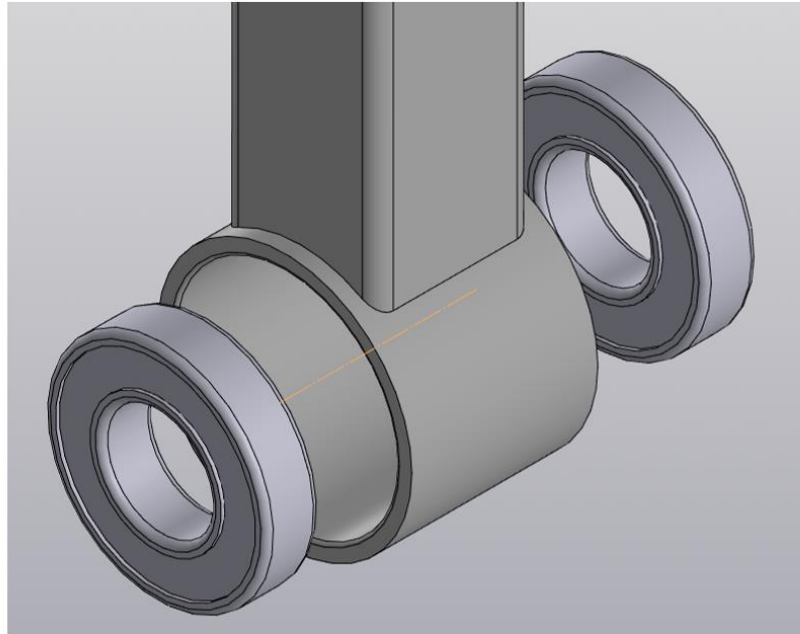
3,12

$[\sigma] = 240 \text{ МПа}$

Підшипник

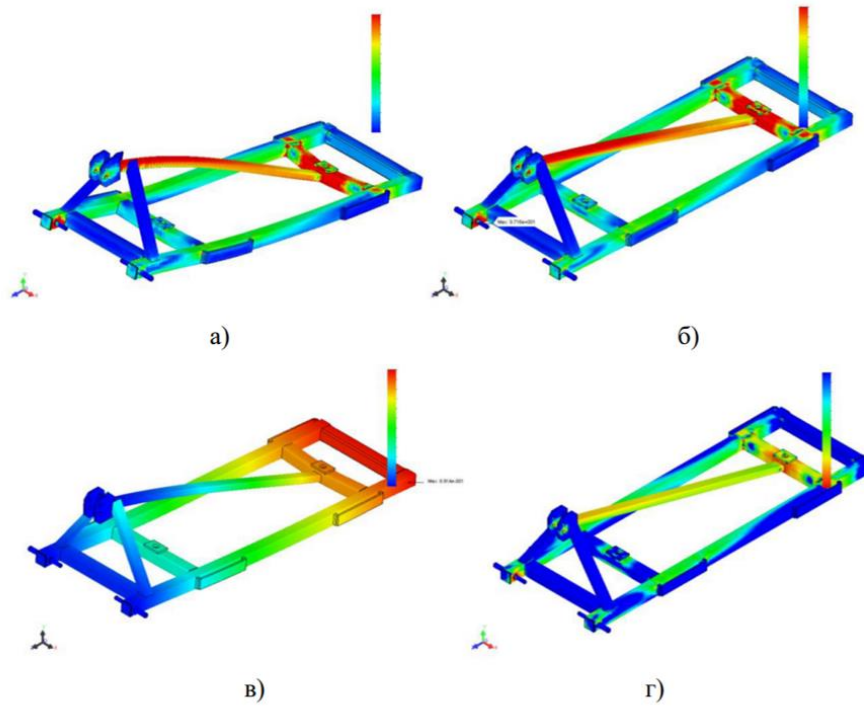
6207-2RS

закритий, кульковий



$P = 2,18 \text{ кН} \cdot C = 25,7 \text{ кН} \cdot \text{ресурс} \approx 236\,776 \text{ год}$

Розрахунок напружено-деформованого стану рами



SolidWorks Simulation: деформації, напруження, переміщення та запас міцності

Максимальні напруження

86,0 МПа

зона навішування

Допустиме напруження

160 МПа

сталь Ст3

Максимальний прогин

2,4 мм

коеф. запасу 1,86

Охорона праці під час роботи з навісною бороною

1

Агрегаткування

Не перебувати між трактором і бороною під час під'їзду; перевірити пальці та шплінти.

2

Перед початком роботи

Оглянути диски, стійки, раму, підшипникові вузли й регулювальні механізми.

3

Під час руху

Не допускати людей у небезпечну зону; дотримуватися швидкості та правил роботи на схилах.

