

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра машиновикористання  
та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Токовчук Олександр Миколайович**

УДК 631.543

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ЗНАРЯДДЯ**  
**ДЛЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

Спеціальність 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

\_\_\_\_\_ О.М. Токовчук

Керівник роботи  
Білецький Віктор Романович  
к.т.н., доцент

Житомир – 2021

## АНОТАЦІЯ

Токовчук О.М. Обґрунтування параметрів чизельного знаряддя для основного обробітку ґрунту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

При виконанні магістерської роботи, проведені дослідження конструкційно-технологічних параметрів чизельно-дискового культиватора комбінованого типу, для можливості реалізації технологічних схеми та покращення якості обробітку ґрунту, що відповідає агротехнічним вимогам до мілкового обробітку ґрунту під посів зернових культур.

**Ключові слова:** Обґрунтування, чизельне знаряддя, обробіток ґрунту.

## SUMMARY

Tokovchuk O. M. Substantiation of the Parameters of the Chisel Tool for the Main Tillage. – Qualification work on the rights of the manuscript. Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

During the master's work, studies of structural and technological parameters of chisel-disk cultivator of combined type, for the possibility of implementing technological schemes and improving the quality of tillage, which meets agronomic requirements for shallow tillage for sowing cereals.

**Key words:** Rationale, chisel tools, tillage

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1 Сучасний стан досліджуваного питання .....	6
1.1. Огляд сучасних механізованих технологій основного обробітку ґрунту ..	6
1.2. Аналіз тенденцій розвитку машин для мілкового обробітку ґрунту.....	7
Розділ 2. Програма і методика експериментальних досліджень.....	10
2.1. Програма лабораторно-польових досліджень.....	10
2.2. Методика досліджень .....	12
Розділ 3. результати експериментальних досліджень та їх аналіз.....	22
3.1. Визначення параметрів робочих органів комбінованого культиватора...	22
3.2. Результати порівняльних випробувань ґрунтообробних агрегатів для мілкового обробітку ґрунту. ....	27
Загальні висновки та рекомендації виробництву .....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32

## Вступ

**Актуальність теми досліджень.** Мінімальні технології механізованого обробітку ґрунту застосовуються лише за певних умов. Порівняльна оцінка традиційних та ресурсощадних технологій вирощування сільськогосподарських культур, вказує на високий рівень придатності до мінімізації антропогенних впливів на ґрунт.

**Мета роботи.** Обґрунтувати ефективність обробітку ґрунту чизельно-дисковим культиватором комбінованого типу.

**Завдання досліджень:**

- проаналізувати технології і технічні засоби основного обробітку ґрунту під різні сільськогосподарські культури;
- обґрунтувати основні конструкційно-технологічні параметри робочих органів чизельно-дискового культиватора комбінованого типу;
- дослідити вплив головних параметрів чизельно-дискового культиватора на показники якості та енергомісткості обробітку ґрунту.

**Об’єкт досліджень** – процес та технічні засоби комбінованого обробітку ґрунту чизельно-дисковим культиватором при вирощуванні різних сільськогосподарських культур.

**Предмет досліджень** – залежності показників якості процесу обробітку ґрунту від конструкційно-технологічних параметрів чизельно-дискового культиватора.

**Методи досліджень.** Дослідження виконані з використанням положень землеробської механіки. Науково-виробничу перевірку чизельно-дискового культиватора в агрегаті з трактором Т-150К здійснено в зоні Полісся України в умовах невеликих аграрних підприємств Житомирської області з використанням методик випробування ґрунтообробних машин для обробітку ґрунту.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення магістерської роботи виконані автором самостійно, проведені лабораторно-польові дослідження.

**Перелік публікацій автора за темою дослідження.**

1. Брушко В.В., Губенко А.С., Токовчук О.М. Сучасні технології обробітку ґрунту / Біоенергетичні системи: Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». Том 2, 27-28 травня 2021 р. –Житомир: Поліський національний університет, 2021. – С. 123-124.
2. Прилуцький І.О., Губенко А.С., Токовчук О.М. Механізований обробіток ґрунту в умовах кліматичних змін / Матеріали XXII Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки». 16–18 жовтня 2021 року. Київ. Ніжин. 2021. – С. 56.
3. Губенко А.С., Токовчук О.М., Прилуцький І.О. Вимоги до проведення основного обробітку ґрунту / Студентські читання–2021: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 15 листопада 2021р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. – С. 176-178.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати можуть бути застосовані в умовах аграрних підприємств Полісся України.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів. Кваліфікаційна робота виконана на 34 сторінках, містить 4 таблиці, 14 рисунків. Список використаних джерел містить 29 праць.

## РОЗДІЛ 1 Сучасний стан досліджуваного питання

### 1.1. Огляд сучасних механізованих технологій основного обробітку ґрунту

Розораність ґрунтів сільськогосподарського використання на території України складає понад 85% [1]. Суттєвий антропогенний вплив на ґрунтове середовище призводить до його деградації, потребують вдосконалення технології механізованого обробітку ґрунту [2, 3]. Великі норми внесення мінеральних добрив та інтенсивний обробіток зі значними енергетичними витратами лише маскують втрату природної родючості ґрунтів. За останні 30 років площа еродованих ґрунтів в Україні збільшилася на 2 млн. га і складає 10 млн. га [4]. Суттєвою тенденцією розвитку механізованих технологій основного обробітку ґрунту є ресурсозбереження, в тому числі й енергоощадність. [6]. Диференціацію основного обробітку ґрунту здійснюють переходом від одноманітних полицевих знарядь до різноманітних одноопераційних ґрунтообробних машин (плугів, чизель-культиваторів, дискових борін та інших), що істотно знижує її реальну ефективність (рис.1.1).

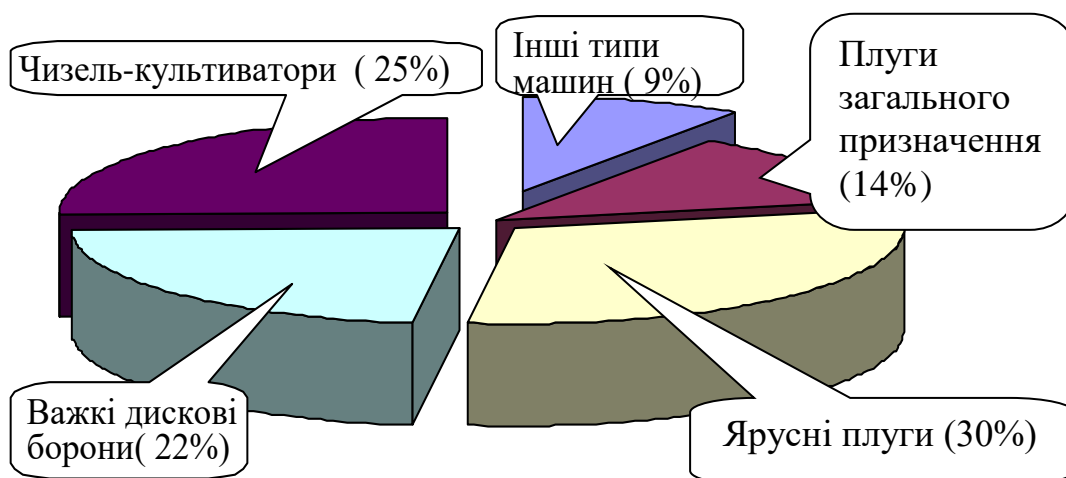


Рис. 1.1. Співвідношення ґрунтообробних машин різних типів при вирощуванні основних сільськогосподарських культур в Україні [8].

