

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу міжрядного обробітку просапних культур з удосконаленням просапного культиватора до мотоблоку»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм- 21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною
програмою «Агроінженерія»

Заяць Р.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кірчук Р.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП

Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дударєв І.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології й</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Зайцю Роману Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу міжрядного обробітку просапних культур з удосконаленням просапного культиватора до мотоблоку

керівник роботи Кірчук Руслан Васильович, професор, к.т.н.

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

затверджена наказом ЛНТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

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

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	2 листа
5. Функціональна схема	1 лист
6. Складальне креслення розроблюваного вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Заяць Р.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кірчук Р.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній магістерській роботі на тему: «Дослідження процесу міжрядного обробітку просапних культур з удосконаленням просапного культиватора до мотоблоку» представлено вирішення науково-прикладної задачі вирощування просапних культур на невеликих ділянках з використанням мотоблоку в якості енергетичного засобу.

Сферою застосування даного дослідження може бути операція міжрядного обробітку просапних культур у фермерських господарствах, зокрема плодоовочевої продукції. Застосування запропонованої технології та розробленого пальчикового культиватора із гнучкими робочими органами суттєво зменшити енерговитрати на процес сушіння загалом.

Розроблено функціональну схему сушарки. Розраховано параметри процесу сушіння. Представлено конструкцію кріплення агрегату до мотоблоку.

Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 19 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 56 сторінках, містить 25 рисунків і фотографій, 1 таблицю.

ABSTRACT

The qualifying master's thesis on the topic: "Investigation of the process of inter-row cultivation of row crops with the improvement of a row cultivator to a walk-behind tractor" presents a solution to the scientific and applied problem of growing row crops on small plots using a walk-behind tractor as an energy tool.

The field of application of this research can be the operation of inter-row cultivation of row crops in farms, in particular fruit and vegetable products. The application of the proposed technology and the developed finger cultivator with flexible working bodies will significantly reduce energy costs for the drying process in general.

A functional diagram of the dryer has been developed. Parameters of the drying process are calculated. The design of attaching the unit to the walk-behind tractor is presented.

The qualifying master's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of used sources from 19 titles and 2 appendices. The main part is laid out on 56 pages, contains 25 drawings and photos, 1 table.

ВСТУП

До застосування гербіцидів прополка була незамінною операцією механічного знищення бур'янів на полях, засіяних кукурудзою або цукровим буряком. Використання цієї операції поступово зменшувалося з розвитком хімічних препаратів. В даний час прополка стає все більш поширеною у зв'язку із законодавчими заходами та змінами у використанні хімічних препаратів.

Міжрядна культивуація найчастіше використовується на полях кукурудзи, соняшнику або цукрових буряків, проте вона також стає популярною для проведення прополювання олійного ріпаку та сої. У найближчому майбутньому прополка використовуватиметься як метод механічного знищення бур'янів також на полях із зерновими культурами, які сіятимуться з ширшим міжряддям, або у дворядних системах із смуговою обробкою ґрунту.

Прополка покращує надходження поживних речовин у ґрунт та стан рослинності. У разі кукурудзи прополка значно впливає на збільшення надземної біомаси. Міжрядне розпушування має ефект прополювання, що знижує необхідність використання гербіцидів і відповідає тенденціям екологічного землеробства.

Актуальність дослідження. Єдиний спосіб видалити бур'яни з посівів - це механічно усунути їх за допомогою культиватора. Міжрядна обробка ґрунту також захищає ґрунт. Розпушений шар ґрунту в міжряддях запобігає швидкому дренажу поверхневих вод і знижує ризик водної та повітряної ерозії. Під час культивації можна вносити рідкі або тверді добрива, покращуючи таким чином загальний стан насадження. Механічне знищення бур'янів – один з способів зекономити значні фінансові засоби, що витрачаються на хімічні препарати. У зв'язку з цим покращення процесу міжрядного обробітку та зменшення енергоємності цієї операції необхідно досліджувати процес роботи пальчикового культиватора у міжрядді.

