

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Лахай Богдан Сергійович

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО ЗНАРЯДДЯ
З КОАКСІАЛЬНИМ РОЗМІЩЕННЯМ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ДЛЯ
ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Лахай Б.С.

Керівник роботи
Куликівський В.Л.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Лахай Богдан Сергійович. Обґрунтування параметрів ротаційного знаряддя з коаксіальним розміщенням робочих органів для передпосівного обробітку ґрунту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У магістерській роботі виявлено перспективний напрямок розробки ротаційних ґрунтообробних знарядь нового покоління, особливістю якого є коаксіальне розміщення на рамі спірально-гвинтового робочого органу гелікоїдального типу та еліпсоподібних голчастих дисків особливої конструкції.

В роботі розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень у польових умовах. Для реалізації програми проведення експериментальних досліджень розроблено та виготовлено дослідний зразок ротаційного ґрунтообробного агрегату.

Реалізація експерименту дала змогу отримати статистичну математичну модель математичну модель, яка описує вплив чинників на тяговий опір ротаційного ґрунтообробного знаряддя. Встановлено, що раціональними параметрами, які забезпечують мінімальний тяговий опір агрегату: частота обертання голчастих дисків 182 хв^{-1} , глибина обробітку ґрунту 0,06 м, швидкість руху агрегату 6,9 км/год. Експериментальні дослідження також засвідчили, що глибина обробітку ґрунту відрізняється від встановлених значень у припустимих межах, гребнистість обробленої поверхні $15,2 - 21,9 \text{ мм} < 30...40 \text{ мм}$, а ступінь подрібнення ґрунту $87...90,8 \% > 80 \%..$

Ключові слова: робочий орган, ґрунт, ротаційне знаряддя, передпосівний обробіток.

ANNOTATION

Lakhai Bohdan. Substantiation of parameters of a rotary tool with coaxial arrangement of working bodies for pre-sowing soil tillage. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2024.

The master's thesis reveals a promising direction for the development of new generation rotary tillage tools, the feature of which is the coaxial placement of a helicoidal spiral screw working body and ellipsoidal needle disks of a special design on the frame.

In this work, a program and methodology for conducting experimental studies in the field have been developed. To implement the program of experimental research, a prototype of a rotary tillage unit was developed and manufactured.

The implementation of the experiment made it possible to obtain a statistical mathematical model that describes the influence of factors on the traction resistance of a rotary tillage implement. It was found that the rational parameters that ensure the minimum traction resistance of the unit are: the rotation speed of the needle disks is 182 min^{-1} , the depth of tillage is 0.06 m, and the speed of the unit is 6.9 km/h. Experimental studies have also shown that the depth of tillage differs from the established values within acceptable limits, the ridging of the treated surface is $15.2\text{--}21.9 \text{ mm} < 30\text{--}40 \text{ mm}$, and the degree of soil crushing is $87\text{--}90.8 \% > 80 \%$.

Keywords: working body, soil, rotary tool, presowing tillage.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5	
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ РОТАЦІЙНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ТА ЗНАРЯДЬ ЗІ СПІРАЛЬНО-ГВИНТОВИМИ ТА ГОЛЧАСТИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ.....	8	
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ РОТАЦІЙНОГО ЗНАРЯДДЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	14
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	31	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32	

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Для передпосівного обробітку ґрунту широко застосовуються комбіновані ґрунтообробні машини та знаряддя з ротаційними робочими органами [1, 2, 3, 6, 7].

На сучасному етапі розвитку техніки чітко простежується перспективна тенденція розроблення комбінованих ротаційних машин і знарядь, які містять спірально-гвинтові та голчасті робочі органи [1, 3, 6].

Робочі органи розташовуються (встановлюються) на рамі, як правило, послідовно один за одним. Останніми роками з'явилися конструктивні розробки знарядь із коаксіальним (від англ. coaxial - співвісний) розташуванням робочих органів. Наявні конструкції машин і знарядь із послідовним розташуванням робочих органів мають великі габарити, складні, матеріаломісткі та енергомісткі. Машини та знаряддя з коаксіальним розташуванням робочих органів усувають ці недоліки. Вони компактні, більш маневрені, менш матеріаломісткі та енергомісткі, проте питання коаксіального компонування різних конструктивних варіантів робочих органів розглянуті недостатньо і потребують додаткових досліджень, а тому залишаються на сьогоднішній день актуальними.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в підвищенні якості та ефективності передпосівного обробітку ґрунту шляхом розроблення та обґрунтування параметрів ротаційного ґрунтообробного знаряддя з коаксіально розташованими на рамі спірально-гвинтовим і голчастими робочими органами. У зв'язку з цим було поставлено такі **завдання**:

1. Обґрунтувати конструктивні, кінематичні та технологічні параметри коаксіально розташованих на рамі спірально-гвинтового та голчастих робочих органів ротаційного ґрунтообробного знаряддя;
2. Розробити конструктивно-технологічну схему ротаційного ґрунтообробного знаряддя з коаксіальним розташуванням на рамі спірально-гвинтового та голчастих робочих органів;

3. Дослідити процес взаємодії спірального-гвинтового та голчастого робочих органів із ґрунтом і визначити тяговий опір ротаційного ґрунтообробного знаряддя в польових умовах;

4. Випробувати ротаційне ґрунтообробне знаряддя в польових умовах і визначити агротехнічні показники його роботи.

Об'єкт досліджень – технологічний процес передпосівного обробітку ґрунту ротаційним ґрунтообробним знаряддям із коаксіально розташованими робочими органами.

Предмет досліджень – закономірності впливу конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів ротаційного ґрунтообробного знаряддя на якість передпосівного обробітку ґрунту.

Методи наукового дослідження. У теоретичних дослідженнях використовували базові закони та методи землеробської механіки, основи математичного аналізу, аналітичної геометрії, теоретичної механіки та опору матеріалів. Експериментальні дослідження виконано на основі планування багатофакторного експерименту та регресійного аналізу дослідних даних із використанням комп'ютерних програм Statistica та Matlab.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., **Лахай Б.С.** Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми ротаційного знаряддя з коаксіальним розміщенням робочих органів. Сучасні вектори розвитку аграрної науки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ХДАЕУ, 17-18 вересня 2024 року). Херсон: ХДАЕУ, 2024. С. 375-378.

2. Куликівський В.Л., **Лахай Б.С.** Огляд конструкцій ротаційних ґрунтообробних машин та знарядь зі спіральними-гвинтовими та голчастими робочими органами. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 55-58.

3. Куликівський В.Л., Лахай Б.С. Результати польових випробувань дослідного зразка ротаційного знаряддя з коаксіальним розташуванням робочих органів. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції», (22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для аграрного виробництва представляє розроблене ротаційне ґрунтообробного знаряддя з коаксіально розташованими на рамі спірально-гвинтовим і голчастими робочими органами.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 33 сторінки комп'ютерного тексту, містить 20 рисунків та 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ РОТАЦІЙНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ТА ЗНАРЯДЬ ЗІ СПІРАЛЬНО-ГВИНТОВИМИ ТА ГОЛЧАСТИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Нижче розглядаються конструкції існуючих та застосовуваних у виробництві ротаційних ґрунтообробних знарядь з коаксіально розташованими робочими органами. При описі конструкцій таких ґрунтообробних знарядь автори не застосовують термін «коаксіальний» [5].