Таким чином, в Україні досі інерційно зберігається система механізованих технологій вирощування основних сільськогосподарських культур на основі одноопераційних, послідовно працюючих машин і знарядь [10]. Вона характеризується достатньо великою кількістю проходів різних машинно-тракторних агрегатів по полю [11]. В сучасних механізованих технологіях вирощування зернових та олійних культур суцільного посіву, на відміну від традиційних, за результатами досліджень багатьох авторів [13], визнане за доцільне застосування мілкого (8...16см), поверхневого (0...8см) і, навіть, нульового обробітків ґрунту.

Порівняльна оцінка окремих механізованих технологій є важливою умовою прогнозування раціонального розвитку внутрішнього ринку аграрної техніки. При цьому тенденції розвитку механізованих технологій в рослинництві безпосереднім чином визначають нову номенклатуру технічних засобів у сільськогосподарському машинобудуванні [15].

Основна відмінність альтернативних до традиційної новітніх технологій вирощування зернових культур обумовлена різноманітністю природних кондицій ґрунтового середовища та способом його обробітку [3].

## **1.2. Аналіз тенденцій розвитку машин для мілкого обробітку ґрунту**

Співвідношення між окремими типами ґрунтообробних машин активно змінюється на протязі останніх 20-30 років, що зумовлене значними змінами в технологіях вирощування основних культур. Ці зміни спрогнозовані в роботах [1, 15]. Вочевидь, існують певні відмінні риси механізованих технологій в Україні і Європі. У цьому знаходить своє відображення не лише дань традицій, але і специфіка умов застосування аграрної техніки. Існує на ринку механізованих технологій і щось середнє – перехідне по своїй суті. Безпосереднє перенесення нової ґрунтообробної техніки з Європи до України не завжди технологічно обумовлене. Тенденції розвитку ґрунтообробних машин сприяють підвищенню їх рівня споживчих властивостей в загальній

структурі аграрної техніки. Структурну схему основних тенденцій розвитку аграрної техніки можна представити у вигляді (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Структурна схема основних тенденцій розвитку аграрної техніки.

Якість сільськогосподарської продукції залежить від багатьох елементів. Її, як найважливіший кінцевий результат, формують складові, що реалізують біопотенціал сільськогосподарських культур. Реалізація цього біопотенціалу обумовлена кількома чинниками [2], у тому числі і технічними. Технічні чинники в механізованих технологіях виробництва продукції рослинництва впливають на рівень реалізації біопотенціалу рослин двояко. У різні періоди вегетації, при збиранні й зберіганні сільськогосподарських культур технічний вплив виявляється як у змінах врожайності культурних рослин, так і перемінах втрат врожаю. Тому, основні технологічні операції з виробництва продукції рослинництва і їх технічне забезпечення умовно представляють [26], як дві окремі групи впливу – на врожайність сільськогосподарських культур та втрати врожаю. Машини для обробітку ґрунту, з вагомістю впливу на врожайність на рівні 25%, входять до першої групи машин [8].



Одночасне існування технологій і техніки екстенсивного, інтенсивного та рівня «точного землеробства» окреслює об'єктивну необхідність випуску різнопланових сільськогосподарських машин для забезпечення поточних потреб агропромислового виробництва, з прогнозованим поступовим переходом на більш високі рівні.

Найчастіше в практиці застосовують експертний аналіз для визначення ефективності технічних засобів механізації обробітку ґрунту для вирощування сільськогосподарських культур, в тому числі при мінімалізації. Використання новітніх ґрунтообробних агрегатів дозволяє економити не лише енергетичні, але й трудові та фінансові ресурси, сприяє створенню нових ресурсозберігаючих механізованих технологій виробництва сільськогосподарської продукції. Ресурсозбереження в широкому розумінні цього поняття виступає важливим критерієм вибору засобів механізації обробітку ґрунту, зокрема для мілкої обробітку під зернові та олійні культури суцільного висіву. Розрахунки бізнес-планів щодо створення нової ґрунтообробної техніки обов'язково повинні враховувати нові агротехнічні вимоги для умов мінімалізації, містити аналіз можливих варіантів технічного забезпечення технологій виробництва означеної раніше сільськогосподарської продукції в межах конкуруючих сівозмін та враховувати їх можливий вплив на довкілля.

## Розділ 2. Програма і методика експериментальних досліджень

### 2.1. Програма лабораторно-польових досліджень

На основі завдань до виконання магістерської роботи, дослідження чизельно-дискового культиватора комбінованого типу для мілкого (на 8...16см) обробітку ґрунту під зернові та олійні культури суцільного посіву, програма експериментів передбачала:

- Дослідження впливу параметрів взаємного розміщення робочих органів й режимів роботи чизельно-дискового культиватора на якість і енергомісткість виконання мілкого обробітку ґрунту, зокрема, кута різання ( $\alpha_{л}$ ) чизельної лапи, глибини ( $h_{д}$ ) установки дисків-вирівнювачів та робочої швидкості агрегату ( $v$ ).
- Визначення впливу окремих груп технологічних наборів робочих органів чизельно-дискового культиватора на глибину обробітку ґрунту.

Першим пунктом програми передбачалось дослідження впливу на агротехнічні й енергетичні показники виконання основного мілкого обробітку ґрунту (на 8...16см) наступних конструктивно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів чизельно-дискового культиватора та режимів його роботи:

- кута різання ( $\alpha_{л}$ ) чизельної лапи;
- глибини ( $h_{д}$ ) установки дисків-вирівнювачів;
- робочої швидкості ( $v$ ) руху агрегату.

При цьому робоча глибина мілкого обробітку ґрунту ( $H$ ) встановлювалась на рівні 16см, у відповідності з рекомендаціями вчених [8], щодо ресурсоощадного вирощування зернових та олійних культур суцільного посіву. Крім того, даний режим застосовували при проведенні досліджень через те, що він є найбільш складним у діапазоні глибин від 8 до 16см. А, отже, якщо в цих умовах ґрунтообробна машина комбінованого

типу виконує агротехнічні вимоги, тоді й в усіх інших варіантах в даних межах результат роботи буде позитивним. Це положення піддавали перевірці в процесі науково-виробничої перевірки, проведеної в типових умовах в зоні Полісся України. Таким чином, при варіюванні глибини ( $h_d$ ) установки дисків-вирівнювачів по суті змінювалось їх положення відносно чизельної лапи комбінованого дисково-чизельного культиватора. Кут різання ( $\alpha_d$ ) чизельної лапи варіював в процесі експериментальних досліджень у межах, обумовлених теоретичними передумовами.

Програмою не передбачалось вивчення впливу параметрів взаємного розміщення робочих органів чизельно-дискового культиватора комбінованого типу, що були визначені при розробці механіко-технологічних передумов [8], із врахуванням літературних джерел та конструктивних міркувань на основі досліджень попередників [17, 26].

Якість виконання процесу основного мілкового (на 8...16см) обробітку ґрунту під зернові культури (при кожному з варіантів взаємного розміщення робочих органів чизельно-дискового культиватора за  $\alpha_d$  та  $h_d$ ) оцінювали наступними агротехнічними показниками: розпушенням ґрунту ( $K_p$ ), щільністю ґрунту ( $\rho_r$ ), ступенем підрізання бур'янів ( $\Pi_b$ ), вирівняністю поверхні поля ( $\sigma_n$ ) та ступенем загортання рослинних решток ( $Z_p$ ). Оскільки, щільність ґрунту ( $\rho_r \approx 0,96 \text{ г/см}^3$ ) та ступінь підрізання бур'янів ( $\Pi_b = 100\%$ ) в межах експерименту змінювались неістотно, а трудомісткість їх визначення досить висока, ці показники контролювались за варіантами вибірково, у разі потреби.

