

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

**Пояснювальна записка**  
до дипломної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр»  
на тему:  
**Удосконалення механізації поверхневого обробітку ґрунту з  
обґрунтуванням параметрів ротаційної борони**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-1-20  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Харченко Владислав Олексійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Теслюк Геннадій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Рибкін Антон Петрович

Дніпро, 2021

# ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ТСГМ

\_\_\_\_ (назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

## З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Харченко Владислав Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення механізації поверхневого обробітку ґрунту з обґрунтуванням параметрів ротаційної борони

керівник роботи Теслюк Геннадій Володимирович, канд. техн. наук, доцент  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 17 » 11 2021 року № 3539

2. Строк подання студентом роботи 1. 12. 2021

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі механізації рослинництва та існуючого знаряддя для обробітку ґрунту. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Стан питання. Огляд конструкцій і досліджень. 2. Обґрунтування конструкції. Аналітичні дослідження. 3. Програма і методика експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність роботи.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. 2. Мета і задачі досліджень. 3. Послідовність досліджень (2 аркуша, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуш, А4). 3. Дослідна установка. (1 аркушів, А4). 4. Методика експериментальних досліджень. (6 аркуш, А4). 4. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (1 аркуша, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
2	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
3	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
4	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
5	Кравець В. В., доцент		
6	Вінніченко І. І., професор		
Нормоконтроль	Волик Б.А., доцент		

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний		
2	Теоретичний		
3	Експериментальний		
4	Охорона праці		
5	Економічний		
6	Демонстраційна частина		

**Студент**

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ Теслюк Г.В. (прізвище та ініціали)



## РЕФЕРАТ

Харченко В.О. Удосконалення механізації поверхневого обробітку ґрунту з обґрунтуванням параметрів ротаційної борони / В.О.Харченко – Дипломна робота ступеня магістр за спеціальністю №208 Агроінженерія. – ДДАЕУ, Дніпро,- 2021 – 84 с.

В роботі наведені результати аналітичних і експериментальних досліджень спрямованих на раціоналізацію конструктивних і кінематичних параметрів ротаційної борони. Запропонована власна конструкція зубового ротаційного диска, запропонована методика адаптації теорії внутрішньої напруги до визначення залежності тягового опору від конструктивних параметрів і кінематичного режиму роботи знаряддя. Обґрунтований необхідний і достатній перелік показників для оцінки якісних показників роботи в процесі експериментальних досліджень. Проведені експериментальні дослідження підтвердили раціональність конструкції і адекватність математичної моделі.

Техніко-економічні розрахунки показали хорошу ефективність від впровадження досліджень у виробництво. Прогнозований річний економічний ефект становить 21315 грн.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. СТАН ПИТАННЯ. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ І ДОСЛІДЖЕНЬ...	11
1.1. Загальна характеристика процесу боронування.....	12
1.2. Ротаційні борони масового виробництва.....	12
1.3. Гнучка борона Л.Ф. Бабицького.....	17
1.4. Ротаційні борони спеціального призначення.....	19
1.5. Біонічна ротаційна борона розробки ДДАЕУ.....	21
1.6. Огляд аналітичних досліджень.....	24
1.7. Кінематика формування мікровибуху біонічною бороною.....	28
1.8. Ротаційна борона Green Star.....	30
Висновки .....	33
2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	34
2.1 Обґрунтування прототипу і конструктивної схеми робочого органу	34
2.2 Математична модель взаємодії робочого органа з грунтом.....	37
Висновки.....	40
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42
3.1. Аналітичне обґрунтування переліку контрольованих показників....	42
3.2. Окремі приватні методики досліджень.....	44
3.3. Конструкція дослідної установки.....	48
3.4 Програма експериментальних досліджень.....	49

Висновки.....	50
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	52
4.1. Характеристика дослідної ділянки.....	52
4.2. Загальні показники виконання технологічного процесу.....	52
4.3. Основні результати досліджень.....	53
4.4. Комплексні польові дослідження тягового опору.....	57
4.5. Прогнозована продуктивність агрегату та витрати палива.....	59
Висновки.....	62
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
5.1 Аналіз стану безпеки праці в умовах сучасних сільськогосподарських підприємствах.....	63
5.2 Загальна характеристика операції і нормативні вимоги безпеки при її здійсненні.....	64
5.3 Вимоги безпеки при використанні модернізованого агрегату.....	66
5.4 Організації контролю.....	68
Висновок .....	69
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....	70
ВИСНОВКИ.....	75
Загальні висновки .....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** За визначенням боронування являє собою поверхневий обробіток, який передбачає кришення, розпушення, часткове перемішування, вирівнювання поверхні ґрунту, а також знищення проростків і сходів бур'янів. Його застосовують для подрібнення грудок, руйнування ґрунтової кірки, вирівнювання гребенів, тощо. Можна стверджувати, що боронування в значній мірі визначає якісний стан ґрунтового середовища.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Роботу виконано в Дніпровському державному аграрно-економічному університеті. Дослідження, що складають основу магістерської роботи виконувались згідно з тематичним планом науково-дослідних робіт ДДАЕУ на 2016 – 2018 роки «Обґрунтування параметрів, розробка конструкції та дослідження машин для роботи в умовах природного землеробства», № державної реєстрації : 0114U0022882.

**Мета роботи** – підвищення ефективності функціонування ротаційної борони шляхом раціоналізації параметрів голчастого колеса.

**Завдання досліджень.** Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання :

- на основі аналізу наведених в науково-технічній літературі результатів досліджень, окреслені невирішені проблеми та визначений напрямок аналітичних і експериментальних досліджень;
- аналітично обґрунтована форма голок та побудована аналітична модель взаємодії ротаційної борони з оброблюваним середовищем;



- виконані експериментальні дослідження на підтвердження адекватності висунутих робочих гіпотез і розроблених аналітичних моделей;
- проведені техніко-економічні розрахунки на підтвердження ефективності виконаних досліджень;

*Об'єкт дослідження* – процес взаємодії з ґрунтом нової конструкції голчастого диска

*Предмет дослідження* – вплив конструктивних параметрів системи голчасте колесо-пружний стояк на якісні показники обробітку ґрунту та надійності конструкції.

**Методи дослідження** – теоретичні дослідження виконані з застосуванням методів теоретичної і землеробської механіки, аналітичної та нарисної геометрії, прикладної математики. Експериментальні дослідження виконані

за спеціально розробленими методиками з залученням методів планування експерименту та регресійного аналізу.

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

- Вперше, побудована математична модель взаємодії з ґрунтом дискового ножа з встановленими по периметру у шахматному порядку зубами. Вперше, математична модель поєднала раціональні складові теорії внутрішньої напруги А.М.Панченка, теорії підпірної стінки Н.А. Цитовича та теорії дотичної напруги.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

- обґрунтовані раціональні параметри голчастого робочого органа, що включає сам диск і зуби евольвентного профілю;
- методики розрахунку можна рекомендувати для впровадження у виробництво.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем розроблена математична модель взаємодії зуба з ґрунтом. Розроблена конструкторська документація

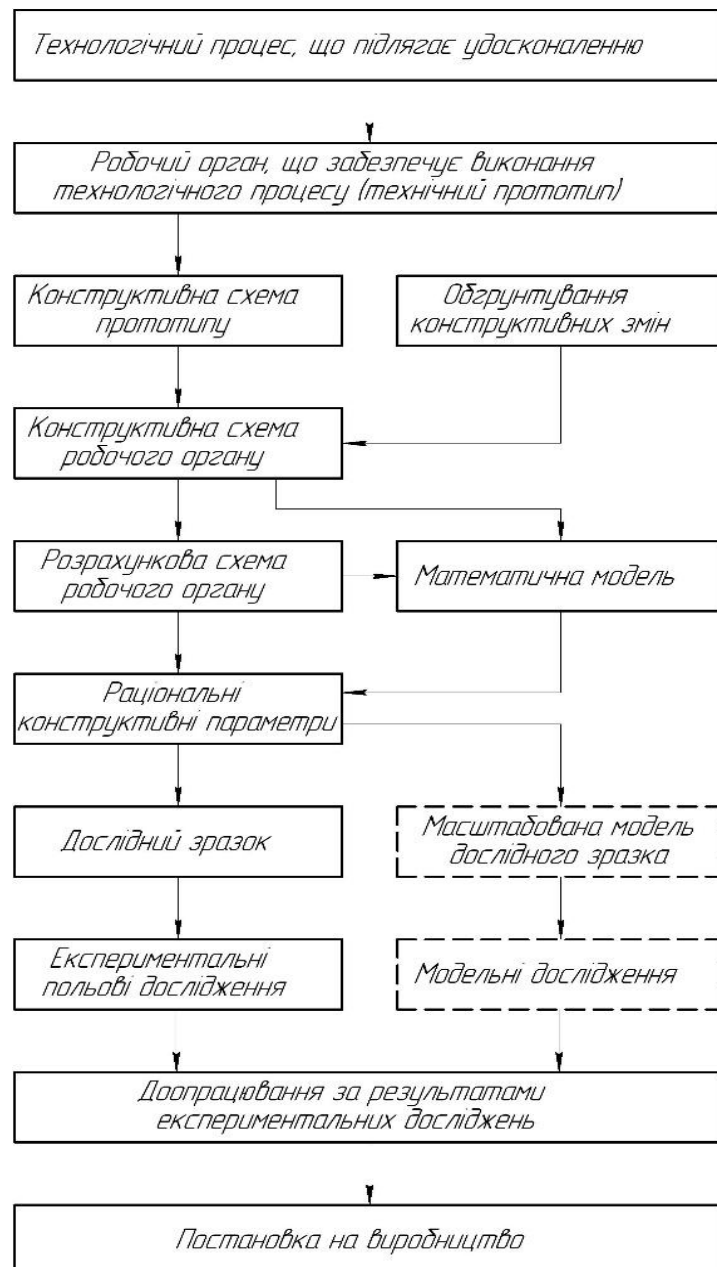
на дослідний зразок робочого органу. Виконанні дослідження та отримані їх результати.

**Апробація результатів досліджень.** Основні положення і матеріали дипломної роботи доповідались: міжнародній науково практичній конференції.

Магістерська дипломна робота виконана на 80 сторінках основної частини, містить 18 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел з 23 найменувань, додатки на 2 сторінках та 16 слайдах графічної частини.

## 1. СТАН ПИТАННЯ. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ І ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналізом літературних джерел нами систематизована наступна схема досліджень, спрямованих на розробку нових робочих органів, рис (1.1)



## Рис.1.1 – Послідовність досліджень, спрямованих на розробки нового робочого органу

Дослідження за тематикою магістерської роботи виконані нами у відповідності до наведеної структури робіт.

### **1.1. Загальна характеристика процесу боронування**

Оглядом літературних джерел встановлено, що агротехнічні вимоги на якість боронування залежать від того яким чином борона використовується: як самостійний агрегат, чи у складі ґрунтообробного комплексу. Проте можна окреслити вимоги, які є спільними для різних варіантів використання борін:

- глибина борозен 3 - 4 см;
- діаметр грудок ґрунту не більше 5 см;
- відсутність брил і гребенів;
- відсутність огріхів;
- відсутність бур'янів;

в разі післясходового боронування кількість пошкоджених культурних рослин не більше 3%.

Для зменшення випаровування вологи навесні боронуванням на поверхні ґрунту створюють мульчуючий шар товщиною 3-4 см. Операцію рекомендовано проводити коли вологість поверхневого шару буде становити близько 60% повної вологості. Для запобігання огріхів боронування рекомендується проводити з перекриттям за шириною захвату 15-20 см

### **1.2. Ротаційні борони масового виробництва**

Останнім часом ротаційні борони різного конструктивного виконання отримали широке розповсюдження, що обумовлене рядом переваг над пасивними робочими органами.

Оглядом літературних джерел встановлено. Саме ротаційні борони дають змогу подолати проблему утворення кірки на посівах озимих культур, розв'язуючи цілу низку супутніх проблем.

На полях України працюють різноманітні моделі ротаційних борін, що відповідають усім агротехнічним вимогам, і які виготовляють закордонні та вітчизняні фірми-виробники сільськогосподарської техніки. Розглянемо, на наш погляд, найцікавіші серед них.

Ротаційна зубова борона «ДИНАР», рис.1.2. обробляє ґрунт на глибину до 5 см. Основним робочим органом є дискова батарея, що складається з роторних зірочок з евольвентним профілем зуба. Роторні зірочки виготовлені методом литва зуба і ступиці як єдиного конструктивного елемента.