Однак при цьому підкреслюється, що ротаційні робочі органи вставлені один в одного співвісно, що по суті означає їхнє коаксіальне розташування на рамі. В інших галузях техніки цей термін застосовується дуже широко, наприклад, коаксіальні труби, коаксіальні пружини, коаксіальні димарі, коаксіальні кабелі, коаксіальні динаміки, коаксіальні сепаруючі пристрої, коаксіальні мультикоптери (літальні апарати) і т.д. [5].

Дослідники у різні роки розробили різні конструкції сільськогосподарських машин із нетрадиційними робочими органами (рис. 1.1).

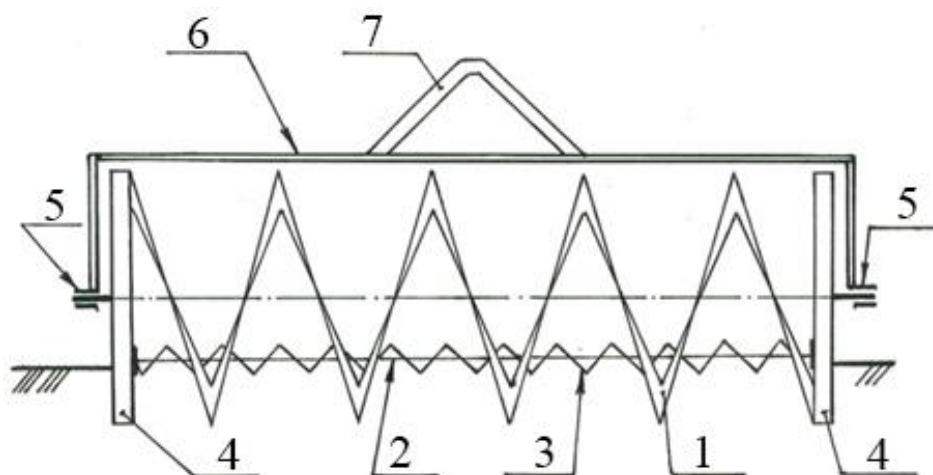


Рис. 1.1. Схема ґрунтообробного знаряддя: 1 – спірально-гвинтовий робочий орган; 2 – вал шнека; 3 – шнек; 4 – механізм приводу робочих органів; 5 – підшипники; 6 – рама; 7 – механізм навішування [5].

Знаряддя складається з безвального спірального-гвинтового робочого органу 1 і ексцентрично встановленого всередині вального спірального робочого органу (шнека) 3. Знаряддя включає також механізм приводу 4 робочих органів, підшипникові опори 5, раму 6 і механізм навішування 7. При поступальному русі знаряддя робочий орган 1 заглиблюється у ґрунт і кришить її. Поліпшення кришення ґрунту та врівноваження бічних зусиль сприяє шнек 3, який має навивку, протилежну навивці спірального-гвинтового робочого органу 1 [5].

Тут конструкція механізмів 4 приводу не розкрита. За повідомленням автора, привід робочих органів здійснюється за допомогою відомих у техніці різних механізмів та передач [5].

Однак, коли ротаційні робочі органи вставляються один в одного не концентрично, а з ексцентриситетом, дуже проблематично здійснити їхній привід від одного джерела. У свою чергу це не тільки надмірно ускладнює конструкцію приводу, а й різко знижує працездатність та надійність агрегату [5].

Аналогічна ротаційне знаряддя, яке одночасно виконує операції прикочування ґрунту та утворення протиерозійних лунок (рис. 2) [5].

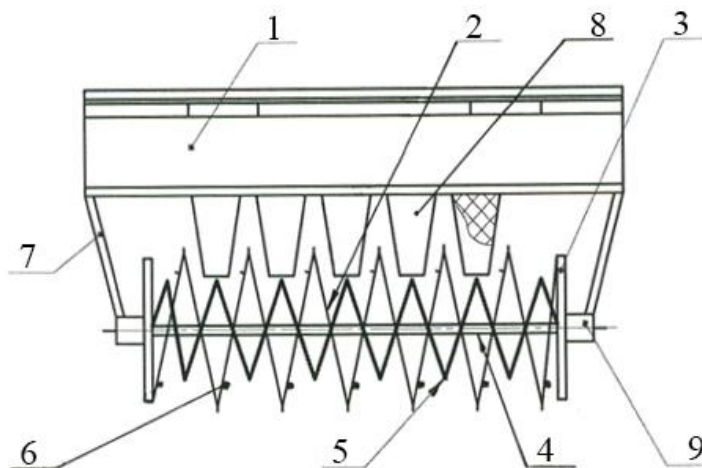


Рис. 1.2. Схема ротаційного знаряддя з коаксіально встановленими на рамі спіральними-гвинтовими робочими органами: 1 – ящик для баласту; 2 – зовнішня спіраль; 3 – плоскі диски; 4 – вісь; 5 – внутрішня спіраль; 6 – лопатки; 7 – рама; 8 – чистики; 9 – підшипникові опори [5].

Внутрішня спіраль 5 знаряддя жорстко закріплена на осі 4 по всій довжині, тобто виконана у вигляді шнека. Витки зовнішньої спіралі 2 встановлені вільно. Під час поступального руху агрегату знаряддя забезпечує утворення лунок, отже покращує протиерозійну стійкість ґрунту [5].

Однак вільне закріплення зовнішньої спіралі порушує динамічну стійкість роботи, що може призвести до поломок елементів конструкції [5].

Співробітниками Поліського національного університету було розроблено ґрунтообробне знаряддя з прутковими барабанами 1 і 3 (рис. 1.3) [5].

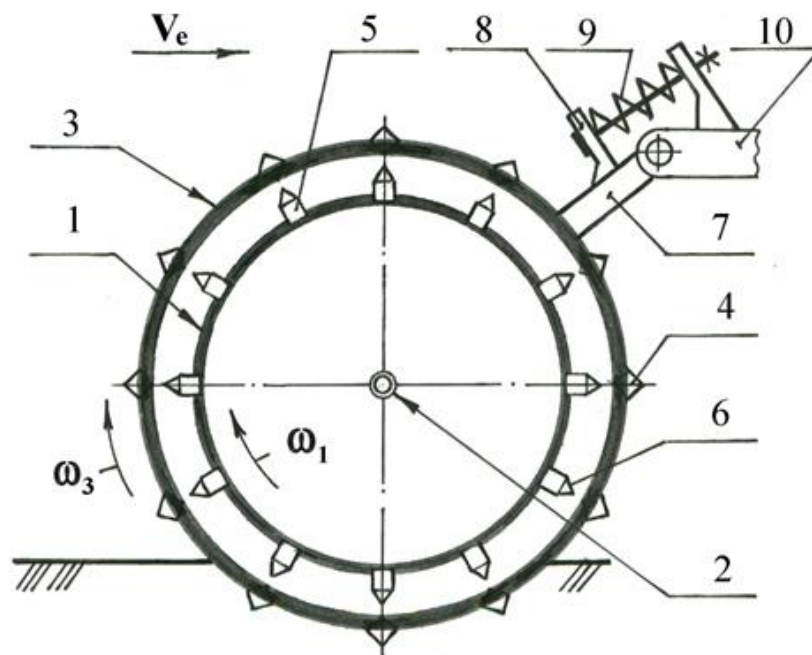


Рис. 1.3. Ґрунтообробне знаряддя з коаксіально встановленими на рамі прутковими барабанами: 1, 3 – внутрішній і зовнішній барабани; 2 – вісь; 4, 5 – прутки; 6 – голки; 7 – рама знаряддя; 8 – механізм навішування; 9 – пружинний вузол; 10 – рама агрегату [5].