За другим пунктом програми передбачалось визначення впливу окремих технологічних груп робочих органів чизельно-дискового культиватора на глибину мілкового обробітку, що являє собою по суті оцінку доцільності даної послідовності розміщення робочих органів у відповідності з прийнятими вище технологічними та конструктивними міркуваннями.

Вирівняність поверхні поля ( $\sigma_n$ ) визначалась за розробленою оригінальною методикою у поперечному напрямку до руху ґрунтообробного

агрегату по кожному з варіантів досліджень. Основні результати дублювались відповідним чином проведеною фотозйомкою (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Вимірювання вирівняності поверхні поля на одному з варіантів дослідження якості роботи чизельно-дискового культиватора.

По третьому пункту програми передбачено агротехнічну, тягово-енергетичну та техніко-економічну оцінки базового та розробленого комбінованих ґрунтообробних агрегатів, зокрема, за розпушенням ґрунту ( $K_p$ ), ступенем підрізання бур'янів ( $\Pi_6$ ), вирівняністю поверхні поля ( $\sigma_n$ ) та ступенем загортання рослинних решток ( $Z_p$ ), тяговим опором ( $R_k$ ), буксуванням ( $\delta_k$ ), витратами палива ( $G_n$ ), а також за іншими техніко-економічними показниками. В процесі порівняльних досліджень визначено основні агротехнічні та тягово-енергетичні показники для серійного (Т-150К + ПЩН-2,5) та розробленого (Т-150К + ККН-3) ґрунтообробних комбінованих агрегатів при мілкому обробітку ґрунту на глибину 16см.

При розробці програми передбачено, що результати досліджень, отримані шляхом проведення лабораторно-польових експериментів, будуть оброблені з застосуванням прикладних машинних програм для ПК.

## 2.2. Методика досліджень

Визначення агротехнічних показників якості мілкого (на 8...16см) обробітку ґрунту при роботі ґрунтообробних агрегатів, що передбачено програмою досліджень, виконано за методикою ОСТ 70.4.1-80.

Загальну робочу глибину ( $H$ ) при мілкому основному обробітку ґрунту комбінованими ґрунтообробними машинно-тракторними агрегатами, що визначені до вивчення програмою досліджень, важко визначити прямим вимірюванням. Це пояснюється тим, що при зміщенні ґрунту в процесі його обробітку в точці вимірювання щупом ми не знаємо вихідного рівня поверхні поля. Тому робочу глибину обробітку ( $H$ ) визначали не лише з допомогою щупа, але й, для контролю, методом профілювання поверхні. Таким чином, під робочою глибиною обробітку ( $H$ ) комбінованих ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів ми розуміємо глибину ходу чизельних лап відносно поверхні поля. Слід підкреслити, що глибину ходу окремих груп робочих органів комбінованої ґрунтообробної машини, як правило не визначають. Водночас, саме режим послідовної роботи чизельної лапи, диска-вирівнювача та котка визначають кінцеву якість мілкої обробітку ґрунту. Тому в процесі досліджень чизельно-дискового культиватора для мілкої (на 8...16см) обробітку ґрунту під зернові культури запропоновано визначати, крім глибини обробітку ( $H$ ), ще й глибину ходу диска-вирівнювача та ротаційного котка, схему взаємного розміщення яких наведено на рис. 2.2.

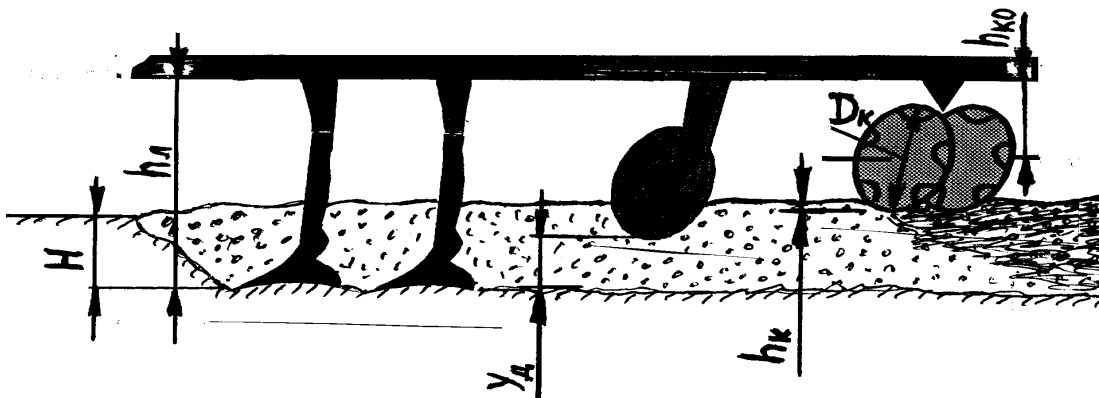


Рис. 2.2. Схема взаємного розміщення робочих органів чизельно-дискового культиватора.

Значення глибини ходу дискових робочих органів ( $h_d$ ) визначали непрямим способом – за допомогою перерахунку відносного положення дискових робочих органів від чизельних лап. Для цього вимірювали відстань ( $y_d$ ) між нижніми точками лез чизельних лап і нижньою точкою робочих поверхонь сферичних дисків за вертикаллю. Тоді висоту сегменту оброблюваного дисками шару ґрунту ( $h_d$ ) визначали за формулою:

$$h_d = H - y_d, \quad (2.1.)$$

де  $H$  – робоча глибина ходу чизельної лапи;

$y_d$  – відстань між опорною площиною чизельних лап і нижньою точкою робочих поверхонь сферичних дисків за вертикаллю.

Значення  $y_d$ , визначене за вказаним виразом, для даного конкретного варіанту розміщення робочих органів комбінованої ґрунтообробної машини з деяким допуском можна вважати постійним. Тоді, поточні значення глибини ходу дисків ( $h_d$ ) визначають відносно поточних реалізацій загальної робочої глибини обробітку ( $H$ ) за кожним з варіантів та знаходять відповідні їм статистичні характеристики.

Зазначимо, що робочу глибину обробітку котком можливо визначати також виходячи з глибини обробітку ( $H$ ) чизельними лапами. Проте для практичних цілей доцільно обрати за базову площину не площину лез чизельних лап, а нижню площину рами комбінованої машини. У цьому випадку робочу глибину ходу котка пропонується визначати за формулою:

$$h_k = h_{ko} + 0,5D_k + H - h_d, \quad (2.2.)$$

де  $h_{ko}$  – відстань від нижньої площини рами до вісі котка за вертикаллю;

$D_k$  – діаметр котка;

$H$  – робоча глибина ходу чизельної лапи;

$h_d$  – висота чизельної лапи від опорної поверхні до нижньої площини рами комбінованої ґрунтообробної машини.

Тобто, вимірювання глибини ходу котка проведено відносно поверхні необробленого котком ґрунту. Використання вісі котка для визначення поточних значень глибини обробітку дозволяє проводити контрольні виміри не лише при зупиненому ґрунтообробному агрегаті, але й у русі з допомогою фотозйомки, що дуже важливо для врахування динамічних умов роботи машини.

Дана методика, що дозволяє визначати глибини обробітку різними групами робочих органів, базується на використанні нижньої площини рами ґрунтообробної комбінованої машини в якості площини відліку. У відомих методиках ОСТ 70.4.1-80 базування ведеться відносно нижньої опорної поверхні робочих органів, що значно ускладнює вимірювання і знижує точність результатів.