Мета роботи – підвищення ефективності та зменшення енергоємності процесу обробітку міжряддя просапних культур шляхом вибору раціональних параметрів пальчикового культиватора з врахуванням фізико-механічних властивостей ґрунту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати відомі технології вирощування просапних культур, виокремити перспективні напрямки розвитку засобів обробітку міжряддя у агрегуванні з мотоблоком;
- встановити перелік факторів, що найбільш суттєво впливають на роботу міжрядного пальчикового культиватора, задля забезпечення якісного виконання технологічної операції;
- дослідити ґрунт як об'єкт обробки;
- обґрунтувати раціональні параметри та режими роботи пальчикового міжрядного культиватора з гнучкими робочими органами, що агрегується з мотоблоком.

Об'єкт досліджень. Процес ґрунтообробітку міжряддя, що виконується пальчиковим культиватором, при агрегуванні з мотоблоком.

Предмет дослідження. Закономірності процесу роботи міжрядного культиватора залежно від фізико-механічних властивостей ґрунту та механізм кріплення культиватора.

Методи та способи вирішення задачі. Вирішення поставлених завдань проведено з використанням як стандартних, так і розроблених методів досліджень із застосуванням класичних підходів до дослідження механізмів і машин, обробки даних на ЕОМ. Робота включає теоретичні та експериментальні дослідження. Достовірність основних положень роботи перевірялася під час лабораторних експериментів, що проводяться за загальноприйнятими методиками.

Наукова новизна одержаних результатів.

- набули подальшого розвитку відомі методи досліджень засобів міжрядного обробітку просапних культур;
- запропоновано методика обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та визначення споживаної потужності при роботі пальчикового культиватора;
- вдосконалено та модернізовано технологічну операцію міжрядного обробітку ґрунту, що полягає у встановленні спеціалізованого пальчикового культиватора із гнучкими елементами, що дозволяє більш якісно проводити операцію знищення бур'янів у міжрядді, якісне рихлення ґрунту та окучування рослин.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані результати досліджень можуть бути використані при вдосконаленні обладнання для міжрядного обробітку просапних культур з використанням мотоблоку як енергетичного засобу у невеликих фермерських господарствах чи присадибних ділянках.

Апробація роботи. Основні положення виконаних досліджень обговорювались на III студентській конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні» факультету аграрних технологій та екології Луцького національного технічного університету (2023р.).

Структура й обсяг роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 19 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на **63** сторінках, містить 25 рисунків, 1 таблицю.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Огляд технологій вирощування просапних культур

Просапні культури (від просапної – призначений для просапки міжрядь), оброблювані рослини, для зростання та розвитку яких необхідні великі площі живлення та міжрядні обробки ґрунту. Сюди відносять технічні культури (цукровий буряк, соняшник, тютюн, бавовник), кормові (топінамбур, кормова капуста), зернові (кукурудза, гречка, сорго), картопля та більшість овочевих культур (капуста, томат, морква). Їх сіють переважно насінням або висаджують розсадою широкорядним та стрічковим способами. Ширина міжрядь становить 45-90 см і більше, що дозволяє в період вегетації рослин вести обробіток ґрунту в міжряддях і знищувати бур'яни, розпушувати ґрунт, покращувати його аерацію, сприяти активізації аеробних мікробіологічних процесів та забезпечувати сприятливі умови харчування рослин. При обробітку просапних культур ґрунт протягом майже всього вегетаційного періоду залишається пухким, що сприяє підвищенню активності ґрунтової мікрофлори та накопиченню у верхніх шарах ґрунту розчинних форм поживних речовин. Просапні культури відрізняються великим виносом з урожаєм азоту та зольних елементів, тому їх обробляють, як правило, при внесенні високих доз органічних та мінеральних добрив, післядія яких може зберігатися кілька років [1-3].