Прутки 4 зовнішнього барабана 3 в поперечному перерізі виконані у вигляді усіченого квадрата і встановлені до осі 2 під кутом $15^\circ - 30^\circ$. Прутки 4 зовнішнього барабана 3 розташовані тут не по гвинтовій лінії, а по твірних односмугового гіперболоїда. Загальновідомо, що відстань від осі обертання до точок утворень односмугового гіперболоїда є змінною величиною. З цієї

причини знаряддя нерівномірно обробляє ґрунт і погано вирівнює його поверхню [5].

У ПНУ групою вчених було розроблено ґрунтообробне знаряддя, яке пройшло випробування в польових умовах Житомирської області (рис. 1.4) [5].

Тут планчастий барабан 1 ексцентрично встановлений усередині планчастого барабана 5. Знаряддя причіпляється на раму 4 культиватора. Грудки руйнуються планками 6, а дрібніші ґрунтові грудки руйнуються між планками 6 і 7 зовнішнього та внутрішнього барабанів [5].

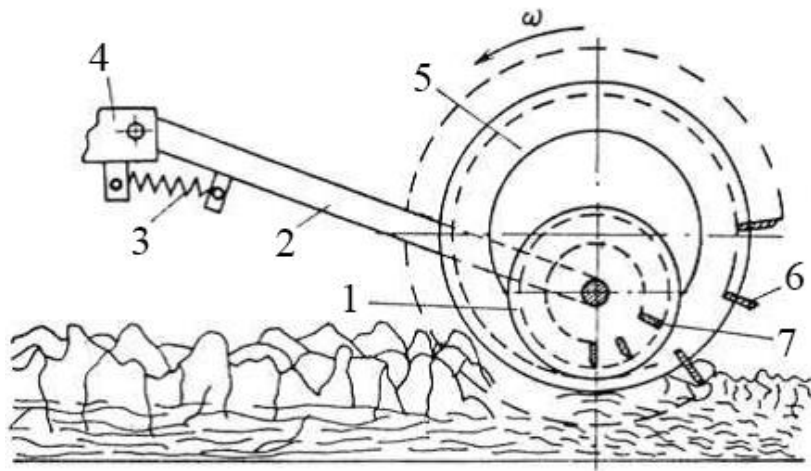


Рис. 1.4. Конструктивна схема ґрунтообробного знаряддя: 1, 5 – внутрішній і зовнішній барабани; 2 – шарнірний поводок; 3 – пружинний довантажувач; 4 – рама культиватора; 6, 7 – радіальні планки барабанів [5].

Однак знаряддя має низьку надійність, оскільки внаслідок частих зіткнень барабанів відбувається зношування та деформація планок [5].

У Поліському національному університеті було розроблено ґрунтообробне знаряддя з голчастими та спірально-гвинтовими робочими органами (рис. 1.5).

Знаряддя складається з послідовно розташованих на рамі двох паралельних валів зі спірально-гвинтовими робочими органами 2 і 3, вали яких кінематично з'єднані між собою за допомогою ланцюгової передачі 4 [5].

Знаряддя також містить вал 7 з голчастими дисками 1 і ланцюгову передачу 5. Зауважимо, що тут діаметри та кути нахилу спірально-гвинтових робочих

органів різні, а витки спіралі 3 конструктивно заходять у міжвитковий простір спіралі 2 [5].

Очевидно, що за такого конструктивного компоновання спіралі 2 і 3 зачіпають одна одну, що призводить до порушення технологічного процесу [5].

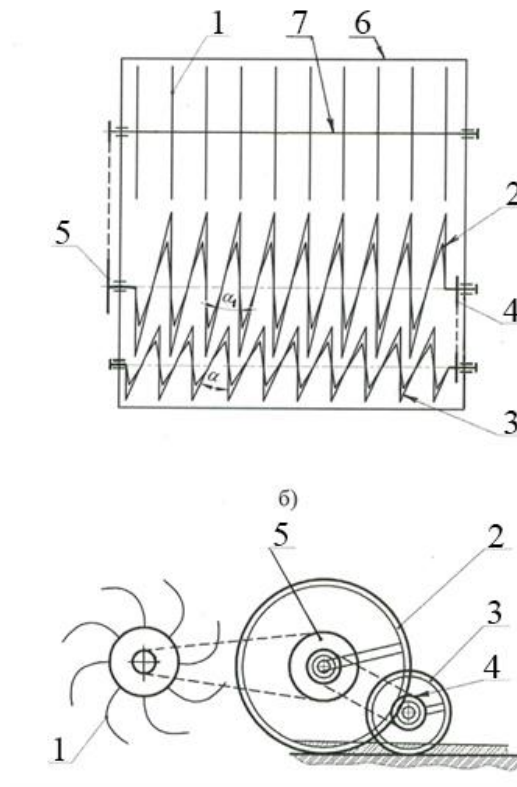


Рис. 1.5. Схема ротаційного ґрунтообробного знаряддя (а – вигляд зверху; б – у робочому положенні): 1 – диски голчасті; 2, 3 – спіральньо-гвинтові робочі органи; 4 – синхронізувальна ланцюгова передача; 5 – ланцюгова передача приводу; 6 – рама знаряддя; 7 – вал [5].

Насамкінець для повноти аналізу зазначимо, що в нашій країні в різні роки було розроблено серію ґрунтообробних знарядь, які містять спіральньо-гвинтові робочі органи. Однак за інших рівних умов тяговий опір знаряддя вищий, оскільки витки спіральньо-гвинтових робочих органів через специфіку навивок спіралей входять у ґрунт не з ковзанням, а вдавненням [5].

Висновки по розділу

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити такі висновки:

1. Машини та знаряддя для передпосівного обробітку ґрунту широко застосовуються під час обробітку багатьох сільськогосподарських культур, оскільки забезпечують підвищення продуктивності праці, економію матеріальних та енергетичних ресурсів;

2. За останні десятиліття в нашій країні ведуться активні дослідження з розроблення ротаційних ґрунтообробних машин і знарядь, до складу яких входять спіральні-гвинтові та (або) голчасті робочі органи;

3. У конструктивному плані робочі органи ротаційних машин і знарядь розташовуються (встановлюються) на рамі послідовно один за одним і коаксіально.

4 Аналіз засвідчив, що наявні конструкції машин і знарядь із послідовним встановленням робочих органів мають великі габарити, складні, матеріаломісткі та енергомісткі;

5. Розроблені ж ґрунтообробні машини та знаряддя з коаксіально розташованими робочими органами мають низку недоліків:

- неможливість роботи двох ротаційних робочих органів від одного джерела приводу;
- вільне закріплення на валу батареї робочих конструктивних елементів порушує динамічну стійкість роботи;
- періодичне зіткнення ротаційних робочих органів знижує експлуатаційну надійність і порушує технологічний процес обробітку ґрунту;
- виконання конструкцій робочих органів без урахування виконання умов ковзного різання ґрунтового-рослинної маси призводить до збільшення тягового опору знаряддя.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ РОТАЦІЙНОГО ЗНАРЯДДЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми ротаційного знаряддя з коаксіальним розміщенням робочих органів.

Групою вчених кафедри агроінженерії та технічного сервісу Поліського національного університету розроблено серію ротаційних ґрунтообробних знарядь, які містять спірально-гвинтові робочі органи. Вони розв'язують завдання енерго- та ресурсозбереження [4].