Отже, в процесі досліджень чизельно-дискового культиватора комбінованого типу, глибину обробітку ґрунту визначали по суті для кожної групи робочих органів, а саме:  $H$ ,  $h_d$ ,  $h_k$ . Прийняті умовності значно спрощують поточні вимірювання глибини обробітку по окремим групам робочих органів, а їх кількість забезпечує необхідну точність вимірювань при 5% рівні похибки.

В залежності від завдань, що розв'язуються при виконанні пунктів програми досліджень, вибір технологічного режиму роботи ґрунтообробного агрегату за глибиною обробітку ( $H$ ) був диференційований. Так, дослідження з оптимізації конструктивно-технологічних параметрів ( $\alpha_n$  та  $h_d$ ) взаємного розміщення чизельних і дискових робочих органів проведені при загальній глибині ( $H$ ) мілкої обробітку ґрунту на рівні 16см, яка є основною при мінімалізації обробітку ґрунту під зернові та олійні культури суцільного посіву [8, 17]. При такій же установочній глибині  $H = 16$ см досліджували вплив окремих наборів робочих органів при агрегуванні комбінованого чизельно-дискового культиватора з колісним трактором Т-150К на показники роботи комбінованого агрегату, враховуючи, що його розробка має

конкретне цільове призначення – для мілкої обробітку ґрунту під зернові культури, на прикладі зони Полісся України.

Для визначення техніко-економічних показників порівняльну оцінку експериментального (Т-150К + ККН-3) та серійного (Т-150К + ПЩН-2,5) комбінованих агрегатів проводили на верхньому (16см – по необробленому агрофону) рівні глибини мілкої обробітку (Н) ґрунту, який характеризує верхню критичну межу Н, обумовлену агротехнічними вимогами. Вирівняність поверхні поля після проходу чизельно-дискового культиватора досліджували при виконанні мілкої обробітку ґрунту на глибину 16см, тобто із врахуванням найбільш вірогідних та найважчих умов.

Обробку даних експерименту, отриманих щодо глибин обробітку вказаним способом, виконували лише після отримання кінцевих поточних значень показників Н,  $h_d$ ,  $h_k$ . Неприпустимо визначати статистичні характеристики для отриманої сукупності значень  $h_{ko}$ , а потім до отриманого математичного очікування додавати постійну для варіанту величину  $(0,5D_k + H - h_l)$ . Такі показники, як коефіцієнт варіації та точність досліду, для  $h_{ko}$  та  $h_k$  мають різні значення.

Ширина захвату чизельно-дискового культиватора при мілкому (на 8...16см) обробітку ґрунту під зернові та олійні культури суцільного посіву визначалась за стандартною методикою. Кілки виставлялись перед заліковим проходом агрегату відносно лінії руху крайньої чизельної лапи на відстань 5м. Після проходу агрегату з комбінованим чизельно-дисковим культиватором вимірювання проводились від виставлених кілків до сліду тієї ж чизельної лапи. Ширина захвату ( $B_m$ ) розраховувалась як різниця двох вимірів – до й після проходу комбінованої машини.

Розпушення ґрунту ( $K_p$ ) визначалось за допомогою двох решіт – глухого та з діаметром отворів 50мм. Більш крупні фракції (більше 100мм) відбирали та вимірювали вручну, а потім окремо зважували. Зазначимо, що в процесі досліджень крупні фракції практично не зустрічались. Ймовірно, це



пояснюється тим, що обробці піддавали ґрунт, який був добре структурованим й близьким до стану стиглості.

Щільність ґрунту ( $\rho_r$ ) у посівному шарі (2...8см), у зв'язку з трудомісткістю визначення, контролювали у 6-ти кратній повторності лише на окремих варіантах за допомогою бюкс з подальшою обробкою ваговим методом. Оскільки щільність складала в середньому  $\rho_r \approx 0,96\text{г/см}^3$ , цієї перевірки вистачило, щоб зробити висновок про відповідність розробленого чизельно-дискового культиватора комбінованого типу, вимогам до мілкої (на 8...16см) обробітку ґрунту при вирощуванні зернових та олійних культур суцільного посіву.

Ступінь підрізання бур'янів ( $\Pi_6$ ) визначали вибірково на 10-ти метрових ділянках, шириною 50см. Конструктивно-технологічні параметри комбінованої машини передбачали повне (100%) однократне підрізання бур'янів. Це й підтверджено вже у першій серії досліджень, оскільки усі вибірки дали один і той же результат –  $\Pi_6 = 100\%$ . У зв'язку із цим, в подальших дослідженнях цей показник контролювався вибірково, за потребою.

Вирівняність поверхні поля ( $\sigma_n$ ) визначали за удосконаленою нами методикою. Окремі реалізації ординат поверхні поля визначали відносно трьохметрової рейки, укладеної на поверхню поля (без анкерних кілочків та горизонтального її виставлення), через кожні 5см впоперек напрямку руху комбінованої машини. Дана методика дозволяє, на відміну від ОСТ 70.4.2-80, уникнути спотворення значень вирівняності ( $\sigma_n$ ) поверхні поля та інших статистичних показників, бо рейка розміщується не горизонтально, а не інакше, ніж паралельно нахилу поверхні. При зміні режимів роботи ґрунтообробного комбінованого агрегату та сукупностей робочих органів методика визначення вирівняності поверхні поля ( $\sigma_n$ ) не змінювали. Контролювали основні варіанти визначення даного показника з допомогою фотографування, яке дозволяє комплексно представити загальну картину

(зовнішній вигляд) поля після обробітку ґрунту за тим чи іншим варіантом, передбаченим програмою досліджень.

Ступінь загортання рослинних решток ( $Z_p$ ) визначали ваговим методом наступним чином. До проходу агрегату у 4-х кратній повторності в рамці розміром  $50 \times 50 \text{ см}^2$  вирізали усі рослинні рештки і зважували. Після проходу агрегату операцію повторювали аналогічним порядком на обробленому агрофоні. Зауважимо, що на всіх варіантах, крім варіантів з серійним агрегатом Т-150К + ПЩН-2,5, показник  $Z_p > 50\%$ . Тому його визначали лише в окремих варіантах для контролю. Попередньо встановлені значення середньоквадратичних відхилень ( $\sigma$ ) означених агротехнічних показників, точність ( $\varepsilon$ ) оцінки вибіркової характеристики. В результаті цього надійність результатів склала в основному не менше 95%.

Дослідження впливу кута різання ( $\alpha_d$ ) чизельної лапи та глибини ( $h_d$ ) установки дисків-вирівнювачів, на агротехнічні показники ( $K_p$ ,  $P_b$ ,  $\sigma_{II}$  та  $Z_p$ ) якості виконання мілкої обробітку ґрунту передбачалось провести із застосуванням методики планування експерименту.

На базі рекомендацій [15] розроблено структурну схему (рис. 2.3) досліджуваного процесу взаємодії робочих органів чизельно-дискового культиватора з ґрунтом.