Просапні культури є хорошими попередниками для ярих зернових культур (у т. ч. круп'яних та зернобобових), льону. За ступенем висушування ґрунту розрізняють дві групи П. до. – культури, що сильно висушують ґрунт (цукровий буряк та соняшник), та культури, що менш висушують ґрунт (картопля та кукурудза). Завдяки біологічним особливостям різних культур однієї групи, в т. ч. просапних, на одному полі можна кілька років поспіль вирощувати бавовник і кукурудзу або значно частіше повертатися з тією ж культурою на колишнє поле (цукровий буряк, картопля). Це дозволить значно збільшити виробництво продукції у разі зростання посівних площ. Тому бавовну обробляють у повторних посівах протягом 5–6 років, а кукурудзу за високої загальної агротехніки – 3–4 роки. На посівах бобових просапні культури

(кормових бобів, сої) завдяки діяльності бульбочкових бактерій у ґрунті накопичується азот, який ефективно використовується наступними культурами. Кукурудза на силос, кормові боби, ранні сорти картоплі є хорошими попередниками для озимої пшениці, а цукровий буряк та картопля – для ячменю. Позитивний вплив багатьох просапних культур є як попередників. Деякі просапні культури можуть оброблятися як просапні з широкими міжряддями (гречка, кормові боби, просо), так і при посіві звичайним рядовим посівом з міжряддями 15 см. Широкорядним способом закладають насінники багаторічних трав (конюшини, люцерни, багаття безостого), що сприяє підвищенню врожайності та якості одержуваного насіння. Просапні культури обробляють з внесенням підвищених доз органічних добрив, а на полях з ухилом більше 3° обмежують обробіток таких культур або проводять спеціальні протиерозійні заходи [1-3].

1.2. Особливості вирощування просапних культур

Просапні культури - одна з найбільших груп сільськогосподарських рослин, що отримала свою назву через особливості використовуваної в обробці агротехніки. Спецтранспорт застосовується для неодноразової просапки міжрядь у вегетативний період. Для такої обробки їх висаджують широкими рядами або квадратами або квадратно-гніздовим способом. Розглянуті культури належать до інтенсивної групи. Це означає, що для високої врожайності сільськогосподарським підприємцям доводиться вносити набагато більше добрив, ніж для інших рослин, що висаджуються у спосіб. Для їхнього вирощування також потрібна поливальна система [4,5].

Рослини просапного виду представлені досить знайомими овочами, у тому числі морквою, картоплею, капустою або томатом, а також зерновими культурами, до яких належать гречка, просо, квасоля та кукурудза. У сільському господарстві також актуальним є вирощування технічних рослин, наприклад, бавовнику або тютюну. Ще один приклад – кормові, серед яких коренеплоди та відповідна капуста. Більшість культурних рослин, що належать до цієї групи, є пізно-яровими. Це дозволяє провести

багаторазову обробку ґрунту для знищення дрібних бур'янів ще до посівної кампанії. Аналогічно стримується поширення багаторічних некультурних рослин. Такі заходи можна проводити за допомогою спеціальної техніки і після посіву. Це можливо, поки не зімкнулися рядки. По ефективності розглянуті рослини знаходяться близько до чистої пари [4-6]. Це обумовлено наявністю кількох властивостей:

- зменшення чисельності бур'янів при кожній сівбі;
- накопичення поживних компонентів у орних шарах.

Тому фахівці, які працюють у сільськогосподарській галузі, використовують розглянуті рослини у вигляді попередників. Під цим терміном маються на увазі культури, що засіюються до вирощування основних. Йдеться про зернові ярих видів. Під попередниками розуміється пар або культура, що розташовується на території, що засіюється в минулому сезоні. Так, після чистого пару найкраще обробляти озиме жито, а вже після садити просапну культуру, наприклад, картоплю. Участь цього овочу характерна для типової чотиріпільної Норфолкської сівозміни:

- зернобобова культура або трав'яниста рослина з фіксацією азотних компонентів;
- пшениця або жито озимого типу;
- просапна культура. Підійде не тільки картопля, висадити можна також капусту або буряк;
- ячмінь. Висаджується на останньому етапі для відновлення території, що засівається, і наступного запуску циклу.

В основі Норфолкського сівозміни знаходиться принцип чергування суцільного посіву зернової культури з просапними аналогами, що висіваються або засаджуються рядами. Деякі сільськогосподарські виробники воліють використовувати багаторічні трави, у тому числі конюшина. Його засівати потрібно одночасно із попередником, наприклад, ячменем.