4

Очищення і ремонт

Зупинити двигун, опустити борону на землю або встановити на механічні підставки.

Економічне обґрунтування			
Показник	Одиниця виміру	БДН-1,7	БДН-1,5М
Витрата праці	люд.-год/га; люд.-год/100 га	0,667; 66,67	0,645; 64,52
Вартість ПММ	грн/га; грн/100 га	562,06; 56205,60	449,64; 44964,48
Собівартість	грн/га; грн/100 га	751,68; 75167,60	672,68; 67268,42
Додаткові капіталвкладення	грн	-	20000
Річна економія	грн/рік	-	7899,18
Річний економічний ефект	грн/рік	-	4899,18
Термін окупності	років	-	2,53

Загальні висновки

1. У дипломному проєкті обґрунтовано доцільність удосконалення операцій поверхневого обробітку ґрунту шляхом розроблення малогабаритної навісної дискової борони. Аналіз конструкцій сучасних машин показав, що найбільш перспективною для заданих умов є коротка дворядна схема з індивідуальним кріпленням дисків, регульованим кутом атаки та зварною посиленою рамою.

2. Для проєктованої борони прийнято ширину захвату 1,5 м, максимальну глибину обробітку 100 мм, два ряди по шість сферичних дисків діаметром 460 мм і міждисковий інтервал 250 мм. Задній ряд зміщений відносно переднього на 125 мм, що забезпечує суцільність обробітку та компенсацію бічних сил.

3. Розроблено ступінчастий механізм регулювання кута атаки дискових секцій у межах 10–30°. За кутів 10–15° борона може застосовуватися для мілкого та передпосівного обробітку, за 20–25° — для лушення стерні й переміщування рослинних решток, а за 25–30° — для інтенсивнішого обробітку ущільненого ґрунту.

4. Встановлено, що для забезпечення продуктивності не менше 1,5 га/год за ширини захвату 1,5 м потрібна швидкість 11,76 км/год. Прийнята робоча швидкість 12 км/год забезпечує розрахункову продуктивність 1,53 га/год і відповідає технічному завданню.

5. За максимальної глибини 100 мм та кута атаки 30° розрахунковий тяговий опір борони з урахуванням 25-відсоткового запасу становить 10,33 кН. Необхідна потужність двигуна визначена на рівні 50,6 кВт, тому для агрегування рекомендовано трактор тягового класу 1,4 потужністю 55–60 кВт, зокрема МТЗ-82.1 або його аналог.

6. Перевірка міцності стійки секції перерізом 60×12 мм показала, що еквівалентне напруження становить 76,8 МПа, а коефіцієнт запасу міцності — 3,12. Отримані значення підтверджують достатню міцність і жорсткість стійки за прийнятого навантаження.

7. Для підшипникового вузла обґрунтовано застосування двох закритих кулькових підшипників 6207-2RS. За еквівалентного динамічного навантаження 2,18 кН підшипник має достатній запас вантажопідйомності та розрахунковий ресурс близько 236 776 год, що перевищує прийняту мінімальну вимогу 5000 год.

8. Розрахунок напружено-деформованого стану рами показав, що найбільш навантаженою є зона приєднання навісного пристрою. Максимальні еквівалентні напруження не перевищують 86,0 МПа за допустимого значення 160 МПа, коефіцієнт запасу становить 1,86, а максимальний прогин — до 2,4 мм. Для підвищення довговічності рекомендовано посилити вузол навішування та місця кріплення стійок косинками і накладками.

9. У розділі охорони праці визначено основні небезпечні фактори під час агрегування, роботи, очищення, регулювання і ремонту навісної дискової борони. Безпечна експлуатація забезпечується справністю трактора і борони, надійною фіксацією навіски, заборонаю перебування в небезпечних зонах, виконанням обслуговування лише після зупинки двигуна та опускання машини на землю або механічні підставки.

10. Економічне порівняння з бороною БДН-1,7 на площі 100 га показало зниження витрат праці на 2,15 люд.-год, витрат на пально-мастильні матеріали на 11 241,12 грн і собівартості обробітку на 78,99 грн/га. Річна економія становить 7899,18 грн, річний економічний ефект — 4899,18 грн, а термін окупності додаткових капіталовкладень 20 000 грн дорівнює 2,53 року.

11. Сукупність технологічних, конструктивних, міцнісних, безпекових та економічних показників підтверджує працездатність і доцільність запропонованої конструкції. Проєктована навісна дискова борона може бути рекомендована для поверхневого обробітку ґрунту в невеликих і середніх господарствах, де важливими є маневреність, простота регулювання, ремонтпридатність і зниження експлуатаційних витрат.

ДОПОВІДЬ ЗАКІНЧЕНО

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!