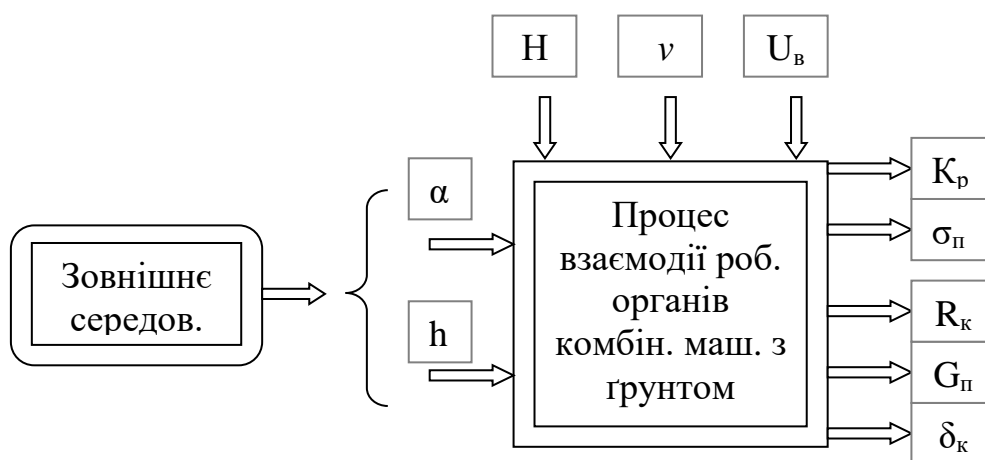


Рис. 2.3. Структурна схема процесу взаємодії робочих органів чизельно-дискового культиватора комбінованого типу з ґрунтом.

Із врахуванням механіко-технологічних передумов (розділ 1), вхідними величинами є конструктивно-технологічні параметри ( $\alpha_{\text{л}}$ ,  $h_{\text{д}}$  та  $\nu$ ) розміщення корпусів. Вихідними – агротехнічні ( $K_{\text{р}}$ ,  $P_{\text{б}}$ ,  $\sigma_{\text{п}}$  та  $Z_{\text{р}}$ ) показники якості мілкого обробітку ґрунту. Вище прийняті обмеження дозволили прийняти до розгляду з вихідних агротехнічних величин лише  $K_{\text{р}}$  та  $\sigma_{\text{п}}$ . З метою оцінки процесу мілкого обробітку ґрунту за тягово-енергетичними показниками ( $R_{\text{к}}$ ,  $G_{\text{п}}$  та  $\delta_{\text{к}}$ ) вони також розглядались як вихідні змінні.

До керуючого впливу та зовнішніх перешкод віднесені показники режиму роботи комбінованої машини (за глибиною обробітку  $H$  та швидкістю руху  $\nu$ ) та інші випадкові перешкоди ( $U_{\text{в}}$ ). Досліджуваний процес мілкого обробітку ґрунту протікає при певних, типових для нього, умовах навколишнього середовища. У зв'язку з тим, що вказана ідеалізація процесу виконана в основному на етапі теоретичних розробок, на етапі пошукових експериментальних досліджень проведено перевірку значущості незалежних змінних (факторів  $\alpha_{\text{л}}$  та  $h_{\text{д}}$ ). В результаті виконаного двох факторного дисперсійного аналізу за методикою, описаною у [36], встановлено, що рівень впливу помилки ( $H$ ,  $\nu$  та  $U_{\text{в}}$ ) в залежності від функцій відгуку ( $K_{\text{р}}$  та  $\sigma_{\text{п}}$ ) склав величини до 5,0%. Перевірка за критерієм Фішера при 0,05 рівні значущості підтвердила існування взаємозв'язків між конструктивно-технологічними параметрами ( $\alpha_{\text{л}}$  та  $h_{\text{д}}$ ) та результативними ознаками ( $K_{\text{р}}$  та  $\sigma_{\text{п}}$ ).

Для встановлення емпіричних залежностей між факторами та функціями відгуку дослідження проведені шляхом реалізації повно факторного експерименту за стандартним планом типу  $3^3$ , із використанням відомої методики [26].

Кут різання ( $\alpha_{\text{л}}$ ) чизельної лапи та при реалізації ПФЕ змінювали дискретно на трьох рівнях із постійним кроком ( $4^0$ ,  $8^0$ ,  $12^0$ ). Рівні зміни глибини ( $h_{\text{д}}$ ) установки дисків-вирівнювачів складала: 0см; 4см; 8см. Межі вимірювання (верхня та нижня) конструктивно-технологічних параметрів комбінованого чизельно-дискового культиватора  $\alpha_{\text{л}}$  та  $h_{\text{д}}$  попередньо

обґрунтовані в процесі теоретичних досліджень і уточнені після пошукових експериментів. При виході за ці межі якість мілкої обробітки ґрунту суттєво погіршувалась. Основний рівень вибраний на однаковій віддалі від «зіркових» точок. На основі цього матриця планування експерименту має стандартну форму.

Аналіз отриманих математичних моделей, з метою оптимізації конструктивно-технологічних параметрів ( $K_p$  та  $\sigma_n$ ) взаємного розміщення робочих органів комбінованого чизельно-дискового культиватора, проведений із використанням методу побудови поверхонь відгуку.

Значення узагальненого показника якості роботи культиватора доцільно визначати за виразом:

$$A = q_{\sigma} \left| \frac{\sigma - \sigma_{зд}}{\sigma_{зд}} \right| + q_{pp} \left| \frac{B_3 - B_{зд}}{B_{зд}} \right| + q_k \left| \frac{K - K_{зд}}{K_{зд}} \right| + q_{\Gamma} \left| \frac{\Gamma - \Gamma_{зд}}{\Gamma_{зд}} \right|, \quad (2.3)$$

де  $q_{\sigma}, q_{pp}, q_k, q_{\Gamma}$  – питома вага часткових критеріїв показників якості –

врівненості поверхні, величини загортання рослинних решток, кришення ґрунту та глибини обробітки ґрунту, відн.од;

$\sigma_{зд}$  – задане значення середньоквадратичного відхилення нерівностей ґрунту, см;

$B_{зд}$  – задане значення величини загортання рослинних решток, %;

$K_{зд}$  – задане значення кришення ґрунту, %;

$\Gamma_{зд}$  – задане значення глибини обробітки ґрунту, см;

$\sigma$  – значення середньоквадратичного відхилення нерівностей ґрунту, при роботі агрегату, см;

$B_3$  – значення величини загортання рослинних решток при роботі агрегату, %;

$K$  – значення кришення ґрунту при роботі агрегату, %;

$G$  – значення глибини обробітку ґрунту при роботі агрегату, см.

Додатково проведено науково-виробничу апробацію комбінованого ґрунтообробного агрегату Т-150К + ККН-3 при мілкому обробітку ґрунту, що попередньо зораний, під зернові та олійні культури, тобто в якості передпосівної культивуації. Експерименти проведено на трьох рівнях швидкості: 1р, 2р, 3р. Перевірка була здійснена в реальні агротехнічні строки при обробітку ґрунту під посів озимих зернових культур.

## Розділ 3. результати експериментальних досліджень та їх аналіз

### 3.1. Визначення параметрів робочих органів комбінованого культиватора.

Лабораторно-польові дослідження чизельно-дискового культиватора комбінованого напівначіпного ККН-3 (умовна марка) в агрегаті з тензометричним трактором Т-150К (рис. 3.1.) проводилися в умовах, типових для мілкої обробки ґрунту під посів зернових культур: агрофон – стерня озимої пшениці, тип ґрунту чорнозем, рельєф поля рівний.



Рис. 3.1. Ґрунтообробний агрегат Т-150К + ККН-3 в роботі.