Рисунок 1.1 – Поле з просапною культурою

Головний недолік аналізованої групи культурних рослин – велике споживання поживних компонентів. Так, для врожаю буряків (30 т) є актуальними такі дані (на 1 гектар): понад 160 кг азоту; понад 180 кг калію; понад 40 кг фосфору. Для 1 т соняшнику споживання виглядає так (на 1 гектар):

- понад 50 кг азоту;
- понад 90 кг калію;
- понад 15 кг фосфору.

Великі показники споживання калію картоплі – до 300 кг на 1 гектар при врожаї 30 т. Саме тому сільськогосподарські підприємства замовляють послугу внесення мінеральних та органічних добрив у великих дозах під час вирощування культур. У цьому наслідки таких рішень зберігаються кілька сезонів. Ще одна особливість групи рослин – ґрунт, в який проводилася посадка, залишається пухким протягом усього сезону. Це сприяє накопиченню та утриманню вологи від атмосферних опадів, а також активізує ґрунтову мікрофлору. Дається взнаки це на утворенні водних запасів у мертвому шарі після вирощування картоплі. Цікава також глибока коренева система деяких просапних культур, наприклад, у сорго та кукурудзи. Ці рослини споживають велику кількість рідини, одержуючи її із ґрунту. Не маючи схожої «підземної»

системи, до рослин з високим водоспоживанням також належать соняшник та буряк. Збирання просапних культур відбувається за допомогою спеціальної техніки, у тому числі комбайнів. Вартість такого спецтранспорту досить висока, тому підприємці воліють орендувати машини для сезонної експлуатації, а не формувати власний парк [7-9].



Рисунок 1.2 – Міжрядний обробіток

1.3. Міжрядний обробіток на невеликих земельних ділянках

Процес обробітку будь-якої сільськогосподарської культури обов'язково передбачає проведення культивування ґрунту. Ранньою весною перед посівом або посадкою сільськогосподарських культур проводять суцільну культивування ґрунту. Призначення такої культивування полягає в передпосівній підготовці ґрунту, тобто в якісному розпушуванні верхнього родючого шару ґрунту зі знищенням бур'янів, збереженні вологи у ґрунті та насиченні його повітрям. Іншими словами, проведення такої культивування забезпечує кращі умови для висіву насіння та його проростання. Також суцільну культивування проводять на початку осені перед посівом озимих культур та влітку під час догляду за парами. просапні сільськогосподарські культури вимагають додаткової культивування міжрядь у процесі росту рослин.

Мета міжрядної обробки у знищенні бур'янів у міжряддях та розпушуванні там ґрунту для збереження вологи та насичення ґрунту повітрям, що має велике значення у процесі зростання просапних культур. Для культивації використовуються спеціальні сільськогосподарські машини, звані культиваторами для мотоблоків. Ці агрегати, з урахуванням їх призначення, поділяються на агрегати для суцільної культивації та обробки міжрядь просапних культур.

Оскільки культиватори для мотоблока є самохідними машинами, то проведення робіт їх агрегатують з різними силовими агрегатами. Найбільш популярним вищезгаданим агрегатом для приватних господарств України є мотоблок. Тому культиватори для мотоблоку, що навішуються на мотоблок, будуть називатися мотоблоковими.

Культиватори суцільної обробки для мотоблоку забезпечують передпосівну підготовку ґрунту. Як правило, таку культивацію проводять після оранки, весняної чи зяблевої. З урахуванням конструкції мотоблочні культиватори суцільної обробки для мотоблоку можна поділити на три основні групи [7-9].

До першої групи входять стандартні навісні культиватори для мотоблока, робочими органами яких є стрічасті або пружинні лапи. Основою конструкції такого культиватора буде металева рама, на якій кілька рядів рівномірно кріпляться робочі органи. Культиватор для мотоблоку має ширину захвату 1.0-1.25 м та навішується на важкі потужні мотоблоки.



Рисунок 1.3 – Навісний культиватор мотоблока першої групи

До другої групи мотоблочних культиваторів необхідно включити активні ґрунтофрези, такі, як у важких мотоблоків з водяним охолодженням. Привод таких фрез здійснюється від валу ВОМ або від КПП мотоблока, ширина захоплення активних ґрунтофрез становить від 0.8 до 1.2 м. Такі фрези зручні в роботі та виробляють найбільш якісну передпосівну підготовку ґрунту.