Розвиваючи цей напрямок і з метою забезпечення повнішого виконання агротехнічних вимог, що висуваються до передпосівного обробітку ґрунту, а також усунення окремих недоліків, а саме для підвищення динамічної стійкості та забезпечення ковзного різання ґрунтово-рослинної маси, було розроблено ротаційне ґрунтообробне знаряддя (рис. 2.1), що містить коаксіально розміщені на рамі спірально-гвинтовий та голчасті робочі органи [4].

Спірально-гвинтовий робочий орган знаряддя безвальний і виконаний у вигляді стрічкової спіралі. Кожен виток спіральної стрічки являє собою похилий (косий) гелікоїд [4].

Коаксіально встановлені голчасті робочі органи знаряддя виконані еліпсоподібними. Тому кінцеві точки голок здійснюють під час роботи складне переміщення в просторі [4].

Залежно від застосовуваної технології пропонуване ґрунтообробне знаряддя, як правило, виготовляють у вигляді модуля, який включають до складу різних агрегатів, наприклад, культиваторних або ґрунтообробно-посівних [4].

Ґрунтообробне знаряддя, виконане у вигляді модуля (рис. 2.1), складається з рами 1 і механізму навішування 2. На рамі 1 на підшипникових опорах 3 встановлено горизонтальний вал 4. На валу 4 на підшипникових опорах 5

установлено круглі бічні диски 6, на яких жорстко закріплено стрічкову спіраль 7 прямокутного поперечного перерізу з лівою і правою навивкою симетрично відносно з'єднувального кільця 8 [4].

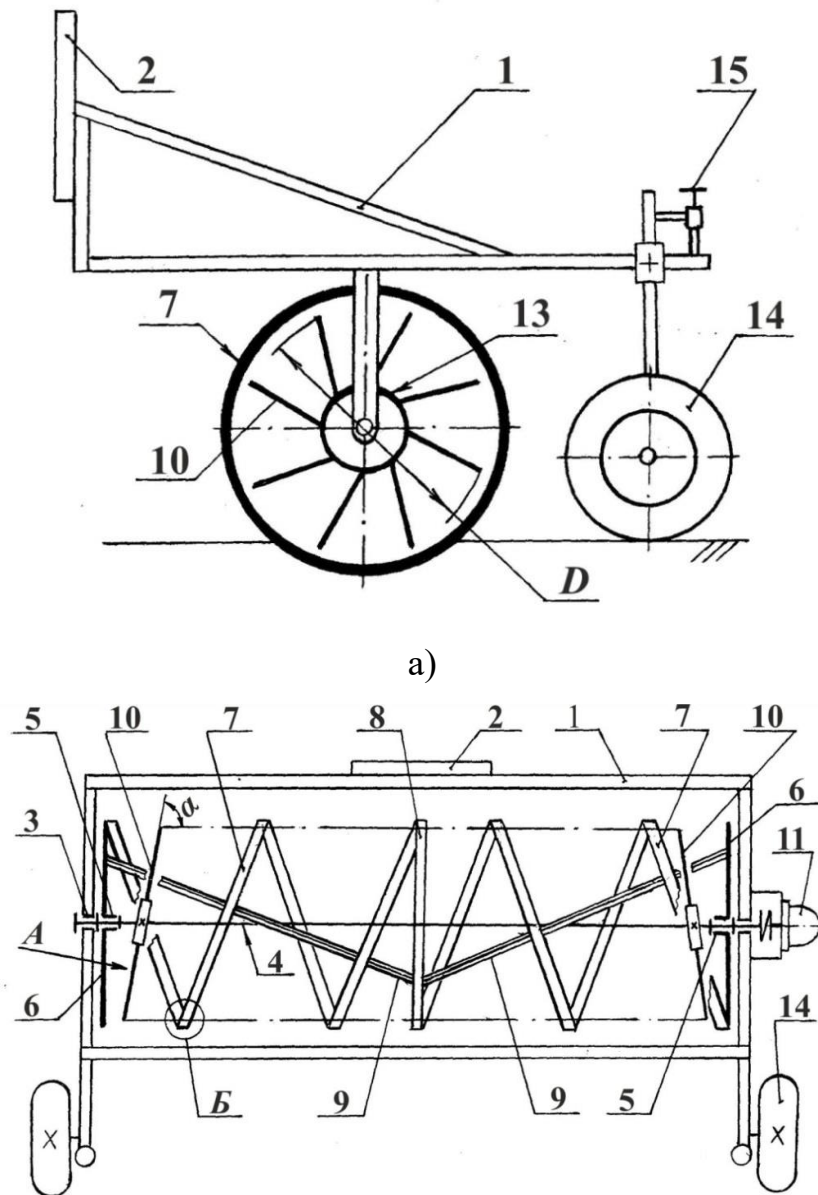


Рис. 2.1. Конструктивно-технологічна схема ротаційного знаряддя (а - робоче положення; б - вигляд зверху): 1 – рама; 2 – механізм навішування; 3 і 5 – підшипникові опори; 4 – вал; 6 – круглі бічні диски; 7 – стрічкові спіралі; 8 – з'єднувальне кільце; 9 – гвинтові квадратні прутки; 10 – еліпсоподібні голчасті диски; 11 – гідромотор; 12 – голка диска; 13 – маточина диска; 14 – опорні колеса; 15 – гвинтовий механізм регулювання глибини обробки [4].

Витки спіралі 7 закріплені між собою, бічними дисками 6 і з'єднувальним кільцем 8 за допомогою гвинтових квадратних прутків 9. Твірна стрічкової спіралі 7 нахилена до поверхні ґрунту під кутом. На валу 4 всередині спірального-гвинтового робочого органу 7 коаксіально закріплені еліпсоподібні голчасті диски 10, які об'єднані в секцію. Вони приводяться в обертальний рух за допомогою гідромотора 11, забезпеченого дроселем-витратоміром. Для самоочищення від рослинних решток голки 12 встановлені на маточині 13 з нахилом назад, тобто тут напрямок кута нахилу голок протилежний напрямку обертання дисків. Ротаційне знаряддя містить також опорні колеса 14 із гвинтовими механізмами 15 для регулювання глибини обробітку ґрунту [4].

Під час роботи стрічкові спіралі 7 занурюються в ґрунт. При цьому ріжучі кромки спіральної стрічки активно розпушують, кришать ґрунт і руйнують грудки, а робочі їхні поверхні ущільнюють прошарок ґрунту – насіннєве ложе. Водночас гвинтові квадратні прутки 9, встановлені своїми ребрами до поверхні ґрунту, додатково руйнують грудки, тим самим збільшують подрібнення ґрунту і частково вирівнюють поверхню поля. Одночасно гідромотор 11 приводить в обертання еліпсоподібні голчасті диски 10 [4].

Через конструктивну особливість еліпсоподібні диски 10 здійснюють складний коливальний рух. Завдяки розтягувальному ефекту голок, бур'яни вичісуються на поверхню, ґрунт інтенсивно мульчується [4].

Таким чином, запропоноване ротаційне ґрунтообробне знаряддя за один прохід виконує низку операцій: розпушує, кришить ґрунт, руйнує грудки, ущільнює насіннєве ложе, а також мульчує і вирівнює оброблену поверхню.

Ущільнене насіннєве ложе забезпечує кращий контакт насіння з вологим ґрунтом, отже, прискорений стартовий ріст рослин. Створений на поверхні мульчований шар запобігає випаровуванню вологи та сприяє швидкому проростанню насіння [4].