Зміна інтенсивності дії на ґрунт виконується регулюванням жорсткості подвійної пружини стояка кріплення і швидкістю руху агрегату.

В цілому перевага робочих органів з косим зубом полягає в геометрії входження зуба у ґрунт. Так, якщо вигин зуба спрямований за напрямком руху, то зуб входить у ґрунт вертикально, якщо повернути зуб вигином проти напрямку руху то інтенсивність дії на ґрунт суттєво зростає, що є корисним при обробці стерні





Рис.1.4 – Варіанти виконання зубових дисків підкопуючої дії

В варіанті легких ґрунтових умов знайшли розповсюдження легкі голчасті ротаційні борони, які використовують в основному для порушення ґрунтової кірки (рис.1.5). До недоліків слід віднести значну кількість складових одиниць в конструкції.

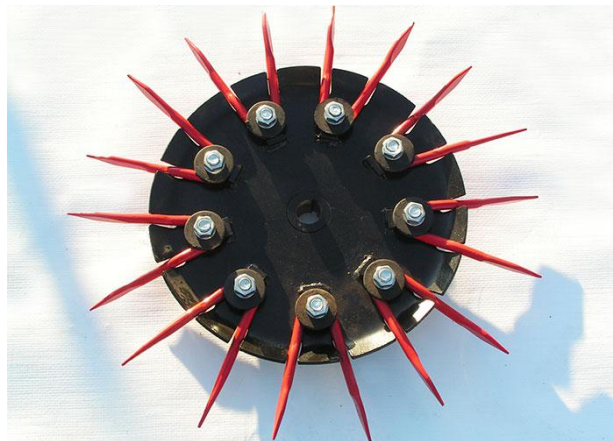


Рис.1.5. – Голчастий диск легкої ротаційної борони

### 1.3. Гнучка борона Л.Ф. Бабицького

Л.Ф.Бабицький [3,4] запропонував конструкцію гнучкої ротаційної борони (рис.1.6).

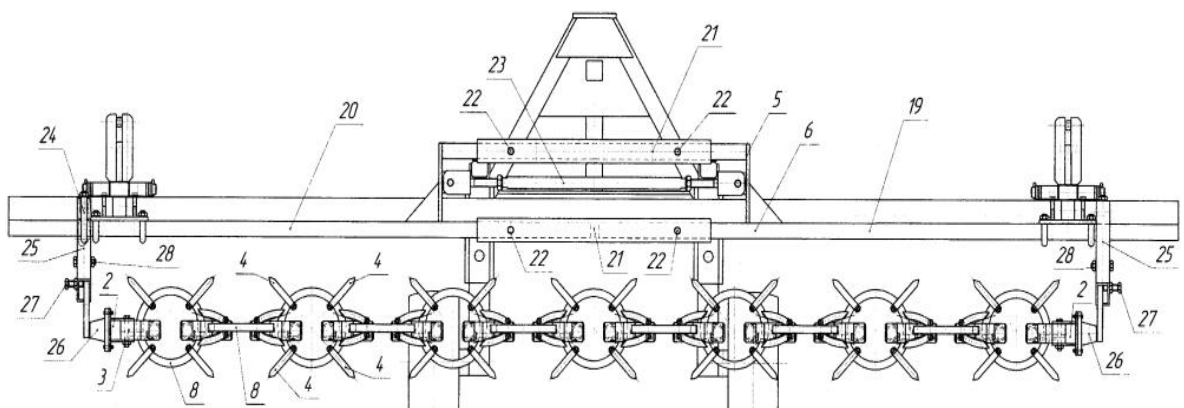


Рис. 1.6 – Конструктивна схема гнучкої ротаційної борони  
Л.Ф.Бабицького[3,4]

В процесі руху, за рахунок наявності пружних елементів, голки виконують складний коливальний рух (рис.1.7.), що дозволяє робити поверхневий шар ґрунту більш однорідним.

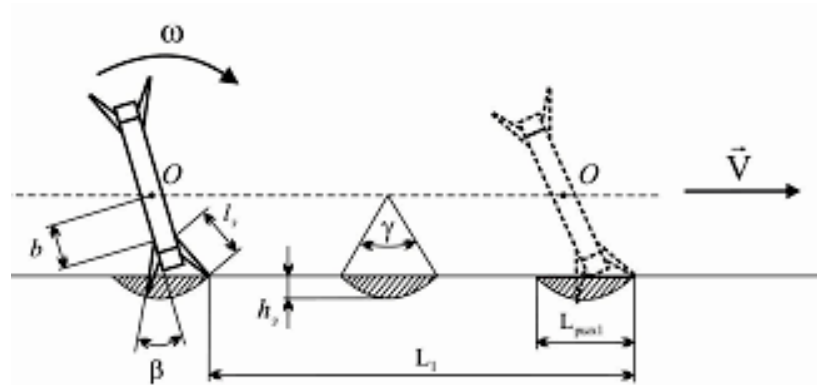


Рис. 1.7 – Схема коливального руху голок борони Л.Ф.Бабицького [3]

Запропонована борона V- подібної форми. (рис.1.8).

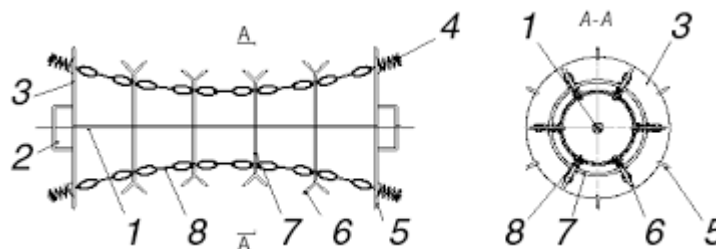


Рис. 1.8 – Схема гнучкої ротаційної борони [8] :

- 1 – вал; 2 – опора валу; 3 – диск опорний; 4 – циліндрична пружина;  
5 – ґрунтозацеп; 6 – зуб; 7 – проміжне кільце; 8 – ланцюг.

Конструкція даної машини представлена на рис.1.9.





Рисунок 1.9 – Схема борони

#### 1.4. Ротаційні борони спеціального призначення.

Розглянуті вище конструкції борін призначені до роботи в умовах рядової експлуатації, тобто на звичайних плантаціях в умовах традиційної системи землеробства. В той же час існує ряд технологій вирощування сільськогосподарських культур, які теж потребують боронування, але традиційними способами це зробити не можливо. Розглянемо окремі конструктивні рішення, адаптовані саме під такі технології.

##### *Гребенева технологія землеробства*

Для роботи в умовах гребеневого землеробства розроблена спеціальна борона (рис.1.10). Робочий орган виконує ярусний обробіток при гребневому розміщенню культури, наприклад картоплі. Ротор обробляє міжряддя з нищенням бур'яну і розпушує гребені на невелику (до 3 см) глибину. До недоліків конструкції слід віднести те, що ротор закріплений консольно і тому навантаження на підшипникову опору буде збільшеним. Але варіант з двома опорами не забезпечить сходження рослинних решток з голок і тому не використовується. Як правило голки таких борін виконують циліндричними з однією бічною загостреною кінцівкою. В залежності від напрямку загострення секція має різну реакцію ґрунту. Тому вони можуть бути ліво і

правосторонніми. В залежності від конкретних умов, їх можна міняти місцями.



Рис.1.10 Ротаційна борона для роботи в умовах гребеневого землеробства

### *Технологія землеробства Strip-Till*

Особливість системи смугового землеробства Strip-Till полягає в чередуванні оброблених і необроблених смуг, що виключає можливість використання борін стандартної ширини захвату. В ДДАЕУ розроблена конструкція секції ротаційної борони, яка повністю вписується в систему машин для смугового землеробства (рис.1.11). Особливість конструкції також полягає в тому, що батарея має пружні стояки, що в процесі роботи призводить до збудження коливань. Автоколивання в системі сприяють самоочищенню від забивання міждискового простору рослинними рештками, що в умовах обмеженого простору смуги суттєво підвищує технологічну надійність секції.

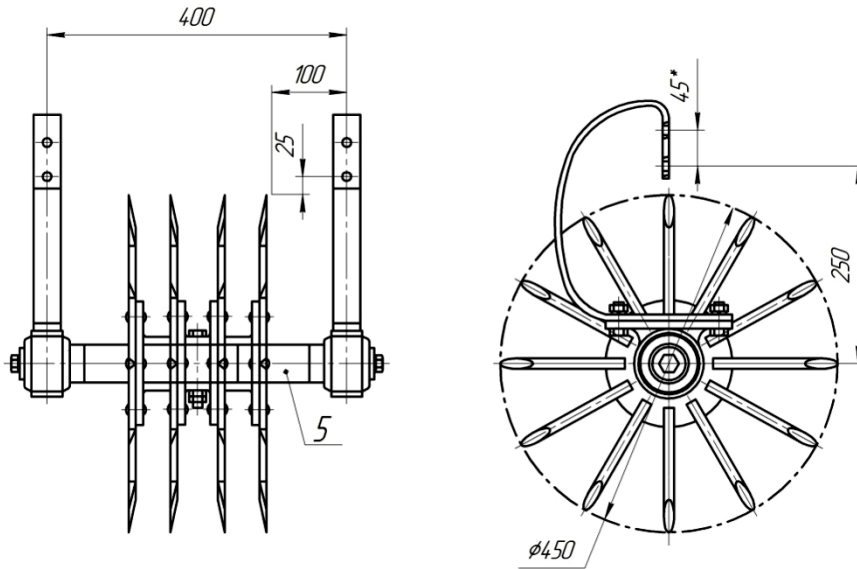


Рис. 1.11. Секція ротаційної борони для роботи за системою смугового землеробства Strip-Till [11] – Розробка ДДАЕУ

### 1.5. Біонічна ротаційна борона розробки ДДАЕУ

У ротаційних зубових і гольчатих борін в процесі роботи виникають технологічні відмови з причини нависання на голках суміші ґрунту і рослинних решток. В процесі аналітичних досліджень було проаналізовано, як цю проблему вирішує звичайний лісовий їжак. Розв'язка впливає з аналізу будови вузла кріплення голок до панцирю тварини (рис.1.12)

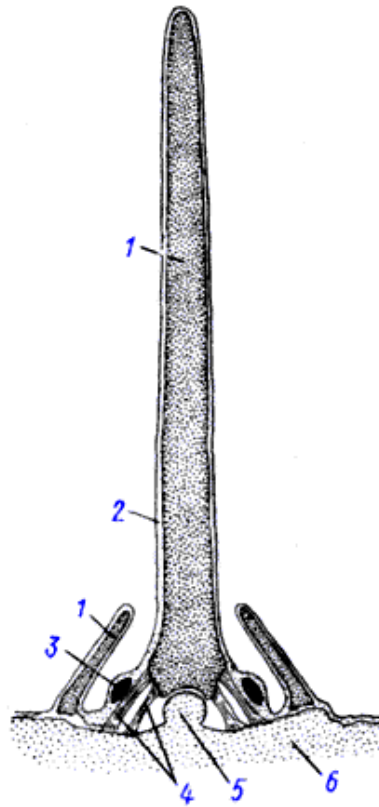


Рис.1.12 - Схема кріплення голки до панциря їжака:

1 – голка; 2 – епітелій; 3 – нервові кільця; 4 - м'язи; 5 –суглобова  
головка; 6 - панцирь

З точки зору кінематики, процес виглядає наступним чином. Нервова система тварини подає сигнал на нервові кільця 3, м'язи 4 починають стискатись- розтискатись і приводять у коливальний рух голку. Коливання голок відбувається не синхронно і в системі спостерігається несинхронізований коливальний рух всіх голок індивідуально, що призводить до видалення наколотих рослинних решток

На рис.1.13 приведені конструктивні схеми різних варіантів аналогу голки біологічного прототипу. Варіанти відрізняє характер доведення сили реакції голки до суглобової кінцівки 4: *а,б* – зосереджений; *в* – розсереджений

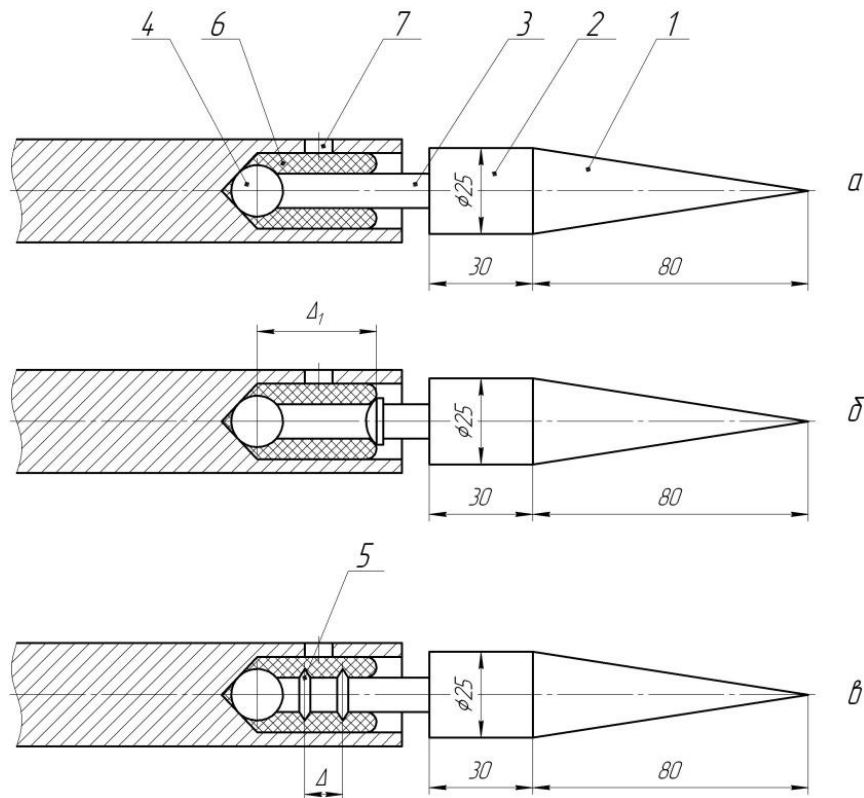


Рис.1.13 – Варіанти конструктивного виконання голок [11]:

1 – наконечник; 2 – тіло голки; 3 – шток; 4 – суглобова кінцівка; 5 – технологічні проточки; 6 – силиконова маса; 7 – технологічний отвір.