Дані з вологості та твердості ґрунту наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

#### Вологість та твердість ґрунту в шарах

Шар ґрунту, см	Вологість, %	Твердість, кг/см <sup>3</sup>
0-10	16,7	1,68
10-20	18,3	2,47

Отримані в результаті реалізації плану експерименту середні значення досліджуваних величин, на основі трьох повторностей, приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати експериментального визначення витрати палива,  
вирівняності поверхні ґрунту та глибини обробітку

№ пп.	Фактори			Середнє значення витрати палива, кг/год.	Середнє значення вирівненості поверхні ґрунту, см	Середнє значення глибини обробітку ґрунту, см
	X 1	X 2	X 3			
1	1	1	0	32.00	2.500	12.000
2	-1	-1	0	22.68	1.129	11.167
3	1	-1	0	30.28	1.576	16.750
4	-1	1	0	25.00	1.755	8.000
5	1	0	1	32.00	1.788	15.600
6	-1	0	-1	20.00	2.000	10.317
7	1	0	-1	29.92	2.269	15.150
8	-1	0	1	25.00	1.429	10.550
9	0	1	1	30.67	2.067	12.061
10	0	-1	-1	25.20	1.262	15.000
11	0	1	-1	27.22	2.614	13.200
12	0	-1	1	29.74	1.125	14.000
13	0	0	0	25.96	1.767	12.000
14	0	0	0	25.96	1.767	12.000
15	0	0	0	25.96	1.767	12.000

Обробка експериментальних даних за допомогою стандартного машинного програмного забезпечення, отримані наступні рівняння:

$$q = 14,9691 + 1,6350 \alpha - 0,22 h_D - 0,7950 v + 0,0016 \alpha^2 + 0,0940 h_D^2 + 0,1859 v^2 - 0,0094 \alpha h_D - 0,0913 \alpha v - 0,0341 h_D v; \quad (3.1)$$

$$\sigma = 2,4355 - 0,0204 \alpha + 0,2054 h_D - 0,3103 v + 0,0024 \alpha^2 - 0,0041 h_D^2 + 0,0165 v^2 + 0,0047 \alpha h_D + 0,0028 \alpha v - 0,0128 h_D v, \quad (3.2)$$

$$h = 22,9032 + 1,0007 \alpha - 0,296 h_D - 4,4858 v - 0,0213 \alpha^2 + \\ + 0,02 h_D^2 + 0,3113 v^2 - 0,0247 \alpha h_D + 0,0068 \alpha v - 0,0043 h_D v, \quad (3.3)$$

де  $q$  – витрати палива при роботі агрегату, кг/год.;

$\sigma$  – вирівнюваність поверхні поля, см;

$h$  – глибина обробітку ґрунту, см;

$\alpha$  – кут лапи, град.;

$h_D$  – глибина установки дисків, см;

$v$  – швидкість руху агрегату, км/год.

Статистична обробка результатів експериментів проводилася за загальновідомими методиками з оцінкою однорідності дисперсій по критерію Кохрена, визначенням довірчих інтервалів для оцінки значимості коефіцієнтів регресії з використанням критерію Стюдента та оцінкою адекватності рівняння регресії з використанням критерію Фішера.

Аналогічним чином одержані в результаті опрацювання даних експериментів та представлені нижче інші емпіричні залежності, одержані під час експериментальних досліджень (рис. 3.2...3.4).

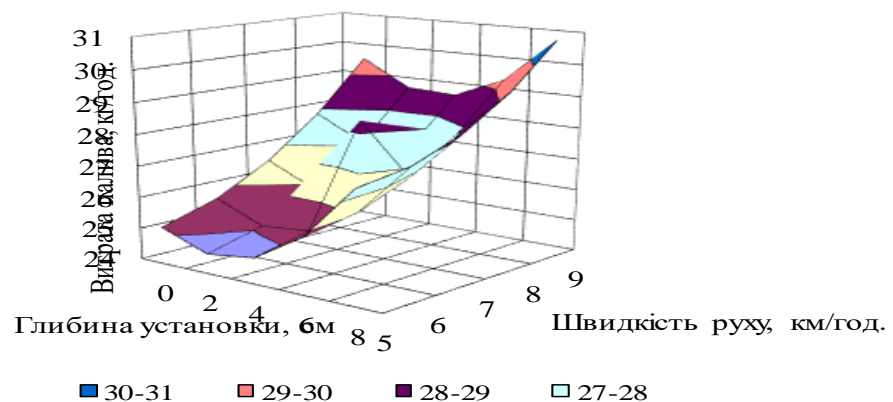


Рис. 3.2. Вплив глибини установки дисків та швидкості руху на витрату палива.



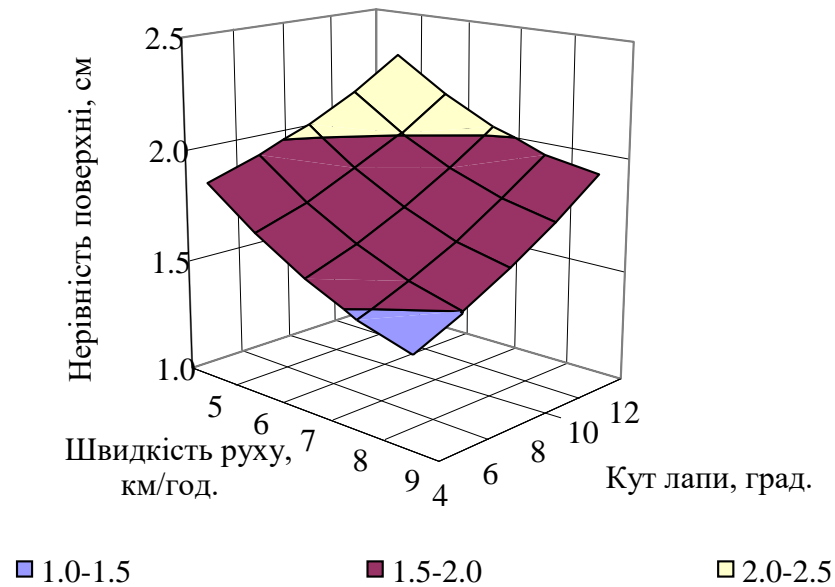


Рис. 3.3. Вплив швидкості руху агрегату та кута лапи на вирівняність поверхні поля.

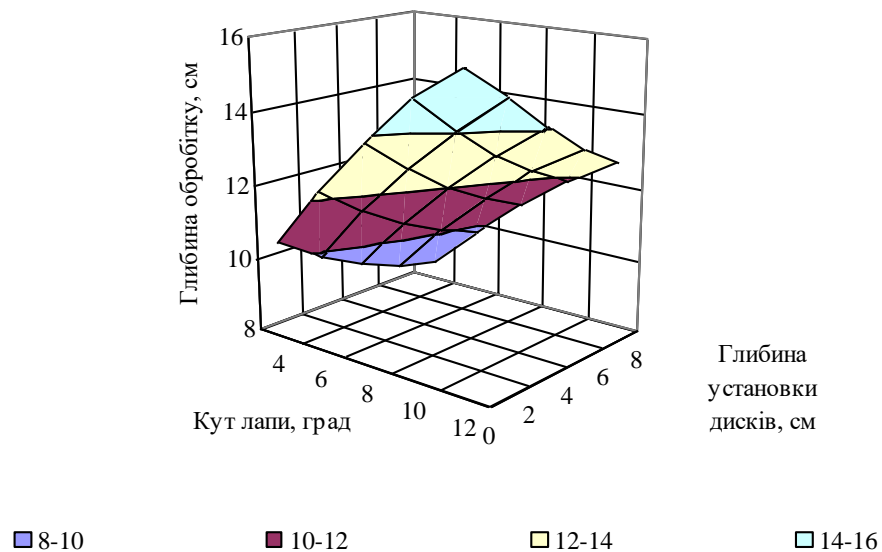


Рис. 3.4. Вплив кута лапи та глибини установки дисків на глибину обробітку.