Третя група культиваторів суцільної обробки для мотоблоків включає розбірні металеві фрези для мотоблоків з повітряним охолодженням мотора. Це найпоширеніший вид культиваторів для мотоблоків. Під час роботи вони встановлюються на мотоблок замість ходових коліс. При роботі з таким ґрунтофрезою необхідні деякі навички та фізичні зусилля, особливо для початківців власників мотоблоків. Ширина захвату таких фрез від 0.6 до 1.5 м, і вони роблять досить якісну підготовку ґрунту під посів. Крім того, при необхідності ширину обробки таких фрез можна змінювати [7-9].

Культиватори для мотоблоків застосовуються в період росту рослин просапних культур для знищення бур'янів та розпушування ґрунту у міжряддях цих культур. Найбільш поширеними є культиватори із двома або трьома робочими секціями.

Їжачки для мотоблока агрегують з важкими і потужними мотоблоками і за один прохід роблять обробку двох або трьох міжрядь. Кожна секція у таких культиваторів складається з трьох робочих органів: стрілкової лапи, яка встановлюється посередині секції і виробляє обробку середини міжряддя і лівого та правого ножів, що врізаються по краях секції і проводять обробку поряд з рослинами просапних культур



Рисунок 1.4 – Культиватор типу «Їжак»

Так як відстань між секціями і ширину захоплення кожної секції можна змінювати, такий культиватор буде універсальним і може обробляти міжряддя різних просапних культур.

Для приватних господарств України найбільш поширеною просапною культурою буде картопля, яку вирощують у всіх регіонах та у великій кількості.

Іншим видом культиваторів міжрядної обробки для мотоблоків буде культиватор, званий у народі їжачком. Дві робочі секції на поперечній зчипці проводять обробку двох міжрядь.

Робочими органами таких секціях будуть металеві шипи, приварені на трьох металевих кільцях різного діаметра. При русі мотоблока секції обертаються, металеві шипи розпушують ґрунт і видаляють бур'яни в міжряддях, що обробляються.

Культиватори суцільної та міжрядної обробки розширюють функціональні можливості мотоблоків, найперших помічників українських селян. Культивація-це технологічна операція обробки сільськогосподарських ґрунтів, що полягає в розпушуванні та вирівнюванні верхнього шару ґрунту.

Розрізняють 2 види культивацій: суцільна та міжрядна. Першу проводять на початку весни або на початку осені. Крім розпушування та вирівнювання ґрунту, забезпечується збереження вологи та ліквідація бур'янів. Обробку культиватором міжрядь проводять наприкінці весни, на початку літа, після появи сходів просапних культур. Відповідно, сільськогосподарські знаряддя щодо культивації ґрунту називаються культиваторами для суцільної і міжрядної обробки. Такі культиватори, які агрегатують із мотоблоками, будуть називатися мотоблочними культиваторами [7-9].

Не всі мотоблоки можуть працювати з культиваторами суцільної обробки. Для цього підходять потужні мотоблоки з високим тяговим зусиллям з огляду на фізико-механічні властивості ґрунту.

1.4. Висновки, мета та завдання дослідження

З аналізу літературних джерел, даних досліджень та агропрактики сільськогосподарських підприємств можна зробити такі висновки:

1. технології вирощування сільськогосподарських культур з міжрядним обробітком посівів є одними з найбільш поширених у агровиробництві країни і потребує постійного удосконалення технічних засобів для їх реалізації;

2. на сьогодні просапні культиватори досить широко представлені вітчизняними розробниками (ВАТ «Червона Зірка» (КРНВ-4,2-04, КРНВ-5,6-04), ВАТ «Галещина машзавод» (КП-5,6 «Козак Процюк»), ВАТ «Ірпіньмаш» (КУН-8,1), так і виробниками закордонними (Kulticrop, Sfoggia Thema, Row Crop Harriston). Культиватори комплектуються різними змінними робочими органами, які залежно від структури і фізико-механічних властивостей ґрунту, а також біологічної особливості культури дають можливість якісно виконувати міжрядний обробіток посівів та знищення бур'янів;

3. у дрібнофермерських господарствах та для обробітку присадибних ділянок може бути використано мотоблок (мототрактор) як енергетичний засіб приводу просапних культиваторів;

4. продуктивність виконання міжрядного обробітку залежить від багатьох факторів, але визначальним є фізико-механічні властивості ґрунту (пластичність, зв'язність, твердість), урахування яких дозволяє правильно налаштовувати робочі органи та режими роботи культиватора.