На рис.1.14 представлена узагальнена конструктивна схема біонічного гольчатого диска ротаційної борони [11]

Конструкція уніфікована з відомими конструктивними рішеннями розглянутих вище борін і може бути використана в серійних конструкціях.

Не дослідженим є питання кількості робочих циклів пружного елемента до його руйнування. Імітаційними дослідженнями встановлений прогнозований строк безаварійної роботи складає 2 – 2,5 роки, але слід

відмітити, що в разі руйнування пружного елемента голку заклинить в корпусі і конструкція буде працювати в пасивному режимі, тобто, працездатність буде збережена.

Слід відмітити, що технологія заповнення порожнини корпусу голки в умовах масового виробництва відпрацьована на ДП «Гуляйпільський механічний завод і проблем не викликає .

В разі руйнування пружного елемента

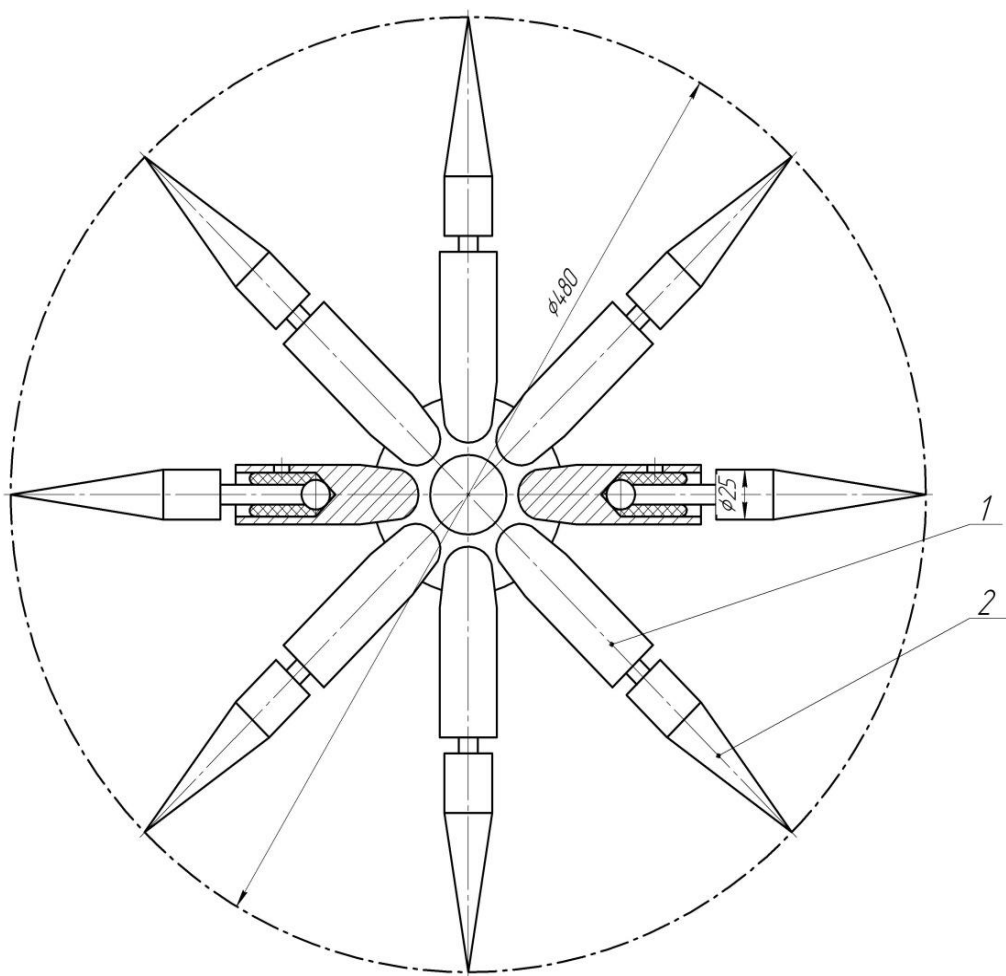


Рис.1.14 – Конструктивна схема біонічного гольчатого диска ротаційної борони [11] :

1 – корпус зуба; 2 – зуб

## 1.6 Огляд аналітичних досліджень.

Слід відмітити, що більшість конструктивних і кінематичних параметрів ротаційних борін кожним виробником відпрацьовані експериментально і стосовно наперед визначеної конструкції. Прийняття конструктивної схеми залежить в основному від досвіду і інтуїції розробника. Аналітичні обґрунтування як правило відсутні.

Аналізом конструкцій ротаційних борін встановлено, що дія їх робочих органів на ґрунт може бути систематизована наступним чином : вертикальне занурення прямої голки з конусовидним наконечником [5], створення мікровибуху [4,7,11], дія торцевою поверхнею[16]. В першому випадку кришення відбувається за рахунок вертикальної ріжучої сили занурення леза, в другому утворення вертикально діючої сили від нижнього до поверхневого горизонтів, в третьому кришення відбувається під дією стискаючих сил. Більшістю дослідників варіант мікровибуху розглядається як пріоритетний.

Серед останніх досліджень, слід відмітити роботу В.В. Шевчука [21], який показав голки циліндричної конструкції з конічним наконечником. (рис.1.15)

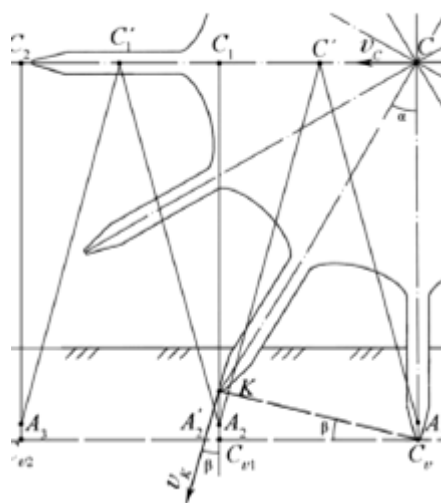


Рисунок 1.15 – Розрахункова схема до визначення кінематичних параметрів голчастого диска [11]

Також слід відмітити роботи Л.Ф. Бабицького[3,4] (рис. 1.16, 1.17).

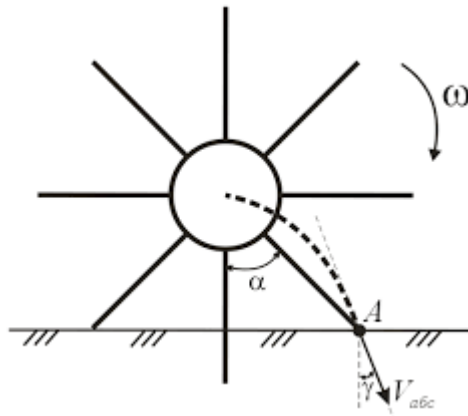


Рисунок 1.16 – Кінематична схема руху голки диска [3,4]

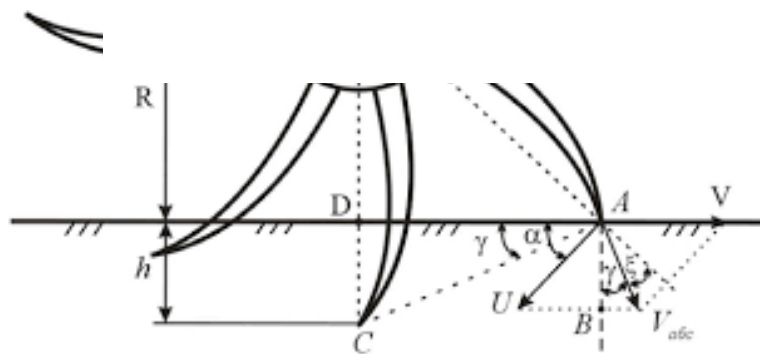


Рисунок 1.17 – Загальний вид голки, запропоновано Л.Ф.Бабицьким [4]

## Висновок

Відомі конструкції ротаційних борін забезпечують якісне виконання технологічного процесу, але вони конструктивно складні і як наслідок мають високу вартість виготовлення. Тому метою даної магістерської роботи є обґрунтування максимально простої конструкції, але такої що могла б забезпечити якісні показники виконання технологічного процесу.



## 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Обґрунтування прототипу і конструктивної схеми робочого органу

За основу досліджень прийнятий робочий орган роторної борони БРН-3,5 А (рис.2.1). Вибір обґрунтований тим, що дана борона випускається рядом вітчизняних виробників і доволі розповсюджена в господарствах.

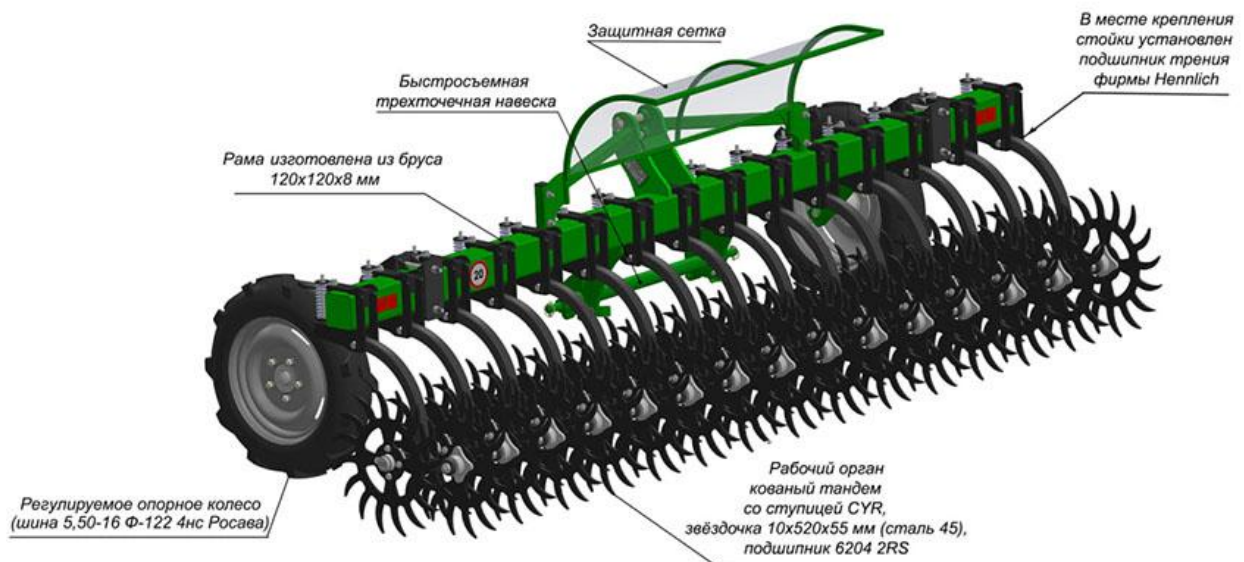


Рис.2.1 – Борона ротаційна начіпна БРН-3,5А

Борона призначена для суцільної і міжрядної обробки будь-яких культур: зернових, просапних, сої, овочів і т.д. Підходить для всіх типів ґрунтів. При обробці даним агрегатом проводиться механічна боротьба з бур'яном в фазі нитки, розпушування кірки ґрунту і закладення добрив або гербіцидів. Гойдає тандем на двох підшипниках збільшує термін служби даного вузла і забезпечує копіювання рельєфу ґрунту і однакову глибину обробки. Чим вище швидкість, тим сильніше рихлити ґрунт.