2.2 Розробка та виготовлення дослідного зразка

Інженерні та теоретичні дослідження дали змогу виготовити дослідний зразок знаряддя в умовах кафедри Поліського національного університету.

Дослідний зразок (рис. 2.2) містить раму 1 і систему навішування 2. До несучої балки 3 закріплена ґрунтообробна секція, що складається зі стійок 5, підшипникових опор 6 і горизонтального вала 7.

На валу 7 на підшипникових опорах 8 встановлено спірально-гвинтовий робочий орган 9, витки якого з'єднані між собою гвинтовими прутками 10 квадратного перерізу. На валу 7 коаксіально закріплені також еліпсоподібні голчасті диски 11, привід яких здійснюється за допомогою гідромотора 12, жорстко закріпленого на стійці 13. Опорні колеса 14 дослідного зразка знаряддя шарнірно встановлені на повідках 15, приварених до труби 16. Труба 16 встановлена в підшипникові опори 17, а до неї зі свого боку приварений важіль 18, який взаємодіє з тягою 19.

Необхідна глибина обробітку ґрунту досягається шляхом зміни довжини тяги 19. Система навішування трактора з'єднана з системою навішування 2 знаряддя через тензометричну навіску 20.

2.3 Розробка методики експериментального дослідження

Для вимірювання тягового опору навісних сільськогосподарських машин і знарядь не налагоджено серійне виробництво спеціального обладнання, яке дало б змогу з використанням сучасних інформаційних систем виконати відповідні вимірювання. У зв'язку з цим, для динамометрування навісних ґрунтообробних знарядь окремі дослідники застосовують різні пристрої, які містять тензометричні датчики.

Згідно з дослідженнями проф. Борака К.В. тяговий опір навісних ґрунтообробних машин і знарядь доцільніше визначити за допомогою

тензометричного навішування. Принцип роботи тензодатчика К-Р-16А заснований на перетворенні механічної сили розтягування або стиснення в електричний сигнал, технічна характеристика його дає змогу проводити відповідні вимірювання.



Рис. 2.2. Дослідний зразок знаряддя: 1 – рама; 2 – система навішування; 3 – несуча балка; 4 – хомути; 5 – стійки; 6, 8, 17 – підшипникові опори; 7 – горизонтальний вал; 9 – спіральньо-гвинтовий робочий орган; 10 – гвинтові квадратні прутки; 11 – еліпсоподібні голчасті диски; 12 – гідромотор; 13 – стійка гідромотора; 14 – опорні колеса; 15 – повідці; 16 – труба; 18 – важіль; 19 – регульовальна тяга; 20 – тензометрична навіска.

Тензометрична навіска, виготовлена в Поліському національному університеті, містить дві трикутні конструкції 1 і 2, які шарнірно з'єднані між собою через тензометричний S-подібний датчик 4 (рис. 2.3). Відтак перетворений електричний сигнал надходить на вимірювальну систему ІП-264 і далі - до персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням.

Тяговий опір дослідного зразка визначали згідно з вимогами ДСТУ з використанням описаної вище тензометричної навіски методом планування багатofакторного експерименту.

Частоту обертання голчастих дисків призначали згідно з відомою формулою з урахуванням показника кінематичного режиму роботи $\lambda = 2$.

Отже, рівень варіювання частоти обертання дисків – 182 хв^{-1} ; 234 хв^{-1} ; 286 хв^{-1} .



Рис. 2.3. Тензометричне навішування: 1, 2 – трикутні конструкції; 3 – шарніри; 4 – S-подібний датчик; 5 – упорні болти; 6 – кронштейни; 7 – електричний кабель.

Частоту обертання голчастих еліпсоподібних дисків контролювали (встановлювали) за допомогою лазерного безконтактного тахометра (рисунок 2.4). Для цього на вал гідромотора попередньо приклеювали фольгову відбивну мітку (рис. 2.5).



Рис. 2.4. Лазерний безконтактний тахометр.



Рис. 2.5. Фольгова світловідбивна мітка.

2.4. Прилади для визначення агротехнічних показників

До агротехнічних показників роботи дослідного зразка в польових умовах належать глибина обробітку ґрунту, гребнистість поверхні та ступінь подрібнення ґрунту.

Глибина обробітку ґрунту визначається за допомогою металевої лінійки від поверхні поля до дна утвореної борозни.

Рівномірність обробітку ґрунту визначається величиною відхилення середньої глибини від заданої.

Гребнистість поверхні ґрунту вимірюється за допомогою переносного приладу ІП 250 (рис. 2.6).

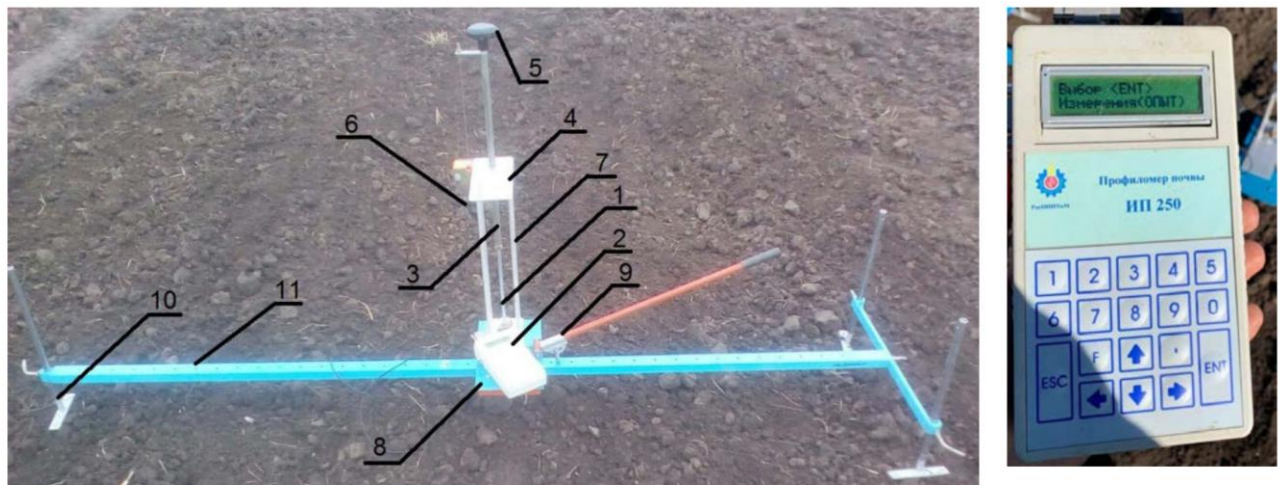


Рис. 2.6. Прилад для визначення гребнистості поверхні ґрунту: 1 – вимірювальний перетворювач; 2 – контролер; 3 – шток; 4 – вимірювальний блок; 5 – ручка штока; 6 – з'єднувальний кабель; 7 – стійки; 8 – складна каретка; 9 – фіксатор; 10 – опори; 11 – напрямна

Гребнистість поверхні визначають, виходячи з різниці висот між дном западини і вершинами сусідніх із нею гребенів із кроком 50 мм по всій ширині захоплення дослідного зразка. Для цього каретку 8 встановлюють на направляючу 11, а шток 3 вимірювача висоти - у верхнє положення. Далі рейка опускається до поверхні ґрунту. На дисплеї контролера 2 при цьому висвічується значення гребнистості в міліметрах.