Вирівняність поверхні поля зменшується із збільшенням кута лап, а також встановлення дисків і зменшення швидкості руху, це має пояснення істотним впливом цих факторів під час обробітку ґрунту чизельно-дисківим

культиватором. Поперечний розріз обробленого ґрунту після проходу Т-150К + ККН-3 наведено на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Поперечний розріз обробленого ґрунту після проходу Т-150К + ККН-3 під час проведення досліджень агротехнічних і тягово-енергетичних показників роботи.

Оцінку роботи запропонованого робочого органу проведено, зокрема, за питомими витратами палива на виконання операції обробітку ґрунту за виразом:

$$П = 10 \frac{q}{Bv}. \quad (3.4)$$

Залежність (3.4) у графічному вигляді приведена на рис. 3.6

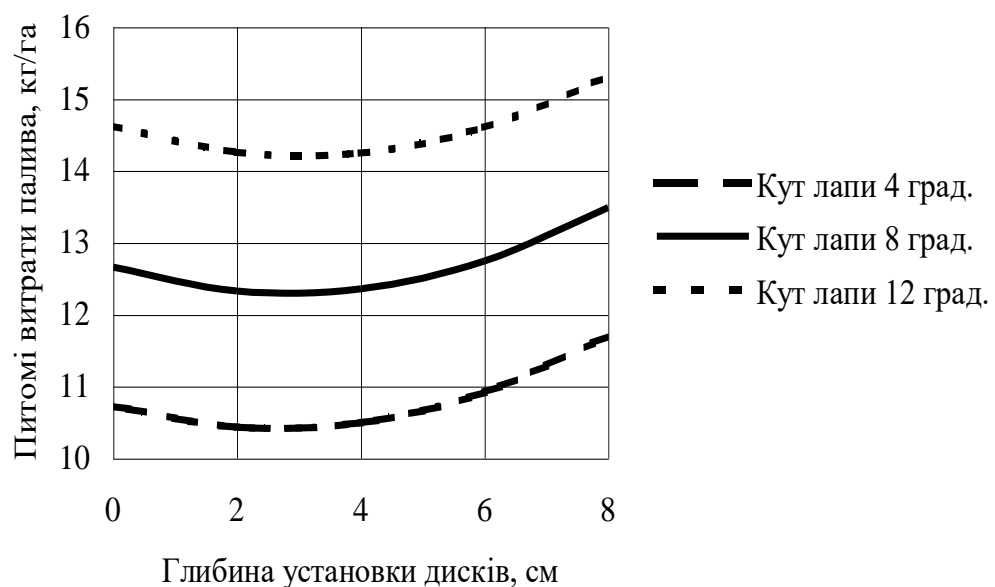


Рис. 3.6. Вплив глибини установки дисків на питомі витрати палива.

### 3.2. Результати порівняльних випробувань ґрунтообробних агрегатів для мілкої обробітки ґрунту.

Агротехнічну і тягово-енергетичну оцінку культиватора комбінованого ККН-3 в агрегаті з трактором Т-150К (рис. 3.7. а) проведено на полях декількох фермерських господарств Житомирської області в період з 15 по 19 квітня 2021 року. За базовий варіант прийнято знаряддя ПЩН-2,5 в агрегаті з трактором Т-150К – один з найкращих варіантів для мілкої основного обробітки ґрунту без обертання скиби (рис. 3.7. б).



а)

б)

Рис. 3.7. Агрегат Т-150К + ККН-3 (а) та Т-150К + ПЩН-2,5 (б) під час проведення порівняльних випробувань.

В результаті агротехнічної оцінки (табл. 3.3) визначено, що показники якості роботи комбінованого культиватора напівначіпного ККН-3 чизельно-дискового типу відповідають призначенню конструкції лише в певних межах регулювання, забезпечують розпушення ґрунту на глибину до 15см та ущільнення поверхневого шару (до 8см) на легких за механічним складом ґрунтах. Визначено раціональні параметри даного культиватора. Істотною визначено, перш за все, різницю в ступенях загортання рослинних решток (рис. 3.8, 3.9).



Рис. 3.8. Вигляд обробленого поля і поперечний розріз після проходу агрегату Т-150К + ККН-3.

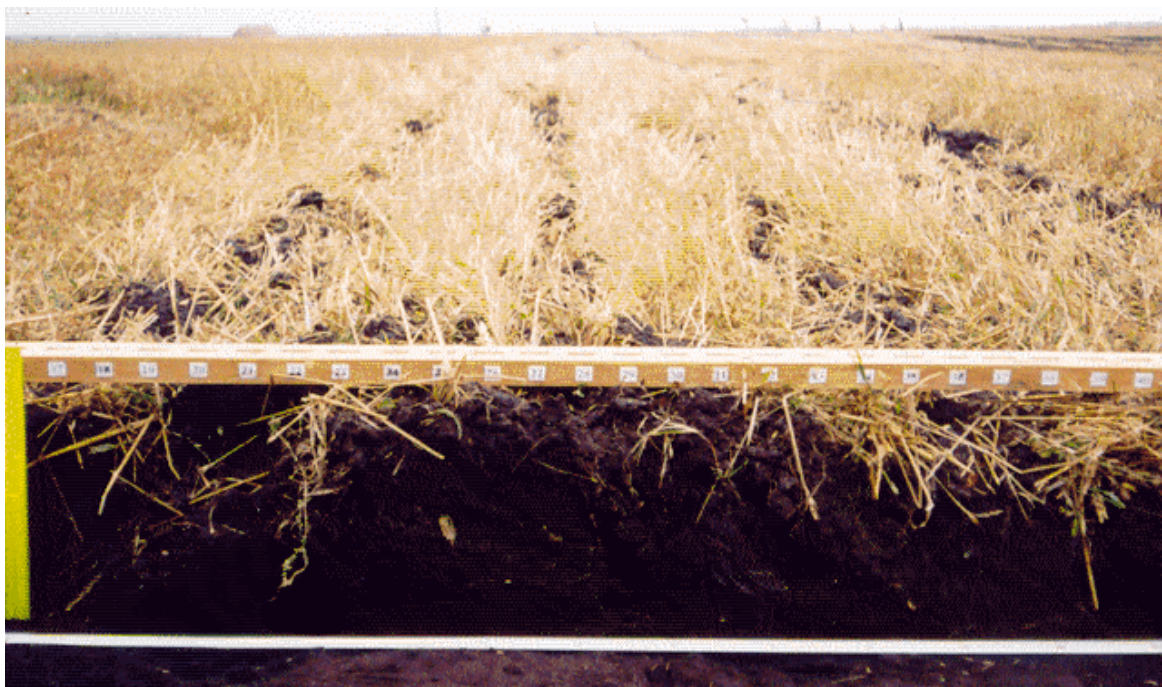


Рис. 3.9. Вигляд обробленого поля і поперечний розріз після проходу агрегату Т-150К + ПЩН-2,5.