Профіль зуба такої борони добре аргументований, що дозволяє нам використовувати елементи досліджень [3,4,8,21].

Візуальними спостереженнями за роботою прототипу встановлено, що встановлені паралельно диски розпушують ґрунт в межах утворюваної борозни міждисківий простір залишається практично монолітним. Нами пропонується змінити конструктивно-розрахункову схему диска наступним чином (рис.2.2) Основні відмінності полягають в наступному. Диск пропонується зробити комбінованим. Базовим елементом конструкції є дисковий ніж з який поділяє оброблювану борозну на два сектори. З обох сторін диска прикріплені у шахматному порядку зуби з евольвентним профілем робочої поверхні.

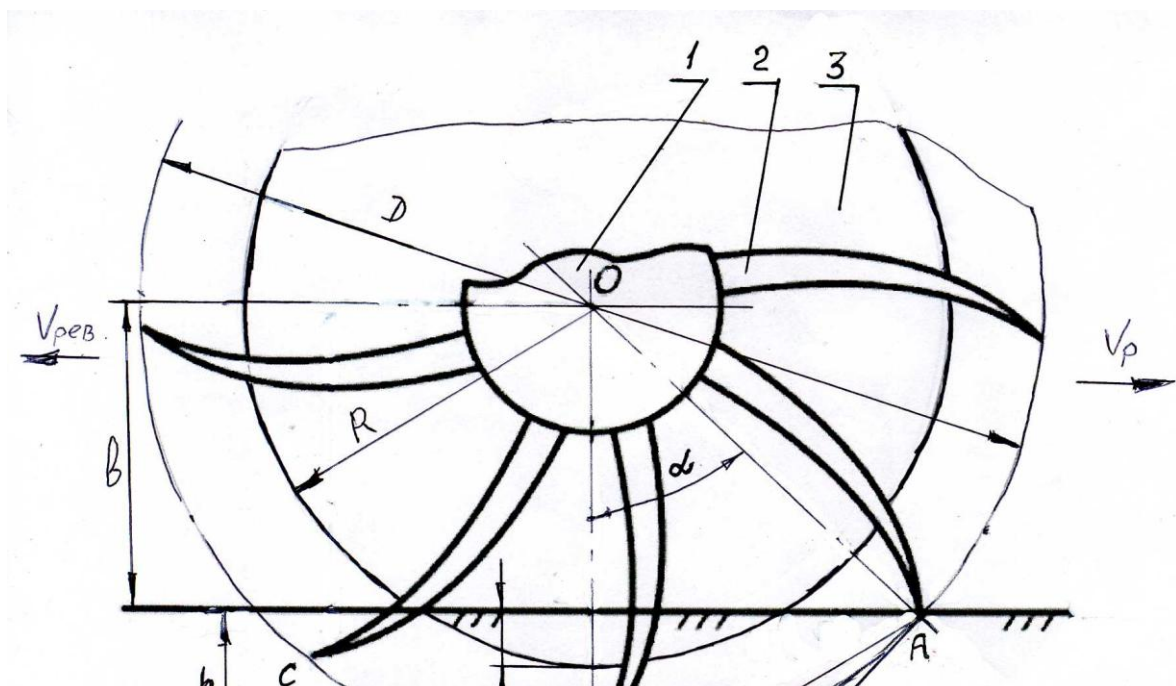


Рис.2.2 – Розрахункова схема ротаційного зубового диска :

1 – ступиця; 2 – зуб; 3 – дисковий ніж;

Таке конструктивне рішення призводить до того, що кожен зуб формує свою зону мікроривбуху у відділеному секторі.

У відповідності до розрахункової схеми виготовлений дослідний зразок диска (рис.2.3.)



Рис.2.3 – Загальний вид диска

Зуб можна представити як долото зі змінним кутом атаки, що надає можливості в моделі використовувати закономірності розповсюдження ліній сколу від леза [12] і розглядати поверхню як підпірну стійку [14,23].

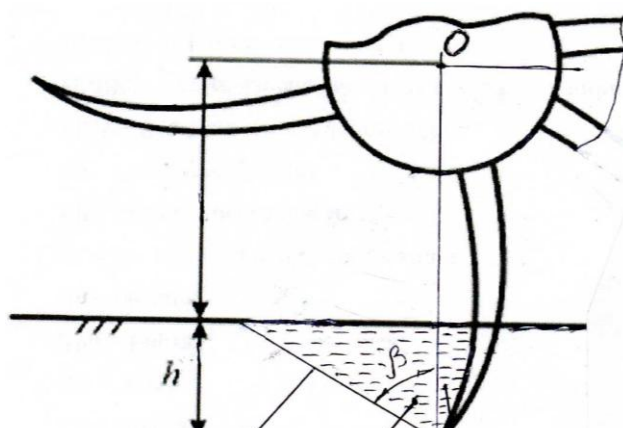


Рис.2.4 – схема формування мікробибуху :

1 – пріоритетний напрямок розповсюдження лінії сколу; 2 – розпушена призма ґрунту; 3 – буферна зона [6]

## 2.2. Математична модель

В аналітичному плані при розробці математичної моделі за основу була взята теорія внутрішньої напруги [14]. Систематизувавши схему досліджень нами пропонується наступна схема, що описує принципові положення досліджень наглядно. (рис.2.5).



Рис.2.5 – Блок схема Систематизації робочого органу за функціональним призначенням складових його частин.

Сутність математичної моделі полягає у визначенні залежності тягового опору і якісних показників кришення від конструктивних і кінематичних параметрів знаряддя.

Основу математичної моделі становить інтегральна формула А.М.Панченка обчислення прогнозованого тягового опору ріжучого периметру довільної геометричної форми [14] Розглянемо цю залежність на предмет адаптації до виконуваних нами досліджень.

$$\begin{aligned}
 P_{p1} = & \left[ C_{nz} \left[ \frac{0,66a^2 \cdot ctg\varphi_2}{\cos(\alpha_p - \varphi_2)} + \epsilon_3 \cdot a \right] \cdot tg(\alpha_p + \varphi_2) + 4,9\epsilon_3 \cdot a^2 \times \right. \\
 & \times tg^2(45^\circ - 0,5\varphi_2) \cdot \gamma \left[ \sin\varphi_2 + \cos(\alpha_p + \varphi_2) \cdot \cos\alpha_p \cdot tg\varphi_1 \right] + \\
 & + 2a^2 \{ 0,5C_{nz} [tg(45^\circ + \varphi_2) + ctg\alpha_p] \cdot \left[ \frac{0,55ctg\varphi_2}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} \right] + \quad (2.1) \\
 & + 4,9\delta_p \cdot tg^2(45^\circ - 0,5\varphi_2) \sin\varphi_2 \gamma \} \cdot tg\varphi_1 + K'(Z + X \cdot tg\varphi_1) \times \\
 & \times \epsilon_3 + \frac{9,81\epsilon_3 \cdot a \cdot \gamma}{g} \cdot \frac{\sin\alpha_p \cdot \cos\theta}{\sin(\alpha_p + \theta)} \cdot V^2 \left. \cdot \cos \left[ \arctg \left( \frac{i + \sin\varphi_1}{\cos\varphi_1} \right) \right] \right],
 \end{aligned}$$

Особливість наведеної залежності (2.1) полягає в тому, що вона оперує з приведеними значеннями конструктивних параметрів, але як показують виконані дослідження [11,14,19], це безумовно вносить похибку в розрахунки, але в даному випадку ми виходимо з того, що іншої працездатної методики просто не існує.

Адаптація даної (2.1) до розрахункової схеми (рис.4.2) полягає в урахуванні впливу на процес ділянки 3. В зв'язку з відсутністю методики

визначення її параметрів її вплив враховуємо тим, що в формулі замість коефіцієнта зовнішнього тертя  $\varphi_1$  ґрунту по сталі використовуємо коефіцієнт внутрішнього тертя  $\varphi_2$ . Приведене значення ширини захвату  $b_3$  прирівнюємо ширині леза зуба. Інші параметри приймаємо конструктивно : за аналогією з серійною машиною прототипом.  $\gamma$  – питома вага ґрунту, приймаємо такою, що дорівнює питомій вазі ґрунту дослідної ділянки;  $a$  – глибина робочого ходу;  $V$  – робоча швидкість агрегату;  $\Theta$  – зхадній кут леза.  $i$  – коефіцієнт ковзання. Але сама велика складність полягає в тому, що методика розглядає поверхню долота (зуба) як прямолінійну з постійним кутом атаки  $\alpha_p$ . В нашому випадку профіль поверхні криволінійний, тобто має змінний кут атаки. В такому випадку можливі два варіанти : розглядати поверхню як таку, що утворена нескінченною кількістю нескінченно малих поверхонь, знаходити реакцію кожної такої поверхні і шляхом інтегрування знаходити загальну реакцію. Але методика працює з приведеними величинами і для збереження її цілості, необхідно криволінійний профіль замінити на плоский, який би з достатнім ступенем кореляції міг замінити реальний. Конструктивно поступаємо наступним чином. з'єднуємо на профілі прямою лезо долота і точку, що відповідає максимальному заглибленню зуба. Кут нахилу прямої до вертикалі приймаємо як кут постановки підпірної стінки, що надає правомірності використання методики визначення реакції підпірної стінки [23]. Приграничний шар 3 вирівнює поверхню і надає нам таке право.

Для підтвердження адекватності запропонованої моделі виконаємо розрахунок пристосовно до конкретно отриманих результатів експериментальних досліджень (табл.4.2.) Вихідні дані в розрахунках прийняті у відповідності до п.4.1 розділу 4.

Тяговий опір на робочій швидкості 3,05 м/с. і величині заглиблення зуба 120 мм для дослідного зразка становить:

Заміряне значення – 2,43 кН.

Розрахункове значення – 3,22 кН



1. Теорія внутрішньої напруги може бути використана як основа для створення аналітичної моделі взаємодії ротаційної зубової борони з ґрунтовим середовищем.

2. Адаптація розрахункової схеми і аналітичної моделі полягає в урахуванні впливу на процес приграничного до поверхні шару ґрунту, а саме в заміні в розрахунку сил тертя кута зовнішнього тертя на внутрішній.

3. Враховуючи те, що модель взаємодії з ґрунтом в своїй основі має рівняння прямолінійної підпірної стінки, запропоновано, використовуючи метод найменших квадратів шляхом лінійної інтерполяції знайти параметри приведеної прямолінійної поверхні, що відповідає загальним принципам аналітичної моделі.

4. Аналітичні розрахунки, виконані на основі запропонованої моделі показують хорошу, в межах 25%, збіжність результатів з результатами експериментальних



### **3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1. Аналітичне обґрунтування переліку контрольованих показників**

Розрахункова схема будується розробником на підставі власних уявлень про конструкцію з урахуванням аналізу існуючого прототипу. Проаналізуємо відомі математичні моделі на предмет визначення необхідної і достатньої кількості показників, що забезпечують їх функціонування. Всього можна виділити три види математичних моделей. Перший вид складають моделі, що входять до розрахункового курсу сільськогосподарських машин [10]. Їх особливість полягає в тому, що вони аргументують конструктивні параметри робочих органів з точки зору можливості виконання технологічного процесу без урахування якісних показників роботи. Другу групу складають моделі землеробської механіки. Моделі цієї групи розглядають конструкцію робочого органу з точки зору взаємодії з оброблюваним середовищем, наприклад [8,11,21]. До третьої групи відносяться фундаментальні моделі загальнотеоретичного характеру, наприклад [6,14].

Аналіз моделей за наведеними групами дозволяє окреслити показники, що забезпечують функціонування моделей і характеризують виконання робочим органом технологічного процесу. Їх можна розділити на три групи:

1. *Показники агрофону, що характеризують стан плантації до початку роботи агрегату:*

- Питоме зчеплення часток ґрунту;
- Твердість і межа несучої спроможності ;
- Кути внутрішнього і зовнішнього тертя ґрунту в консолідованому і розпушеному стані;
- Питома вага ґрунтового середовища;
- Показники, що характеризують наявність і стан рослинних решток на поверхні і в оброблюваному шарі.