Ступінь подрібнення ґрунту визначається за допомогою металевого контейнера 1 без нижньої частини (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Контейнер із лабораторними ситами: 1 – контейнер; 2, 3, 4 – сита лабораторні

Металевий контейнер опускається до глибини обробітку. Захоплений контейнером об'єм ґрунту витягується і зважується. За допомогою лабораторних сит 2, 3 і 4 порція ґрунту розділяється на фракції: до 10 мм, 10 – 20 мм і 20 – 50 мм і зважується. Відсоткове співвідношення розділених фракцій від загальної маси дає ступінь кришіння ґрунту.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати експериментального визначення тягового опору дослідного зразка

Експерименти проводилися на полях ТОВ «Полісся». Тип ґрунту – середньосуглинковий, середня вологість ґрунту дорівнює 18,2 %, середня густина ґрунту – $1,13 \text{ г/см}^3$, середня твердість ґрунту – 1,35 МПа (рис. 3.1).

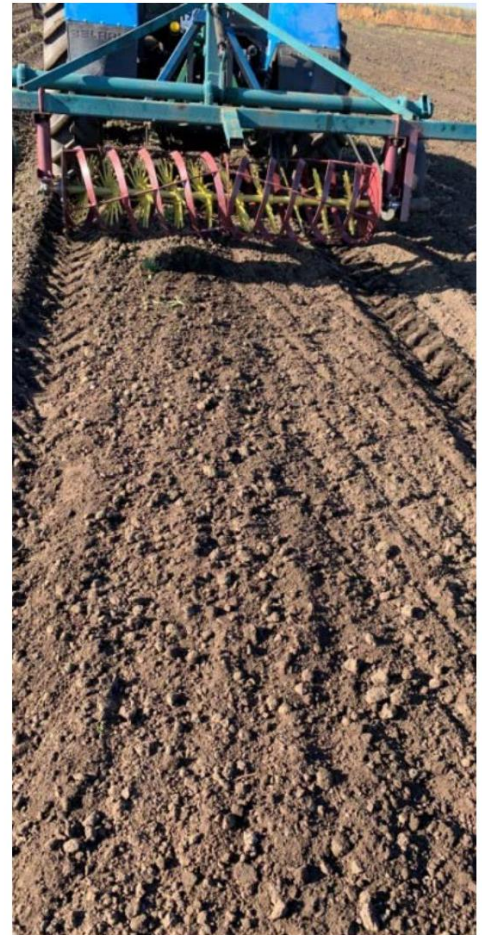


Рис. 3.1. Фрагменти випробування дослідного зразка в польових умовах

Під час експериментів тензодатчик (рис. 3.2) тензометричного навішування реєструє силу, з якою ґрунт чинить опір переміщенню дослідного зразка, та надсилає електричний сигнал до приладу ІП-264 (рис. 3.3). На моніторі

персонального комп'ютера тяговий опір висвічується у вигляді окремих силограм.



Рис. 3.2. Тензодатчик К-Р-16А.



Рис. 3.3. Вимірювально-інформаційна система з комп'ютером.

За результатами досліджень отримали результати, аналіз яких представлено на рис. 3.4-3.6 з яких видно, що побудовані поверхні носять лінійний характер.

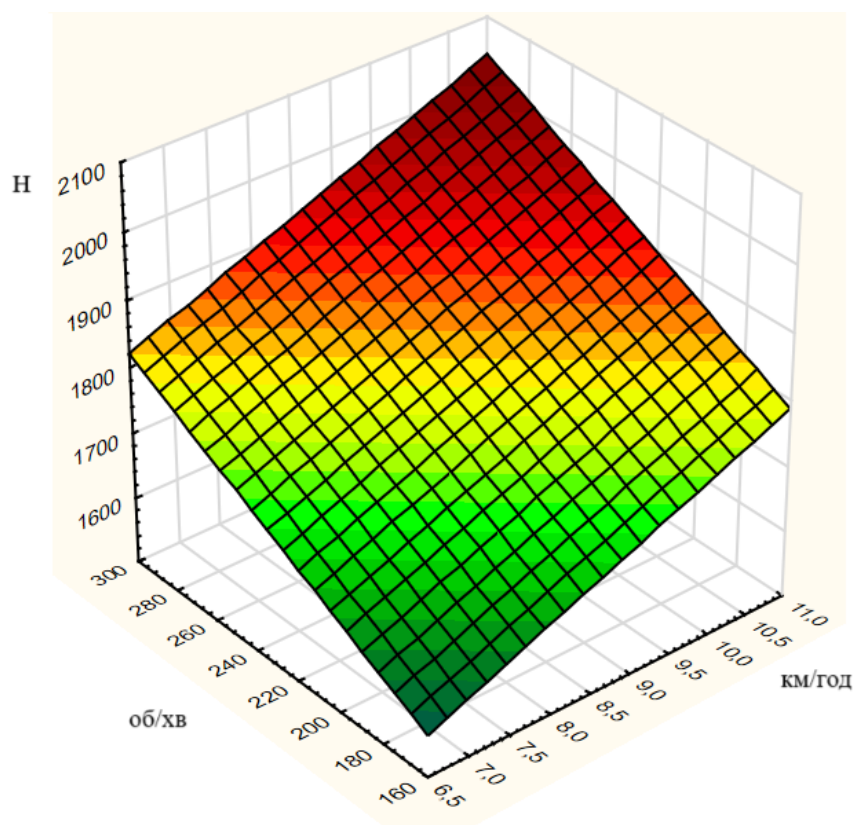


Рис. 3.4. Поверхня відгуку залежності тягового опору.

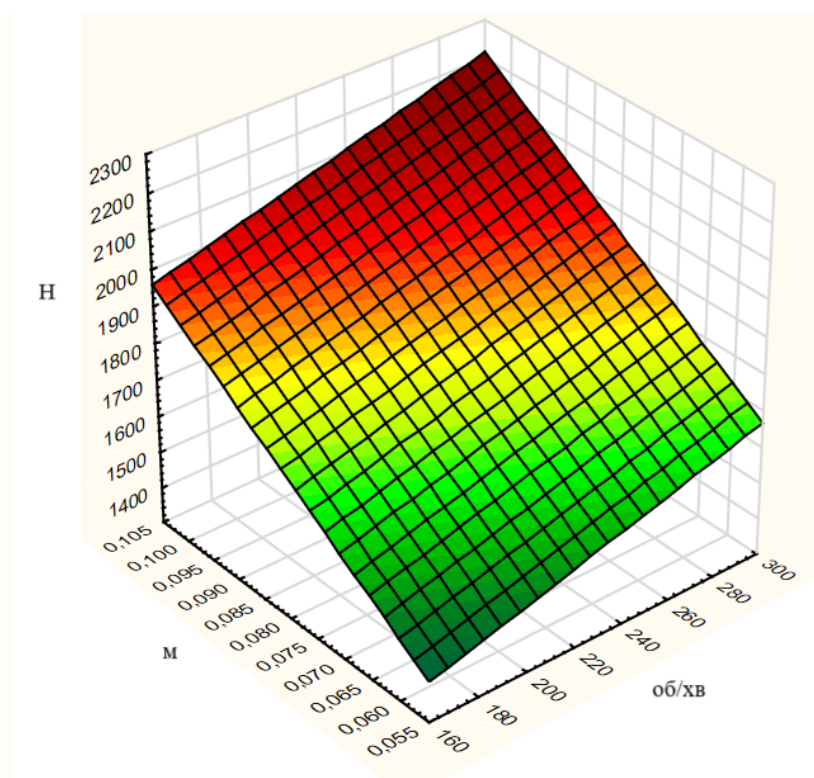


Рис. 3.5. Поверхня відгуку залежності тягового опору.