Проведений аналіз стану питання дозволив, відповідно до поставленої мети, визначити та сформулювати завдання досліджень:

- проаналізувати відомі технології вирощування просапних культур, виокремити перспективні напрямки розвитку засобів обробітку міжряддя у агрегуванні з мотоблоком;

- встановити перелік факторів, що найбільш суттєво впливають на роботу міжрядного пальчикового культиватора, задля забезпечення якісного виконання технологічної операції;

- дослідити ґрунт як об'єкт обробки;
- обґрунтувати раціональні параметри та режими роботи пальчикового міжрядного культиватора з гнучкими робочими органами, що агрегатується з мотоблоком.

РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПАЛЬЧИКОВОГО КУЛЬТИВАТОРА

2.1. Пошук шляхів ефективного вирощування просапних культур

Україну дедалі частіше називають аграрною країною. Втім, це закономірно, оскільки аграрна галузь виробляє все більше національного ВВП, що дає валютний виторг, який зміцнює позиції гривні на валютному ринку країни. Лише за період із 2005 по 2018 р. українські сільгоспвиробники збільшили врожайність «цариці полів» з 43,2 до 73,8 ц/га. За рахунок чого було досягнуто таких результатів, які ж фактори дозволили отримати збільшення до врожайності.

Безперечно, отримані результати базуються на досвіді сільгоспвиробників, отриманому протягом усіх цих років. Вони свідчать про всі перемоги та невдачі, з якими стикалися сільгоспвиробники на власних полях. Також слід зазначити, що останнім часом аграрії різних країн і навіть континентів почали активно обмінюватись досвідом. Серйозно оновилася матеріально-технічна база більшості підприємств, великий прорив спостерігається у селекції та у роботі компаній із виробництва засобів захисту рослин. І зараз перед нами постало безліч питань. Як виготовляти більше? Як розкрити весь потенціал урожайності насіння без збільшення собівартості продукції? Це головні виклики сільському господарству, оскільки ринок дуже динамічний і дідівські методи можуть знизити конкурентоспроможність виробленої продукції, або навіть призвести до банкрутства.

У сучасній агрономії чітко сформована позиція щодо вибору оптимальної глибини посіву: ґрунт сухий – потрібно сіяти глибше, чим менше розмір насіння, тим менша глибина загортання насіння тощо. А як же справи з вибором оптимального тиску на сошник? Відомо, що при недостатньому тиску на сошник існує високий ризик вертикальних коливань секцій, що висівають, де згодом отримуємо нерівномірну глибину загортання насіння і розкладку в ряду. З іншого боку, при надмірному тиску підвищується ризик надмірного ущільнення насіння і, як наслідок, стресу для рослин, що, знову ж таки, виявляється у недоборі врожаю. Як визначити

правильний тиск? Встановити 50 кг... чи 150? А може, й усі 300 кг? Однозначного рішення немає. Даний параметр динамічний і на межі одного поля може змінюватись в залежності від структури ґрунту, якості та технології підготовки поля під посів, смуг для розвороту та ще безлічі факторів, які можуть вплинути на щільність ґрунту на конкретній ділянці ґрунту.