2. *Показники, що характеризують результат взаємодії з оброблюваним середовищем*

- Якість кришення і розпушення;
- Ступінь підрізання і загортання рослинних решток;
- Гребнистість і брилястість поверхні;
- Глибина обробітку;

3. *Показники, що характеризують знаряддя в процесі роботи*

- Складові тягового опору;
- Сталість ходу;
- Наявність технологічних відмов;
- Наявність технічних відмов;

Методики визначення більшості показників добре відпрацьовані:

- механічні властивості [12];
- показники кришення і розпушення [13];
- тяговий опір [22];
- експлуатаційні показники [15].

### **3.2. Окремі приватні методики досліджень**

В ряді наукових праць запропоновані, власні показники, які вирішують специфічні задачі стосовно конкретних робочих органів, як-то, наприклад,

коефіцієнт різноподрібнення структурованих агрегатів [14], який дозволяє оцінити нерівномірність кришення. Для визначення цього показника, як і для визначення коефіцієнту структурності необхідно шляхом просіювання ґрунтових проб на решетах отримати розподіл фракційного складу. На відміну від коефіцієнту структурності далі будується не гістограма розподілу а його огіва, рис.3.1.

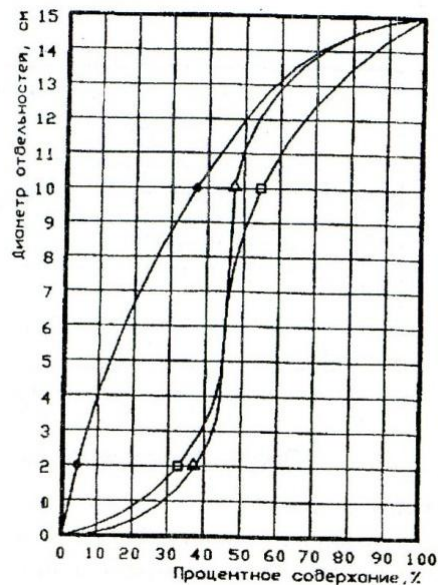


Рис.3.1 – Огіви розподілу фракційного складу взятої ґрунтової проби

Відміна огіви полягає в тому, що накопичена частота поміщена по осі абсцис, а значення признаку, в даному випадку вага фракції на осі ординат. Потім, за графіком знаходять накопичену масу до рівня відповідно 10 і 60%. Коефіцієнт різноподрібнення [14] визначається за залежністю:

$$K_p = d_{10}/d_{60},$$

де  $d_{10}$  і  $d_{60}$  середній приведений діаметр грудок що становлять відповідно 10% і 60% за накопиченою масою.

Для оцінки надійності машинодослідні станції часто використовують показник, який отримав назву коефіцієнт готовності. Фактично цей показник означає імовірність того, що в любий довільно взятий момент часу знаряддя знаходиться у працездатному стані. Для визначення цього показника необхідно за допомогою генератора випадкових чисел згенерувати в межах робочого часу зміни 10 значень часу і перевірити, чи працює в даний момент агрегат, чи ні, при цьому не поділяють на технічні причини і людський фактор. Коефіцієнт визначають за залежністю:

$$K_{\text{ГОТ}} = n/10,$$

де  $n$  – кількість випадків знаходження агрегату в неробочому стані.

У зв'язку з масовим поширенням органічного землеробства і адаптацією обробітку ґрунту до його умов, актуальним є обґрунтування системи показників для оцінки якості формування шару мульчі. Оцінці підлягають стан денної поверхні і стан шару ґрунту на глибину обробітку. Для характеристики стану поверхні традиційно використовують два показники – гребнистість і глибистість (брилястість). Обидва показники опосереднено характеризують збільшення площі денної поверхні поля і тому є сенс ввести єдиний інтегральний показник, який би характеризував це збільшення ( $K_{\Pi}$ ) =  $V_1/V$ , де  $V$ - площа контрольної ділянки до обробітку знаряддям,  $V_1$  – після обробітку.

Сутність методики визначення показника визначається наступним чином (рис.3.2).

$$K = \frac{L_M}{L}$$

де  $L_M$  – заміряна ділини канату;

$L$  – відстань по прямій між крайніми точками заміру.

Знання абсолютного значення цього показника дозволяє оцінювати випаровування вологи і величину отриманої соняшної радіації.

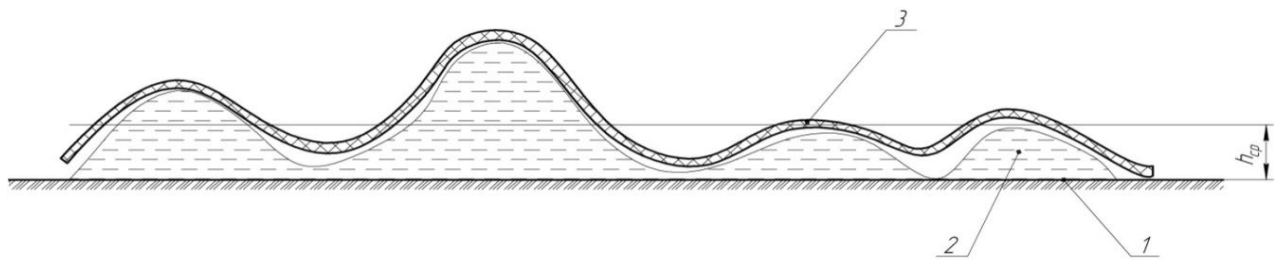


Рис.3.2. Схема профілю денної поверхні : 1 – вихідний рівень; 2 – гребінь; 3 – канат.

Стан шару ґрунту на глибину обробітку пропонується оцінювати за двома показниками: якість кришення за коефіцієнтом структурності який визначається як відношення [8]

$$K_{СТ} = \frac{m}{M},$$

де  $m$ - сумарна маса структурних відмінностей з приведеним діаметром  $0,25 \leq d \leq 10$  мм;  $M$  – загальна маса взятої проби.

Якість заорювання рослинних решток

Показник пропонуємо оцінювати за коефіцієнтом заорювання

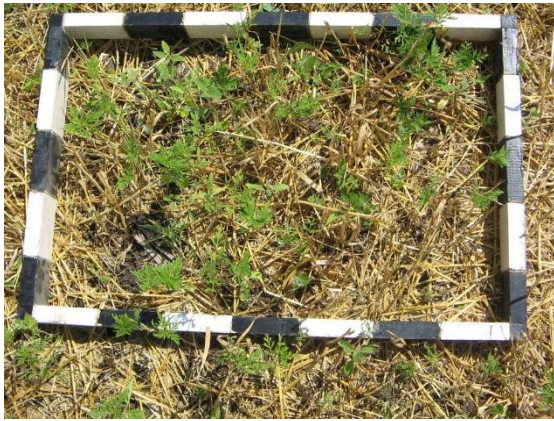
$$K_3 = \frac{n}{N},$$

де  $n$ - вагова кількість рослинних решток на поверхні ґрунту і поверхневому шарі 5-8 см до проходу агрегату в межах накладеної на поверхню рамки;

$N$  – вагова кількість рослинних решток у шарі мульчі на повну глибину обробітку ґрунту в межах рамки;

Сутність методики визначення полягає в наступному. На поверхню поля накладається рамка (рис.3.3,*a*) і в її межах знімається шар ґрунту 5-8 см, якщо визначається  $n$  і на повну глибину обробітку, якщо визначається  $N$ .

Взята проба просіюється на решеті з діаметром отворів 10 мм. (рис.3.3,б). Не просіяні рослинні рештки збирають, зважують і визначають питому вагу в розрахунку на 1 см<sup>2</sup> денної поверхні.



*a*



*б*

Рис. 3.3 – Визначення бурянів: *a* – обладнання; *б* – сепарація рослинних решток  $d = 10$  мм.

До переваг даного методу можна віднести і те, що є можливість одночасного визначення коефіцієнтів структурності і різноподрібнення розпушеного ґрунту.

Для оцінки ступеня кришення ґрунтової кірки взяту ґрунтову пробу з поверхневого шару просіваю попередньо на решеті з діаметром отворів 50 мм, що жозволяє відділити фракцію з відповідним приведеним діаметром, бо агровимоги припускають кришення до приведенного діаметру 50 мм.



Рис.3.4. Сепарація поверхневого фракційного складу на решеті  $d = 50$  мм.

### 3.3. Конструкція дослідної установки.

У зв'язку з обмеженими технічними можливостями в магістерській роботі були використані не опубліковані результати планових досліджень, м. Корсунь-Шевченковський Черкаської області.

Експериментальні дослідження проводились в умовах рядової експлуатації з використанням експериментальної дослідної установки даного підприємства, рис.3.5. На рисунку представлений базовий варіант комплектації заводу- виробника.

Установка являє собою поперечну прямокутну балку до якої хомутами кріпиться ряд гряділів з навішеними ротаційними дисками. Вся конструкція за допомогою гідравлічної начіпки навішується на трактор МТЗ-80. Особливість конструкції полягає в тому, що диски занурюються у ґрунт примусово з можливістю заміру сили занурення. Установка оснащена сучасним вимірювальним обладнанням з можливістю аналізу і відсіювання випадково отриманих результатів

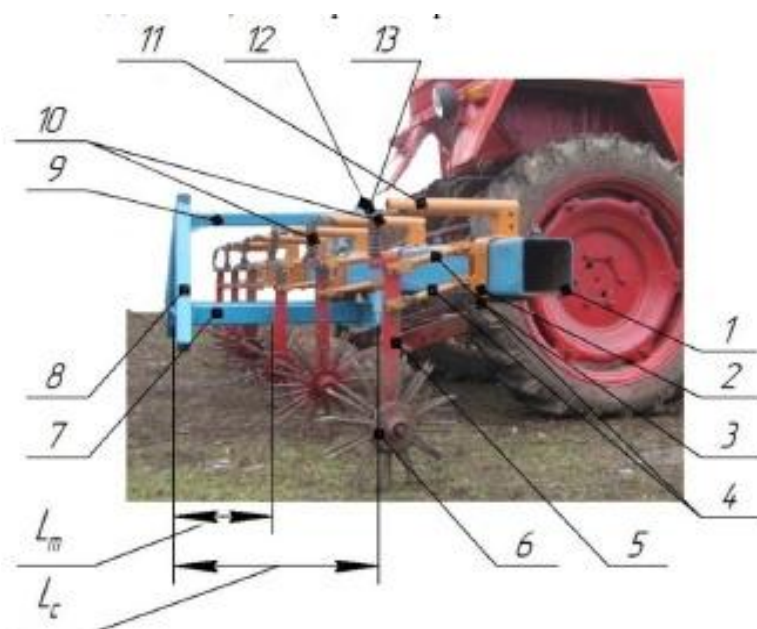


Рисунок 3.5 – Експериментальна установка М.П.Смирнова, варіант базової комплектації.[11] :

1 – поперечна балка; 2 – механізм кріплення; 3,4 – тяги паралелограму; 5 – стояк; 6 – ротаційний диск; 7, 8,9 – елементи конструкції рами; 10 – 13 – елементи тензметричної ланки.

В процесі досліджень з експериментальної установки знімалися диски 6 виробництва базового підприємства і встановлювалися наші дослідні зразки, рис.2.2.

### **3.4. Програма експериментальних досліджень**

Програмою передбачена комплексна оцінка ґрунтообробного знаряддя. А саме визначення, окресленої в п.3.1 групи показників.

Поетапно програма передбачає :

1. Оцінку стану дослідної ділянки з точки зору отримання показників, обумовлених потребами математичної моделі.
2. Визначення залежності тягового опору від вихідних параметрів дослідження.
3. Визначення якісних показників кришення і розпушення від вихідних параметрів дослідження.
4. Визначення показників експлуатаційної надійності конструкції.
5. Оцінка ремонтпригодності і уніфікації з відомими серійними робочими органами даного типу і призначення.

Традиційно для вирішення подібної задачі прийнято проводити трифакторний експеримент з наступним аналізом отриманого рівняння регресії і поверхні відгуку. При плануванні експерименту необхідно враховувати, що план повинен бути симетричним, або міг бути приведеним



до такого шляхом інтер- і екстраполяції. В нашому випадку план експерименту складений за узгодженням з можливостями і потребами базового підприємства.