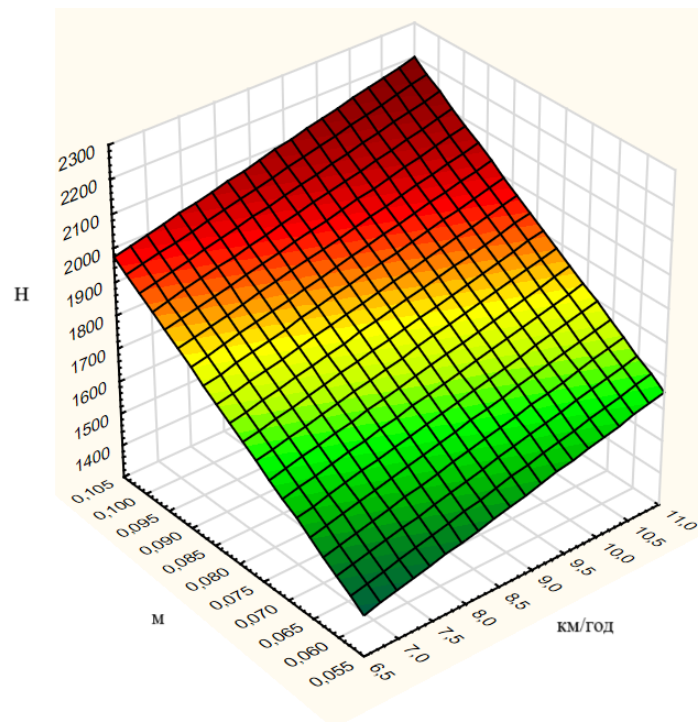


Рис. 3.6. Поверхня відгуку залежності тягового опору.

Видно, що зі збільшенням глибини обробітку ґрунту, швидкості агрегату та частоти обертання голчастих дисків тяговий опір дослідного зразка збільшується.

З урахуванням постановки задачі отримано такі раціональні параметри технологічного процесу: глибина обробітку ґрунту $a = 0,06$ м, швидкість руху агрегату $V_e = 6,9$ км/год, частота обертання еліпсоподібних голчастих дисків $n_{ir} = 182 \text{ хв}^{-1}$.

3.2. Результати польових випробувань дослідного зразка ротаційного знаряддя з коаксіальним розташуванням робочих органів

Дослідний зразок (рис. 2.2) містить раму 1 і систему навішування 2. До несучої балки 3 закріплена ґрунтообробна секція, що складається зі стійок 5, підшипникових опор 6 і горизонтального вала 7 [17].

На валу 7 на підшипникових опорах 8 встановлено спірально-гвинтовий робочий орган 9, витки якого з'єднані між собою гвинтовими прутками 10 квадратного перерізу. На валу 7 коаксіально закріплені також еліпсоподібні голчасті диски 11, привід яких здійснюється за допомогою гідромотора 12,

жорстко закріпленого на стійці 13. Опорні колеса 14 дослідного зразка знаряддя шарнірно встановлені на повідках 15, приварених до труби 16. Труба 16 встановлена в підшипникові опори 17, а до неї зі свого боку приварений важіль 18, який взаємодіє з тягою 19 [17].

Необхідна глибина обробітку ґрунту досягається шляхом зміни довжини тяги 19. Система навішування трактора з'єднана з системою навішування 2 знаряддя через тензометричну навіску 20 [17].

Фактичну глибину обробітку ґрунту визначали за допомогою металевої лінійки. Результати експериментів представлені в табл. 1 [17].

Таблиця 3.1. – Результати експериментів із визначення глибини обробітку

Встановлена глибина обробітку ґрунту, м	Швидкість руху агрегату, км/год	Частота обертання голчастих дисків, хв^{-1}	Номер досліду / фактична глибина обробітку ґрунту, м					Фактична середня глибина обробітку, м
			1	2	3	4	5	
0,065	8,8	280	0,07	0,068	0,071	0,067	0,068	0,069
0,085	10,7	180	0,091	0,09	0,085	0,088	0,088	0,088
0,15	6,8	230	0,109	0,12	0,108	0,106	0,12	0,109

Результати експериментів показують, що фактичні середні значення глибини обробітку ґрунту лежать у межах допустимих відхилень ($\pm 10\text{мм}$), які передбачені агротехнічними вимогами на передпосівний обробіток ґрунту.

Під час оцінювання гребнистості поверхні та ступеня кришіння ґрунту дослідний зразок працював за раціонального значення кінематичного режиму, тобто $\lambda = 2$, що було обґрунтоване аналітичним шляхом виходячи з допустимих значень висоти утворених гребінців підшви, регламентованих агротехнічними вимогами [17].

Результати експериментів із визначення гребнистості представлені в табл. 2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментів із визначення гребнистості поверхні поля [17].

Номер досліду	Глибина обробітку ґрунту, м	Швидкість руху агрегату, км/год	Частота обертання голчастих дисків, хв^{-1}	Гребнистість поверхні, мм
1	0,07	8,8	230	18,8
2	0,07	6,8	180	21,9
3	0,07	10,7	280	16,3
4	0,09	8,8	230	17,8
5	0,09	6,8	180	19,9
6	0,09	10,7	280	15,7
7	0,11	8,8	230	16,4
8	0,11	6,8	180	18,6
9	0,11	10,7	280	15,3

Із табл. 2 та графіків (рис. 3.7) видно, що за різних значень режимних показників (швидкість руху агрегату, частота обертання дисків) та глибини обробітку ґрунту чисельні значення гребнистості Γ_p поверхні є різними і становлять 15,3 – 21,9 мм [17].

Зі збільшенням швидкості руху агрегату отже, частоти обертання еліпсоподібних голчастих дисків значення гребнистості поверхні зменшуються.

Досліди показали, що за підвищених режимних показників спіральний робочий орган та голчасті еліпсоподібні диски краще вирівнюють оброблену поверхню [17].

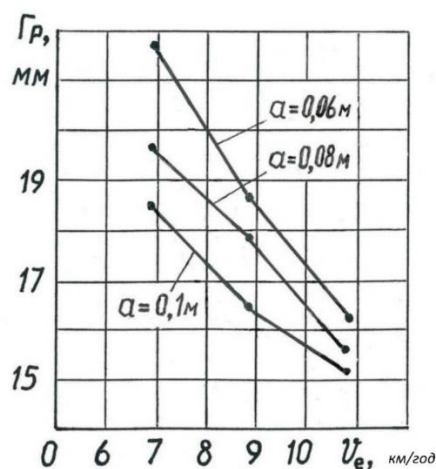


Рис. 3.7. Графіки залежності гребнистості поверхні ґрунту.

Експериментальні дані задовольняють агротехнічним вимогам, тому що висота гребнів загалом не перевищує 30...40 мм [17].

Результати експериментів із визначення ступеня подрібнення ґрунту подано в табл. 3 [17].

Таблиця 3.3 – Результати експериментів із визначення ступеня кришіння ґрунту [17].