Таблиця 3.3

Результати порівняльної агротехнічної оцінки базової (ПЩН-2,5)  
та нової (ККН-3) машин для мілкої обробітку ґрунту

№	Найменування показника	Значення показника для машини	
		базової	нової
1	Марка машини	ПЩН-2,5	ККН-3
2	Марка трактора	Т-150К	
3	Робоча швидкість, м/с	2,3	2,3
4	Глибина обробітку середня, см	16,2	15,4
5	Ширина захвату середня, м	2,454	3,163
6	Гребнистість, см	4,59	4,33
7	Ступінь загортання рослинних решток, %	18	76
8	Розпушення ґрунту (фракційний склад), %:		
	– понад 50мм	12,4	12,7
	– 25-50мм	9,1	10,3
	– 10-25мм	11,7	13,6
	– менше 10мм	66,8	63,4
9	Продуктивність, га за 1 годину основного часу	2,03	2,62

Підтверджені експериментально для умов зони Полісся України раціональні значення конструкційно-компоновочних параметрів чизельно-дискового культиватора комбінованого типу:

- ширина захвату загальна – 3300мм;
- віддаль між суміжними лапами в поперечно-вертикальній площині – 450мм,
- віддаль між рядами робочих органів по ходу – 500мм;
- відстань від дискового подрібнювача до котка – 600мм;
- віддаль між суміжними дисковими подрібнювачами – до 800мм.

Визначені в результаті обробки експериментальних даних наступні основні конструктивно-технологічні параметри робочих органів чизельно-дискового культиватора комбінованого типу:

- лапи – ширина захвату 450мм; кут різання від 8 до 10°; кут розхилу лемеша від 100 до 120°; ширина лемеша – до 70мм;
- ширина ущільнюючого котка – 3300мм, діаметр – 450мм, крок між кільцями до 200мм, крок між планками – до 200мм.

## Загальні висновки та рекомендації виробництву

Проведені дослідження застосування чизельно-дискового культиватора комбінованого типу, вказують на можливість реалізації технологічної схеми, для покращення якості обробітку ґрунту.

Встановлено, що при конструкційно-технологічних параметрах взаємного розташування лап, дисків і котків розробленого чизельно-дискового культиватора, що забезпечують мінімальне значення енергомісткості обробітку ґрунту, в умовах експерименту було забезпечено: ступінь загортання рослинних решток – 76%, гребнистість поверхні поля –  $4,33 \pm 0,3$  см, що відповідає агротехнічним вимогам до мілкої обробітку ґрунту під посів зернових культур.

Встановлено, що при близьких агротехнічних показниках у порівнянні з комбінованим плоскорізом ПЩН-2,5, в області рекомендованих глибин обробітку ґрунту (8...16 см), розроблений комбінований агрегат на базі ККН-3 при агрегуванні з колісним трактором класу 3 забезпечує зниження питомої витрати палива на 0,7...17,8%. Це обумовлено застосуванням оригінальної схеми взаємного розміщення робочих органів, що реалізує на практиці ефект силової нейтралізації в процесі протидії робочих органів дискового типу, з одного боку і чизельних лап, з другого, сприяє стійкому руху ґрунтообробного агрегату по глибині й ширині обробітку ґрунту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. – Київ: Нора-принт, 1999.- 279с.
2. Пастухов В.И. Качество механизированных технологических операций и биопотенциала полевых культур. – Харьков, 2002. – 124с.
3. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 388с.
4. Гуков Я.С., Могілевський М.П., Тарарико О.Г. Способи обробітку ґрунту: їх ефективність та перспектива Механізація та електрифікація сільського господарства. – Київ: Урожай, № 1992, № 75. – С. 51-55.
5. Мельник І.І., Шостак А.В., Бондар С.М., Мороз А.І. Хронографічні дослідження механізованих процесів основного обробітку ґрунту // Сб. науч. трудов. Вып. 2. – Керчь: КМТИ, 2001. – С. 85-90.
6. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / В.В. Адамчук, Г.Л. Баранов, В.О. Дубровін та інші / За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалюка. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396с.
7. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Поліссі України. К.: КМ України, НАУ. – 2004.- Т.2. – С.255-303, 831-848.
8. Дубровін В., Мороз А., Ботвиновський В., Сушко Д., Скоробогатов Д. Диференціація технічних засобів для загортання сидеральних культур у ґрунт // Зб.наук.праць НАУ. – К.: НАУ, 2003. - №15. – С.20-26.
9. Войтюк Д.Г., Крижачківський М.Л., Шевченко І.А., Дубровін В.О. Системний аналіз при вирішенні технологічної задачі виробництва сільськогосподарської продукції // Зб.наук.праць НАУ. – К.: НАУ, 2002.- №11. – С.159-162.
10. Медведев В.В., Слободюк П.И. Методология оптимизации взаимодействий в системе «Сельскохозяйственная машина-почва-растение». В сб. «Изменение физико-механических и технологических свойств почв в



результате механического воздействия мобильных технических средств на почву на примере Западного региона СССР», г. Таллин, 1982. – С. 7-9.

11. В. Погорілий, Л. Шустік. Перспективні знаряддя для обробітку ґрунту, посіву та догляду за рослинами // Техніка АПК. – 2002. - №1-2. –С. 19-20.

12. Шелудченко Б.А. Агротехніка ґрунтів. – Житомир, Полісся, 1992. – 249с.

13. Погорілий Л., Лінник М., Дубровін В., Нагорний М. Перспективні конструкції ґрунтообробних машин. Сільськогосподарська техніка України, 1998. - №2. – С. 6-12.

14. Сайко В.Ф. і інші. Вилучення з інтенсивного обробітку малопродуктивних земель та їх раціональне використання. Методичні рекомендації. Київ. Аграрна наука. –2000. – 38с.

15. Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Забродський П.М. Кінематична модель ротаційного ґрунтообробного знаряддя // Вісник Державного агроєкологічного університету. – Житомир, 2002. – №1. – С.133–137.

16. Нагорний М.Н., Дубровін В.О. Начіпний ярусний плуг // Механізація сільського господарства. – 1985. - №1. – С. 14-15.

17. Камінський Я.Р., Дубровін В.О., Бабій В.П., Мироненко В.Г., Ботвиновський В.В., Мороз А.І. Аналіз механізованих технологій вирощування ріпаку // Науковий вісник НАУ, №60. – К.: НАУ, 2003 – С. 177-180.

18. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2004. – 544с.

19. Бахтин П.У. Исследования физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. – М. «Колос», 1969. – 271с.

20. Орманджи К.С. Правила производства механизированных работ под пропашные культуры: Пособие для бригадиров и звеньевых. – 2-е изд., перераб. и доп.—М.: Россельхозиздат, 1986. – 303с.

21. Камінський Я.Р., Дубровін В.О., Бабій В.П. Аналіз механізованих технологій вирощування ріпаку // Зб.наук.праць НАУ. - К.: НАУ, 2003. - №60. – С.177-179.
22. Ревякин Е.Л. Развитие машин для минимальной и нулевой обработки почвы. – М.: Колос, 1981. – 314с.
23. Дубровін В.О., Ковбаса В.П. Фізичні рівняння формалізації ґрунту // Зб.наук.праць НАУ.- К.: НАУ, 2003. - №60. – С.172-176.
24. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Поліссі України. К.: КМ України, НАУ. – 2004.- Т.2. – С.255-303, 831-848.
25. Дубровін В.А., Мироненко В.Г., Мороз А.И. и др. Развитие рынка аграрной техники Украины // Зб.наук.праць ТДАТА. – Мелітополь: ТДАТА, 2003. – Вип. 10. – С. 50-61.
26. Іванюта М.В., Дубровін В.О., Мороз А.І. Перспективи розвитку сучасних комбінованих агрегатів // Науковий вісник НАУ. - К.: НАУ, 2005. - №80. - Част. 1. – С.33-38.
27. Соломаха Г.Н. Мы создаем плуги //Техніка АПК. - № 6. – 2000.
28. Методичні вказівки щодо виконання та захисту випускних кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – Житомир: ЖНАЕУ, 2020. – 46с.
29. Положення про кваліфікаційні роботи у ЖНАЕУ. – Житомир: ЖНАЕУ, 2019.