Признано недоцільним змінювати діаметр описаного кола диска, як параметр остаточно відпрацьований. Зміну механіко-технологічних властивостей ґрунту можливо виконати тільки проведенням експерименту мінімум у трьох різних господарствах, що не гарантує отримання симетричного плану, але значно підвищує вартість експерименту. Таким чином в якості змінних вихідних параметрів остаточно прийняті : кут атаки диска і робоча швидкість. Питоме зчеплення часток ґрунту, його твердість і кути тертя прийняті в якості незмінних вихідних параметрів.

Кодування факторів признане не доцільним.

## **Висновки**

1. Наведені методики у своїй більшості добре відпрацьовані рядом дослідників і повністю адаптовані під технічні можливості використаної експериментальної установки.
2. Окреслена група показників є необхідною і достатньою за кількістю оцінюваних експлуатаційних параметрів агрегату.
3. Запропоновано методики визначення ряду оригінальних показників.
4. Методики узгоджені з програмою досліджень базового підприємства і питання що до доцільності роботи зняті.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Характеристика дослідної ділянки

Площа плантації, 300 га

Тип ґрунту - чорнозем звичайний середньосуглинистий

Стан поверхні –ґрунтова кірка завтовшки 2,5 -3,0 см

Рослинні рештки - різнотрав'я

Уклон поверхні –до 3 градусів

Табл.4.1.Показники агрофону, запозичено зі звітності господарства

№	Показник	Значення
1	Питоме зчеплення часток ґрунту , $C, \text{кН/м}^2$	2,5 – 4,5
2	Межа несучої спроможності, $K'$	450-820
3	Питома вага, $\gamma, \text{т/м}^3$	1,4-1,45
4	Кут тертя в консолідованому стані, град	48-56
5	Кут тертя по сталі, град	28-36
6	Твердість, $q, \text{Н/см}^2$	50-55

### 4.2. Загальні показники виконання технологічного процесу

Пробуксовування і рискання не відмічено.

Коефіцієнт готовності агрегату  $K_T = 0,9-0,93$

Коефіцієнт використання робочого часу зміни  $K_{ЗМ} = 0,85-0,9$

Візуальним оглядом огріхів не відмічено

Глибина в дослідному і серійному варіантах практично не перевищувала товщини кірки. Раціональне значення робочої швидкості методом експертної оцінки визначене в діапазоні 12-18 км/год що відповідає нормативним вимогам.

### 4.3 Основні результати досліджень

Як було обгрунтовано в розділі № 3, з об'єктивних причин ми відмовились від експерименту за трифакторним планом. Всі дослідження виконані шляхом однофакторного експерименту.

#### *Результати дослідження тягового опору.*

Табл.4.2 Заміряні значення тягового опору (чотирирядний варіант виконання)

Робоча швидкість, м/с		2,07	2,60	3,05	3,22	3,91	4,06	4,71	5,
Тяговий опір, кН	Дослідний	1,91	2,33	2,43	2,52	2,61	2,64	2,70	2,73
	Серійний	1,92	2,34	2,41	2,50	2,64	2,65	2,75	2,78

Для аналізу отриманих залежностей виконаємо лінійну інтерполяцію. І на її основі встановимо математичну залежність якій підпорядковується масив дослідних даних. За результатами інтерполяції отримано рід графічних залежностей, які описують поведінку залежності (рис.4.1)

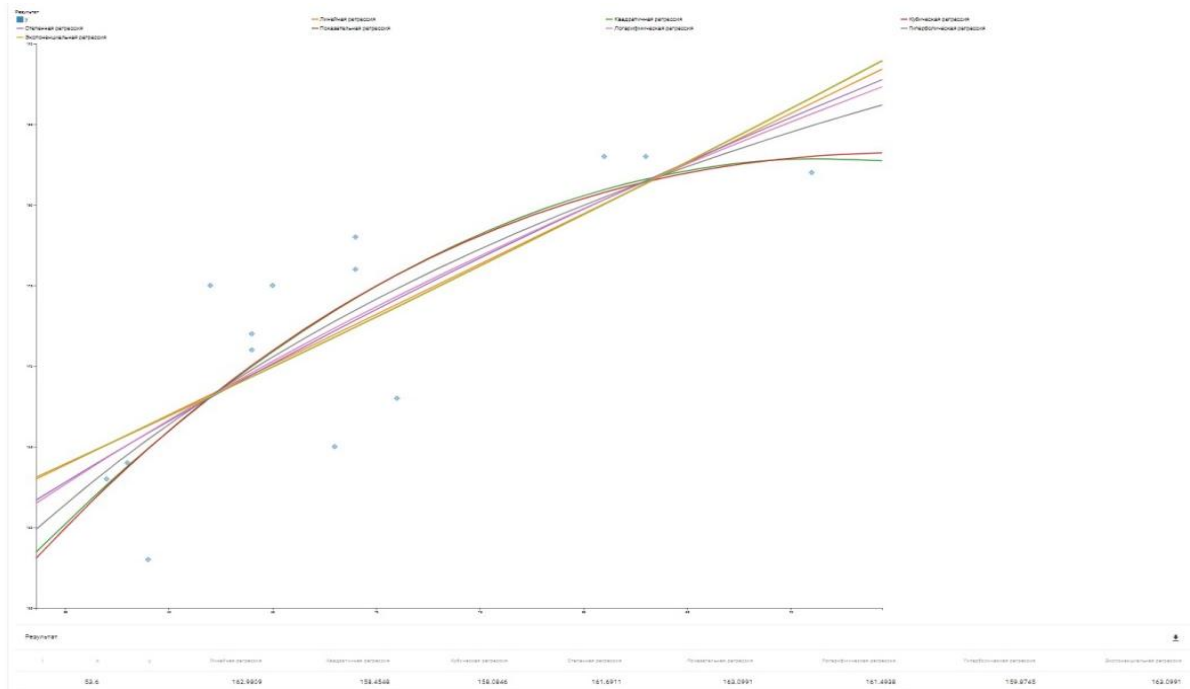


Рис.4.1 – Графічна інтерпретація залежності за результатами лінійної інтерполяції на основі методу найменших квадратів [2]

Як показав аналіз найбільший рівень кореляції мають три залежності, які можна використовувати як такі, що найбільш адекватно описують процес:

Лінійна регресія-  $y=0.2393x+1.6275$

Коефіцієнт лінійної парної кореляції 0.9091

Квадратична регресія  $= -0.1156x^2 + 1.0652x + 0.2576$

Коефіцієнт кореляції 0.9838

Кубічна регресія

$y=0.0618x^3 - 0.7696x^2 + 3.2692x - 2.0960$

Коефіцієнт кореляції 0.9961

### ***Якісні показники виконання технологічного процесу.***

Табл. 4.3 – Фракційний аналіз взятої проби ґрунту

Робоча швидкість агрегату 2, м/с; поверхнева кірка відсутня

Кут атаки $\alpha$ , град	Діаметр отвору	Маса фракції, кг	
	решета, мм	Дослідний	Серійний

0	10	5,32	6,81
	20	6,55	7,90
	25	7,21	8,93
	50	8,78	9,43
	Всього, кг	27,86	75,64
5	10	6,61	9,54
	20	7,84	10,87
	25	8,55	12,54
	50	9,03	14,65
	Всього, кг	32,03	47,6

Табл. 4.4 – Фракційний аналіз взятої проби ґрунту  
Робоча швидкість агрегату 4,м/с; поверхнева кірка відсутня

Кут атаки $\alpha$ , град	Діаметр отвору решета, мм	Маса фракції,кг	
		Дослідний	Серійний
0	10	5,87	9,02
	20	6,53	10,12
	25	7,09	10,31
	50	8,16	10,92
	Всього ,кг	27,65	31,37
5	10	9,26	8,66
	20	9,78	8,91
	25	10,22	9,07
	50	10,11	10,0
	Всього, кг	39,37	36,64

***Розрахункові контрольні показники***

Серійний агрегат  $\alpha = 0$ ; робоча швидкість 2,0 м/с

Коефіцієнт структурності  $K_{СТ}$  0,16

Коефіцієнт різноподрібнення  $K_p = 0,44$

Серійний агрегат  $\alpha = 5^0$  робоча швидкість 4,0 м/с

Коефіцієнт структурності  $K_{СТ} = 0,19$

Коефіцієнт різноподрібнення  $K_p = 0,4$

Дослідний агрегат  $\alpha = 0$  ; робоча швидкість 4,0 м/с

Коефіцієнт структурності  $K_{СТ} = 0,26$

Коефіцієнт різноподрібнення  $K_p = 0,39$

Дослідний агрегат  $\alpha = 5^0$  робоча швидкість 4,0 м/с

Коефіцієнт структурності  $K_{СТ} = 0,38$

Коефіцієнт різноподрібнення  $K_p = 0,44$

Значення  $D_{10}$  і  $D_{60}$  – отримані шляхом аналізу огів розподілу, рис.3.1.

Аналіз отриманих розрахункових показників показує, що експериментальний агрегат формує поверхневий шар з більш якісним коефіцієнтом структурності при меншій розбіжності в приведених діаметрах утворюваних ґрунтових комків. Збільшення кута атаки до  $5^0$  підвищує якість кришення, але і збільшує нерівномірність розмірів утворюваних ґрунтових відмінностей.

***Допоміжні показники оцінки якості виконання технологічного процесу.***

Коефіцієнт гребнистості  $K_{П} = 0,17-0,19$ ;

Коефіцієнт якості заорювання рослинних решток  $K_3 = 0,81-0,84$ ;

Ступінь кришення поверхневої кірки визначалась в ході окремо проведеного експерименту  $S_{КР} = 0,89-0,93$ . Для візуальної оцінки якості роботи експериментального агрегату наводимо типовий вид поверхні обробленої плантації, рис.4.2.



Рис.4.2. –Типовий вигляд поверхні поля після проходу дослідного агрегату

Аналіз фотовідбитку показує, що розпушення ґрунту відбувається при частковому збереженні стерні.

#### **4.4. Комплексні польові дослідження тягового опору**

Ротаційні зубіві борони часто використовують у складі комбінованих агрегатів, де їх встановлюють під кутами до напрямку руху і вертикалі (рис.1.3). В такому конструктивному виконанні вони встановлені не на єдиному валу а на індивідуальних стояках. Тому нами проведені польові випробування, які б дозволили дослідити тяговий опір комплексно, в обох варіантах використання. Дослідження виконувались з використанням

експериментального тензOMETричного візка [7]. Який дозволяє встановити диск під різними кутами нахилу.

Для експерименту була окреслена група вихідних факторів і виконане їх кодування (табл.4.5)

Табл. 4.5 - Рівні варіювання факторів

Фактор	Код	Рівні факторів		
		-1	0	+1
Кут нахилу до напрямку руху, град	$X_1$	0	5	10
Кут нахилу до вертикалі	$X_2$	0	5	10
Робоча швидкість м/с	$X_3$	1,5	3,0	4,5

$$P, \text{кН} = 0,96 + 0,059 \cdot X_1 + 0,068 \cdot X_2 + 0,064 \cdot X_3 - 0,028 \cdot X_1^2 - 0,118 X_2^2 - 0,046 \cdot X_3^2 - 0,01 X_1 \cdot X_2 - 0,012 X_1 X_3 + 0,072 X_2 X_3$$

#### *Аналіз отриманого регресійної моделі*

Дослідимо поведінку отриманої залежності при відсутності впливу одного з факторів.

$$\underline{X_1 = 0.}$$

$$P = 0,96 + 0,068 X_2 + 0,064 X_3 - 0,118 X_2^2 - 0,046 X_3^2 + 0,072 X_2 X_3$$

$$P_{\text{MIN}} = 0,72, P_{\text{MAX}} = 1,02$$

$$\underline{X_2 = 0.}$$

$$P = 0,96 + 0,059 \cdot X_1 + 0,064 \cdot X_3 - 0,028 \cdot X_1^2 - 0,046 \cdot X_3^2 - 0,012 \cdot X_1 \cdot X_3$$



$$P_{\text{MIN}} = 0,71, P_{\text{MAX}} = 0,88$$

$$\underline{X_3 = 0}$$

$$P = 0,96 + 0,059X_1 + 0,068X_2 - 0,028X_1^2 - 0,118X_2^2 - 0,01X_1X_2$$

$$P_{\text{MIN}} = 0,73, P_{\text{MAX}} = 0,98;$$

Графічний аналіз рівняння регресії представлений на рис.4.3.