Номер досліджу	Глибина обробітку ґрунту, м	Швидкість руху агрегату, км/год	Частота обертання голчастих дисків, хв ⁻¹	Ступінь кришіння ґрунту, %
1	0,07	8,8	230	88,7
2	0,07	6,8	180	87,1
3	0,07	10,7	280	89,9
4	0,09	8,8	230	89,8
5	0,09	6,8	180	87,9
6	0,09	10,7	280	91,5
7	0,11	8,8	230	91,2
8	0,11	6,8	180	90,5
9	0,11	10,7	280	91,9

Із табл. 3 і графіків (рис. 3.8) видно, що зі збільшенням швидкості руху агрегату, а відтак частоти обертання голчастих дисків ступінь кришіння K_p ґрунту збільшується [17].

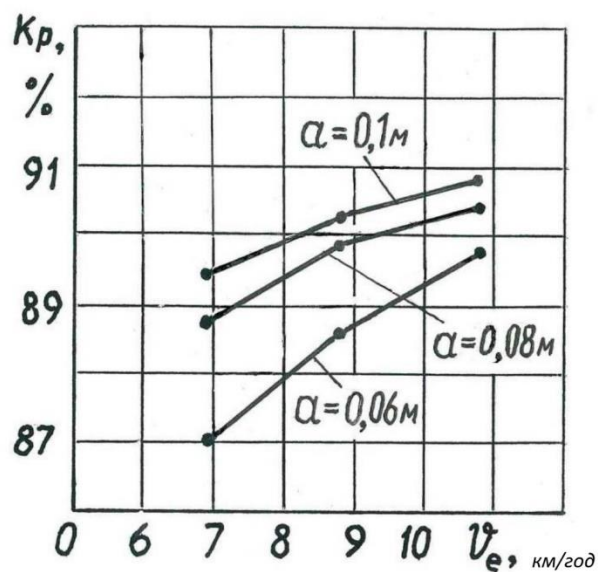


Рис. 3.8. Графіки подрібнення ґрунту.

Наприклад, коли глибина обробітку ґрунту дорівнює 0,08 м, швидкість руху агрегату – 6,8 км/год, частота обертання голчастих дисків – 180 хв^{-1} ступінь подрібнення ґрунту становить 87 %, а коли значення режимних показників дорівнюють відповідно 10,7 км/год і 280 хв^{-1} ступінь подрібнення ґрунту – 91,9 %. За підвищених режимів роботи знаряддя грудки ґрунту руйнуються ефективніше, оскільки при цьому голки еліпсоподібних дисків переміщуються в поздовжньо-поперечній площині інтенсивніше. Загалом, дані експериментів задовольняють агротехнічні вимоги, оскільки агрономічно цінні фракції ґрунту (до 50 мм) перевищують 80 % [17].

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити **такі висновки:**

1. Розроблено та виготовлено дослідний зразок знаряддя з раціональними параметрами: діаметр спіраль-гвинтового робочого органа – 0,47 м; кут нахилу – 0,47 м. витка гвинтової спіралі – $13,7^\circ$; кількість витків гвинтової спіралі – 5; кількість навивок спіралі – 2; кількість гвинтових квадратних прутків – 4; кут нахилу твірної поверхні гвинтової спіралі (твірної гелікоїда) до поверхні ґрунту – 30° ; діаметр еліпсоподібних голчастих дисків – 0,4 м; кількість еліпсоподібних голчастих дисків у секції – 10 шт. кількість голок на диску – 16 шт.; кут нахилу маточини голчастих дисків до осі обертання – 65° ; крок розстановки голчастих дисків – 0,18 м; ширина захвату – 1,8 м;

2. Реалізація плану багатофакторного експерименту дала змогу отримати статистично значущу математичну модель, що описує вплив чинників a , V_e , n_{it} на тяговий опір дослідного зразка знаряддя. Встановлено, що раціональними параметрами, які забезпечують мінімальний тяговий опір агрегату, є: глибина обробітку ґрунту $a = 0,06$ м, швидкість руху агрегату $V_e = 6,9$ км/год, частота обертання еліпсоподібних голчастих дисків $n_{it} = 182 \text{ хв}^{-1}$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Отримані в магістерській роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень, загальні рекомендації щодо передпосівного обробітку ґрунту можуть знайти застосування в проектно-конструкторських організаціях під час створення ротаційних ґрунтообробних знарядь нового покоління.

1. Виявлено перспективний напрям розробки ротаційних ґрунтообробних знарядь нового покоління, який полягає в коаксіальному розміщенні на рамі спірально-гвинтового робочого органа гелікоїдального типу та еліпсоподібних голчастих дисків особливої конструкції.

2. Розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень у польових умовах. Для реалізації програми проведення експериментальних досліджень розроблено та виготовлено дослідний зразок ротаційного ґрунтообробного агрегату.

3. Реалізація експерименту дала змогу отримати статистичну математичну модель математичну модель, яка описує вплив чинників на тяговий опір ротаційного ґрунтообробного знаряддя. Встановлено, що раціональними параметрами, які забезпечують мінімальний тяговий опір агрегату: частота обертання голчастих дисків 182 хв^{-1} , глибина обробітку ґрунту 0,06 м, швидкість руху агрегату 6,9 км/год. Експериментальні дослідження також засвідчили, що глибина обробітку ґрунту відрізняється від встановлених значень у припустимих межах, гребнистість обробленої поверхні $15,2 - 21,9 \text{ мм} < 30...40 \text{ мм}$, а ступінь подрібнення ґрунту $87...90,8 \% > 80 \%$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jones M. K. *Advances in Rotary Tillage Equipment for Precision Agriculture*. Oxford: Woodhead Publishing, 2020. 275 p.
2. Борак К. В., Куликівський В. Л. *Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб.* Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
3. International Standards Organization (ISO 17989-1:2018). *Tractors and machinery for agriculture and forestry Sustainability. Part 1: Principles*. ISO, 2018. 30 p.
4. Куликівський В.Л., Лахай Б.С. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми ротаційного знаряддя з коаксіальним розміщенням робочих органів. Сучасні вектори розвитку аграрної науки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ХДАЕУ, 17-18 вересня 2024 року). Херсон: ХДАЕУ, 2024. С. 375-378.
5. Куликівський В.Л., Лахай Б.С. Огляд конструкцій ротаційних ґрунтообробних машин та знарядь зі спірально-гвинтовими та голчастими робочими органами. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 55-58.
6. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
7. Lal, R. *Principles of Soil Management and Tillage*. New York: Taylor & Francis, 2021. 450 p.
8. Johnson, D. E. *Rotary Tillage Implements for Sustainable Farming* / D. E. Johnson, R. K. Taylor. Amsterdam: Elsevier, 2021. 312 p.

9. Smith, J. P. Soil Tillage Systems: Principles and Practices / J. P. Smith, A. L. Roberts. New York: Springer, 2019. 420 p.
10. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
11. Білик, М. Г. Механізація технологічних процесів обробітку ґрунту: підручник / М. Г. Білик, О. В. Ткаченко. – Київ: Видавництво «Наука і техніка», 2020. 350 с.
12. Brown, R. T. Agricultural Machinery and Mechanization / R. T. Brown. – London: Academic Press, 2020. 384 p.
13. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
14. Ткаченко, В. Г. Основи проектування ґрунтообробних машин: посібник / В. Г. Ткаченко, Л. О. Карпенко. Вінниця: ВНТУ, 2020. 298 с.
15. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
16. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
17. Куликівський В.Л., Лахай Б.С. Результати польових випробувань дослідного зразка ротаційного знаряддя з коаксіальним розташуванням робочих органів. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції», (22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С