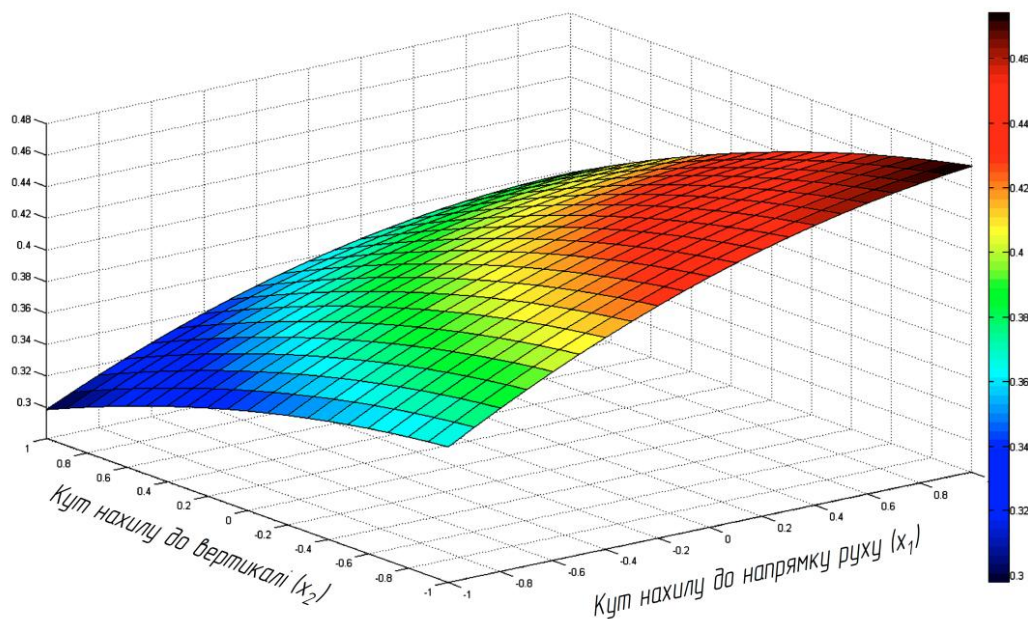


Рис.4.3 Графічна інтерпретація рівняння регресії при відсутності впливу фактора швидкості

Аналіз зовнішнього виду поверхні відгуку є характерним для поверхонь другого ступеня, тбто конструкція дуже чутлива до змін кутів постановки диска

#### 4.5. Прогнозована продуктивність агрегату та витрати палива

Годинна продуктивність визначається за формулою[7]:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau,$$

$$\tau = \frac{T_P}{T_{3M}}, \quad \tau = 6,43/7 = 0,92$$

$$W_{\text{Год}} = 0,1 \cdot 8,3 \cdot 9,14 \cdot 0,92 = 6,97 \text{ га/год,}$$

Продуктивність за зміну:

$$W_{3M} = 6,97 \cdot 7 = 48,8 \text{ га/зм}$$

Витрати палива:

$$q = \frac{Q_P \cdot T_P + Q_X \cdot T_X + Q_O \cdot T_O}{W_{\text{год}}}$$

де  $Q_P$ ,  $Q_X$ ,  $Q_O$  – відповідно, годинні витрати палива двигуна трактора при робочому завантаженні, на холостих поворотах і заїздах, а також при зупинках із працюючим двигуном;

$$Q_P - (32 \dots 51) \text{ кг/год; } Q_X - (16 \dots 27) \text{ кг/год; } Q_O - 3,5 \text{ кг/год}$$

$$\text{Тоді } q = \frac{29,5 \cdot 6,43 + 11 \cdot 0,12 + 3,5 \cdot 0,45}{6,97} = 36,2 \text{ кг/год}$$

### Висновки

1. В цілому в ході експериментальних досліджень підтверджена раціональність прийнятих конструктивних рішень
2. У порівнянні з серійним зразком суттєвої різниці в величині тягового опору не відмічено.
3. Якісні показники кришення, оцінені за коефіцієнтами структурності і різноподрібнення структурованих агрегатів в середньому на 7-10% кращі.

4. Слід відмітити, що по сліду експериментального зразка рівномірність кришення візуально краща, про що свідчить і коефіцієнт різноподрібнення.
5. Прийняті методики оцінки показників виконання технологічного процесу даним видом знаряддя, як дослідного, так і експериментального підтвердили свою ефективність.

## **5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1. Аналіз стану безпеки праці в умовах сучасних сільськогосподарських підприємствах**

Верховною Радою України прийнято закон який відбиває державну політику в області охорони праці і базується на наступних основних принципах:

- соціальний захист працівників, повна компенсація збитків особам, що потерпіли від нещасливих випадків на виробництві і професійних захворюваннях;
- установлення єдиних нормативів по охороні праці для усіх видів підприємств незалежно від форми власності і видів їхньої діяльності;
- використання економічних методів охорони праці;
- міжнародне співробітництво в галузі охорони праці, використання світового досвіду в організації роботи з поліпшення умов і безпеки праці.

Використання цих принципів на практиці вимагає знання багатьох галузей науки і техніки, однак, тільки такий усебічний підхід до питань охорони праці, може забезпечити необхідний захист здоров'я і життя працівників. Не менш важливою умовою даної роботи є облік необхідних вимог безпеки вже на етапі конструювання нової техніки, що дозволяє послабити чи навіть усунути небезпечні фактори машин на самому ранньому етапі.

## **5.2. Загальна характеристика операції і нормативні вимоги безпеки при її здійсненні**

Операція підготовки ґрунту ґрунтообробним агрегатом виконується для скорочення витрат праці по підготовки до сівби зернових і інших культур. Технологія процесу підрізування полягає в тому, що агрегат керований одним трактористом рухаючи по полю човниковим способом робить плоскорізну обробку ґрунту одночасно спускаючи верхній шар ґрунту, заробляючи рознімну борозну і при цьому зберігається ще й стерня.

У технологічну схему операції входять: безпосередній виконавець (тракторист); засоби технологічного оснащення (трактор, сільськогосподарська машина – ґрунтообробний агрегат) і предмет праці (ґрунт). Даний процес відповідає структурній моделі: "людина-організація-техніка-рослина-виробниче середовище" чи прибігаючи до умовних позначок "л-о-т-р-вс". Відповідно до неї складаються вимоги по безпеці праці відповідно до наявного на

дані елементи нормативними документами. Виробниче середовище в який виконується операція - кабіна трактора. Механізатор постійно знаходиться в ній залишаючи на незначні інтервали часу для добутку регулювань, контролю якості роботи, огляду агрегату і по особистих нестатках. У кабіні трактора він підданий постійному впливу таких факторів як: висока температура, вологість повітря і його склад, атмосферний тиск, шуми, вібрації, інтенсивність висвітлення. Поза кабіною він піддається небезпеки травмуватися від рухаючих частин агрегату.

Основні вимоги безпеки до елементів розглянутої системи і виробничому середовищу встановлюються на основі галузевих стандартів ОСТ46.4.2.143-83 ССБТ.

Основними вимогами до виконавця процесу є:

- тракторист повинен бути не молодше 16 років;
- мати права на водіння тракторів даного класу;
- повинен бути здоровий (пройти медичний огляд на предмет загальних і професійних захворювань (радикуліт, бронхіт та ін.);
- знати трактор і комбінований ґрунтообробний агрегат;
- повинен бути атестованим для робіт на машинах з підвищеною небезпекою відповідно до Типового Положення про навчання питанням охорони праці.

Технічний стан агрегату повинен відповідати вимогам: ГОСТ12.3.002-75 ССБТ (Загальні вимоги безпеки); Правилам пожежної безпеки в Україні; ГОСТ12.3.003-76 і ГОСТ12.3.020-80 (Загальні вимоги при виконанні

збиральних робіт); ГОСТ 12.2.049-80 (Ергономічні вимоги), ГОСТ12.2.019-86, а також вимогам, що містяться в заводському посібнику по експлуатації Т-150. Машини повинні бути: технічно справними, цілком укомплектовані необхідними пристосуваннями, інструментами й аптечкою.

При виконанні робіт і при переїздах агрегату з місця на місце ухил місцевості не повинен перевищувати 20° по розуміннях його стійкості.

Вимоги до загальних вимог безпеки визначені змістом галузевих стандартів, основний зміст яких виключити за допомогою визначеної організації праці травмонебезпечні ситуації і захворювання виконавця процесу.

Організація виробничого процесу буде залежати від конкретних умов господарства і рішень господаря про хід робіт. Оплата праці здійснюється відповідно до існуючого законодавством і положенням про оплату праці. Рівень організації охорони праці цілком залежить від дій голови сільськогосподарського фермерського господарства і відповідальності самих працівників що виконують точи інший технологічний процес.

### **5.3. Організація контролю**

Відповідно до закону України "Про охорону праці" відповідальними за безпечний стан робочих місць є безпосередні керівники робіт, що забезпечують відомчий контроль (голова фермерського господарства).

При господарських взаємодіях, ситуаціях купівлі-продажу, оренди, передачі об'єктів у розпорядження відповідальних особи, передача права володіння матеріальною відповідальністю однієї особи іншому спричиняє юридичну відповідальність за стан безпеки переданої технічної системи у виді об'єкта (машинній системи), процесу (технологічній системи).

Юридична особа несе відповідальність за раціональне використання виробничих ресурсів, основні з який - матеріальні, трудові, фінансові. Юридична особа може покладати спеціальні функції і на інші особи, забезпечивши їхню атестацію.

Мобільні робочі місця (у даному випадку агрегат з комбінованим ґрунтообробним агрегатом) складають основну частку в матеріальних ресурсах і, через їхню підвищену небезпеку, поряд з матеріальною вимагають додаткової відповідальності за їх технічний стан і безпечну експлуатацію.

Ці види відповідальності залежать від організаційної структури господарства, набору кваліфікаційних вимог до атестуємих фахівців. Тому в процесі господарської діяльності необхідний розподіл відповідальності між особами, що забезпечують керування виробничими процесами. Якщо матеріально відповідальна особа не може бути атестована, як відповідальне за безпечний стан підвідомчої техніки, це покладається на старшого фахівця, що має відповідне утворення і допуск. Якщо техніка передається на обслуговування як зовнішня послуга, то в умовах договору визначається відповідальна особа. (В умовах фермерського господарства, а особливо не великих господарств, як правило вся відповідальність полягає на голові.)

### **Висновок**

У даному розділі представлені вимоги безпеки при підготовці ґрунту модернізованим агрегатом. Приведено техніку контролю агрегату по показниках безпеки. Представлено перелік параметрів контролю робочого місця тракториста по показниках безпеки.

## **6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ**

Метою проведення техніко-економічної оцінки пропонованої конструкторської розробки є визначення вартості витрат на розробку нового ґрунтообробного агрегату, визначення витрат, зв'язаних з експлуатацією даного агрегату, розрахунок витрат праці, й очікуваного економічного ефекту.

Для визначення ефективності пропонованої конструкції умовно назвемо її БРН 3,5М – проектована модель, а в якості базової моделі візьмемо технологію підготовки ґрунту, що складається з машини БРН-3,5

Таблиця 6.1.

Вихідні дані до техніко-економічних розрахунків.

№	Показник	Розмірність	Технологічна машина	
			Серійна	Модернізована
1	Річний обсяг гоботи	га	300	300
2	Продуктивність	га/год	6,32	6,97
3	Витрати ПММ	кг/год	39,5	36,2
4	Вартість:	грн		
	- Трактора		320000	320000
	- Машини		66000	68000
	- Всього		386000	388000
5	Кількість обслуговуючого персонала		1	1

Кількість нормо-годин у обсязі робіт:

Базовий

Проект

$$K_{\text{НГ}} = \frac{W_{\text{СЕЗ}}}{W_{\text{ГОД}}} = \frac{300}{6,32} = 47,5 \text{ ГОД}$$

$$K_{\text{НГ}} = \frac{W_{\text{СЕЗ}}}{W_{\text{ГОД}}} = \frac{300}{6,97} = 43,04 \text{ ГОД}$$

Витрати праці:

Базовий

Проект

$$V_{\text{П}} = K_{\text{НГ}} \cdot n = 47,5 \cdot 1 = 47,5 \text{ год} \quad V_{\text{П}} = K_{\text{НГ}} \cdot n = 43,04 \cdot 1 = 43,04 \text{ год},$$

де  $n = 1$  - працівники

**Експлуатаційні витрати.**



$$\Pi = \frac{C_T}{W_{\text{год}}} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де  $C_T$  - тарифна ставка, 21,98 грн/год;

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату (20%);

$K_2 = 1,382$  – коефіцієнт, що враховує нарахування на соціальні міроприємства.

Базовий	Проект
$\Pi = \frac{21,98}{6,32} \cdot 1,2 \cdot 1,382 = 5,77 \text{ грн/га}$	$\Pi = \frac{21,98}{6,97} \cdot 1,2 \cdot 1,382 = 5,23 \text{ грн/га}$

### Амортизаційні відрахування.

Енергетичний засіб – 15%, агрегат – 15%.

Нормативне завантаження на рік:

- Енергозасіб - 1550год;
- агрегат - 580год

Базовий	Проект
Трактор: $A_{\text{ТР}} = \frac{320000 \cdot 15}{100 \cdot 1550 \cdot 6,32} = 4,9 \text{ грн/га}$	$A_{\text{ТР}} = \frac{320000 \cdot 15}{100 \cdot 1550 \cdot 6,97} = 4,4 \text{ грн/га}$
машина: $A_{\text{М}} = \frac{66000 \cdot 15}{100 \cdot 580 \cdot 6,32} = 2,7 \text{ грн/га}$	$A_{\text{М}} = \frac{68000 \cdot 15}{100 \cdot 580 \cdot 6,97} = 2,5 \text{ грн/га}$
Всього: $A_{\Sigma} = 4,9 + 2,7 = 7,6 \text{ грн/га}$	$A_{\Sigma} = 4,4 + 2,5 = 6,9 \text{ грн/га}$

### Витрати на ПММ.

Базовий

$$V_{\text{ПММ}} = C_{\text{ПММ}} \cdot V_{\text{ПММ}} = 21,5 \cdot 39,5 = 849,25 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_{\text{ПММ}} = 21,5 \cdot 36,2 = 778,3 \text{ грн/га}$$

### Витрати на ТО, ТР, зберігання.

- $\alpha_{\text{ТО}} = 11\%$  - норма відрахувань на ТО;
- $\alpha_3 = 0,2\%$  - норма відрахувань на зберігання;
- $\alpha_{\text{ТР}} = 8\%$  - норма відрахувань на ремонт.

$$V = \frac{V_B \cdot (\alpha_{\text{ТО}} + \alpha_3 + \alpha_{\text{ТР}})}{100 \cdot K_{\text{НГ}} \cdot W_{\text{ГОД}}} \cdot K, \quad (6.4)$$

де  $V_B$  – балансова вартість, грн;

$K$  – коефіцієнт переводу трактора у еталонний.

Базовий

$$\text{Трактор: } V_{\text{ТР}} = \frac{320000 \cdot (11 + 8 + 0,2)}{100 \cdot 47,5 \cdot 6,32} = 204,66 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_{\text{ТР}} = \frac{320000 \cdot (11 + 8 + 0,2)}{100 \cdot 43,04 \cdot 6,97} = 204,80 \text{ грн/га}$$

Базовий

$$\text{Машина: } V_M = \frac{66000 \cdot (8 + 0,2)}{100 \cdot 47,5 \cdot 6,32} = 18,02 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_M = \frac{68000 \cdot (8 + 0,2)}{100 \cdot 43,04 \cdot 6,97} = 18,58 \text{ грн/га}$$

Всього по агрегатам:

$$V = V_{\text{ТР}} + V_M = 204,66 + 18,02 = 222,68 \text{ грн/га}$$

$$V = 204,80 + 18,58 = 223,38 \text{ грн/га}$$

Всього експлуатаційних витрат на 1 га:

Базовий

$$E_B = 5,77 + 7,6 + 849,75 + 204,66 = 1067,28 \text{ грн/га}$$

Проект

$$E_B = 5,23 + 6,9 + 778,3 + 204,80 = 995,23 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на весь обсяг роботи:

Базовий

$$E_{\Sigma} = E_B \cdot W_{CEZ} = 1067,28 \cdot 300 = 141570 \text{ грн}$$

Проект

$$E_{\Sigma} = 995,23 \cdot 300 = 298569 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення на 1 га:

Базовий

$$\text{Трактор: } K_B = \frac{B_B}{W_{CEZ}} = \frac{320000}{300} = 1066,67 \text{ грн/га}$$

Проект

$$K_B = \frac{320000}{300} = 1066,67$$

грн/га

$$\text{Машина: } K_B = \frac{66000}{300} = 220 \text{ грн/га}$$

$$K_B = \frac{68000}{300} = 226,67 \text{ грн/га}$$

Всього:

$$K_B = 1066,67 + 220 = 1286,67 \text{ грн/га} \quad K_B = 1066,67 + 226,67 = 1293,34 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на 1 га:

$$P_B = E_B + 0,15 \cdot K_B$$

Базовий

$$P_B = 1067,28 + 0,15 \cdot 1286,67 = 1260,28 \text{ грн/га}$$

Проект

$$P_B = 995,23 + 0,15 \cdot 1293,34 = 1189,23 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на весь обсяг робіт:

Базовий

$$П_{\text{В}\Sigma} = П_{\text{В}} \cdot W_{\text{СЕЗ}} = 1260,28 \cdot 300 = 378084 \text{ грн}$$

Проект

$$П_{\text{В}\Sigma} = 1189,23 \cdot 300 = 356769 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект:

$$E_E = 378084 - 356769 = 21315 \text{ грн}$$

Результати розрахунків представленні в таб. 6.2.

Таблиця 6.2

### Економічна ефективність проекту

№	ПОКАЗНИКИ	Варіант	
		Базовий	Проект
1	Вид роботи	Обробіток ґрунту	
2	Об'єм роботи, га	300	300
3	Склад агрегата: Енергозасіб	МТЗ-892	МТЗ-892

	Агрегат	БРН-3,5	БРН-3,5М
4	Продуктивність, га/год	6,32	6,97
5	Кількість обслуговуючого персоналу -трактористів-машиністів -допоміжних працівників	1 - -	1 - -
6	Тарифний розряд роботи	V	V
7	Тарифна ставка, грн/год	21,98	21,98
8	Норма витрати пального, кг/год	39,5	36,2
9	Балансова вартість, грн: - трактора - машини	320000 66000	320000 68000
10	Комплексна ціна ПММ, грн/кг	21,5	21,5
11	Експлуатаційні витрати, грн/га у тому числі: Амортизаційні відрахування: -трактор -машини  .Витрати на ПММ	471,9  4,9 2,7  849,25	449,6  4,4 2,5  778,3
12	Капітальні вкладення, грн/га	1286,67	1293,34
13	Приведені затрати, грн/г	1260,28	1189,23
14	Річний економічний ефект, грн		21315

## Висновок

За результатами розрахунку економічний ефект складає 21315 грн за рахунок використання модернізованого агрегату.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Оглядом літературних джерел і аналізом досвіду відомих фермерських господарств підтверджено, що ротаційна дискова борона є ефективним знаряддям для поверхневого обробітку ґрунту, яку використовують, як в складі комбінованих агрегатів, так і як самостійний агрегат.

2. Для усереднених умов обробітку ґрунту діаметр описаного кола голок 450-510 мм, що уніфіковано з серійними дисковими боронами. Довжина зуба від обрізу диска 70 – 110мм, робоча швидкість агрегату до 16 км/год.

3. Оглядом окреслено ряд проблем, вирішення окремих з них пропонується в даній магістерській роботі. Це недостатня ступінь кришення поверхневої кірки і складність конструктивного виконання робочого органу.

4. Перспективним напрямком модернізації робочого органу на наш погляд є розділення оброблюваного шару на дві смуги, які розташовані безпосередньо на диску у шахматному порядку.

5. Проведені експериментальні дослідження показали перевагу в якості кришення дослідного зразка над серійним, так при куті атаки 0 градусів коефіцієнти структурності відповідно становлять 0,38 і 0,16 при практично рівних коефіцієнтах різноподрібнення 0.4 -0,44.

6. Аналітичні розрахунки, виконані на основі запропонованої аналітичної моделі показують хорошу, в межах 25%, збіжність результатів з результатами експериментальних досліджень.

7. Виконаний техніко-економічний аналіз показує хорошу працездатність модернізованої машини заощадження становлять 21315 грн.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- 1 Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посібник / М. С. Чернілевський, Ю. А. Білявський, Р. Б. Кропивницький, Л. І. Ворона. – вид. 2-ге, допов. – Житомир: Вид-во «Житомирський

- національний агроекологічний університет», 2012. – 84 с. Навчальний посібник розрахований на студентів
- 2 Апроксимация функции одной переменной : онлайн калькулятор/ электронный ресурс/ код доступа <https://planetcalc.ru/5992/>
  - 3 Бабицкий Л. Ф. Обоснование конструктивных параметров гибкой бороны / Л. Ф. Бабицкий, И. В. Соболевский, В. А. Куклин // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. - 2016.
  - 4 Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Обоснование оптимальной формы игл почвообрабатывающих игольчатых дисков. Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета
  - 5 Белокопытов А.В. Обоснование рациональных параметров рабочих элементов игольчатых рабочих органов для сплошной обработки почвы в условиях юга Украины. – Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Мелитополь, 1997. с.200.
  - 6 Ветохін В. І. Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту :автореф. дис... д-ра техн. наук / В. І. Ветохін; ННЦ ІМЕСГ. – Глеваха, 2010. - 40 с.
  - 7 Ґрунтообробні агрегати на основі дискових робочих органів: Монографія / [Г.В.Теслюк, Б.А.Волик, С.П.Сокол, О.М.Кобець, А.М.Сенменюта]. – Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2016. – 144
  - 8 Кем А.А., Чекусов М.С., Черемисин А.И. Ротационная борона для грядковых обработок посадок картофеля. / Сельскохозяйственные машины и технологии. - №5. -2015 – С.34-37.
  - 9 Кленин Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В. А. Сакун. – М.: Колос, 1980.- 671 с.
  - 10 Кобець А. С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А. С. Кобець, Б. А. Волик, А. М. Пугач. - Дніпропетровськ: Свідлер А.Л., 2011. - 140 с.
  - 11 Малінін М.Ю. Обґрунтування параметрів роботи ротаційної голчастої

- борони / М.Ю. Малінін – Дипломна робота ступеня магістр за спеціальністю №208 Агроінженерія. – ДДАЕУ, Дніпро,- 2018 – 69 с.
- 12 Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навчальний посібник / А. С. Кобець, Т. Д. Іщенко, Б. А. Волик, О. А. Демидов. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.
  - 13 Основи наукових досліджень в агрономії : Підручник / В.О.Єщенко, П.Г.Копитко, В.П.Опришко, П.В.Костогриз; за ред.. В.О.Єщенко. – К.: Дія. – 2005. – 288 с.
  - 14 Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А. Н. Панченко.- Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
  - 15 Практикум з використання машин в рослинництві / [Ільченко В.Ю., Кобець А С., Мельник В.П та ін]. – Дніпропетровськ : Дніпроп. держ агр. ун-т. – 2002 – 212с.
  - 16 Сиромятников Ю.М. Обгрунтування параметрів процесу комбінованого технічного засобу для поверхневого обробітку ґрунту. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.11 «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (133 - Галузеве машинобудування). – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка МОН України, Харків, 2019
  - 17 Українська радянська енциклопедія : у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан ; редкол.: О. К. Антонов та ін. — 2-ге вид. — К. : Головна редакція УРЕ, 1974–1985.
  - 18 Твердохлебов С.А. Взаимодействие иглы ротационного рабочего органа с почвой/ С.А.Твердохлебов. – Електронний ресурс. Код доступу [https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00788857\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00788857_0.html)
  - 19 Теслюк Г.В., Волик Б.А., Теслюк Ю.В.Конструкція ротаційної зубової борони на основі будови тіла біологічного аналогу/ East European



Science Journal/ (Warsav, Poland) 2019 : Volume 5 10(50) p.47-53

- 20 Яропуд В. М. Волик Б. А. Обґрунтування конструкції голчастого диска ротаційної борони аналізом будови тіла біологічного аналогу/ Вібрації в техніці та технологіях № 4 (95) 2019, С.56-64.
- 21 Шевчук В.В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи голчастої борони автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн.наук /В.В. Шевчук – Львів, 2015. – 24с.
- 22 Лисич М.Н., Шабанов М.Л., Захаров П.В. Обзор конструкций тензометрических установок для изучения силовых параметров рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 6-6;
- 23 Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учебник для строит. вузов / Н. А. Цытович. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1983. – 288 с.
- 24 Закон України «Про охорону праці» Документ 2694-ХІІ, чинний, поточна редакція. Редакція від 16.10.2020, підстава - 124-ІХ. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>
- 25 Про затвердження Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Документ 687-2004-п, чинний, поточна редакція — Редакція від 04.03.2016, підстава - 76-2016-п. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2004-п#Text>