Рисунок 2.1 - Вплив глибини загортання насіння в ґрунт на проростання та розвиток проростків

Навіть за умови ідеальної підготовки ґрунту та повної однорідності по всьому полю, всі ми стикаємося з проблемою колії після трактора. Найпопулярніший і затребуваний у польових роботах трактор потужністю понад 300 л. с. Ці трактори зазвичай мають ширину профілю 710 мм, при цьому найбільш поширене міжряддя в Україні – 700 мм. У результаті на полі чотири секції, що йдуть за колесами трактора (дві за правим та дві за лівим), рухаються більш ущільненою ділянкою. Таким чином, для витримування заданої глибини посіву потрібно більше прорізне зусилля. Яке рішення може ухвалити агроном у цьому випадку? Встановити оптимальний тиск у секціях за колесами трактора чи витримати оптимальний тиск на всіх інших секціях? Як показує практика, завжди обирають перший варіант, оскільки при посіві на недостатній глибині або взагалі на поверхні поля шанси на отримання сходів без дощу мінімальні.

Висіявши насіння на неоднорідну глибину і в різний за вологістю ґрунт, ми ризикуємо отримати недружні сходи. Крім того, що це вже недобір по врожаю, дані ситуації ставлять агрономічну службу в складне становище: за різних стадій розвитку рослин дуже складно, а іноді взагалі неможливо застосовувати ЗЗР.

Дослідницький відділ компанії Horsch не один рік вивчав питання дружності сходів та рівномірного закладення насіння. З німецькою педантичністю співробітники компанії досліджували важливість глибини та тиску накопчення під час посіву. В результаті з'явилася система автоматичного довантаження секцій Autoforce, що висівають, яка широко застосовується на всьому модельному ряді просапних сівалок Maestro.

Суть цієї системи полягає в тому, що за допомогою набору тензодатчиків сівалка в режимі реального часу зчитує тиск опорних коліс секцій, що висівають, на ґрунт. Якщо секція потрапляє в більш ущільнений ґрунт (поточного тиску недостатньо для прорізування сошником, що висіває, і для забезпечення заданого тиску на опорні колеса), система з високою швидкістю і точністю реагування через гідравлічний циліндр (встановлений на кожній секції) створює додатковий тиск, тим самим витримуючи цю глибину та силу притиску секції. У разі легких ґрунтів спостерігається зворотний процес – система автоматично скидає тиск до оптимальних параметрів.

На вибір пропонуються декілька контурів:

- 1 контур: на всі секції, що висівають, виставляється усереднений тиск;
- 2 контури: один контур відповідає за тиск за колесами трактора (4 секції, що висівають), а другий – за крила інших висівних модулів;
- 3 контури: колеса трактора, праве та ліве крило;
- 4 контури: колеса трактора, праве та ліве крило та секції між колесами трактора.

2.2. Роль міжрядного обробітку просапних культур в боротьбі з шкідниками

Останні 10 років фітосанітарний стан посівів сільськогосподарських культур в Україні загострився. Багато в чому це пов'язано з підвищенням темпів розмноження

всеїдних шкідників - совок, що підгризають (озима, дика, пшенична та ін.), Травневого та червневого травневих жуків (личинки), коваликів (личинки - дротяники), чорників (личинки - несправжні дротяники). Зростає і щільність хлібних жуків, личинки яких розвиваються у ґрунті, зокрема у посівах просапних культур. Внаслідок шкідливої діяльності названих фітофагів мають місце значні недобори врожаїв культур, що вирощуються. З огляду на зазначене захист посівів від шкідливих об'єктів є важливим резервом для отримання додаткової продукції рослинництва.

Серед багатьох факторів погіршення фітосанітарного стану полів найважливішим є тяжкий стан справ у сільському господарстві. Так, через брак коштів і водночас нестачу техніки, пального та пестицидів у господарствах технологія рослинництва часто зводиться до абсурдного мінімуму - якимось зорати, чимось засіяти, щось зібрати. При цьому захисні заходи здійснюються у вкрай недостатніх обсягах або ігноруються. Але ж треба зрозуміти, як використовувати з максимальною користю те, що маємо.

Захисні заходи мають плануватись як складові технології вирощування високих урожаїв культур. Важливими її елементами є вміст ґрунту в пухкому стані, боротьба з бур'янами, захист посівів від шкідників та хвороб тощо. На посівах просапних культур (кукурудза, цукрові буряки, соняшник) певною мірою цього можна досягти, здійснюючи міжрядні обробітки ґрунту. У чому полягає роль цього заходу в обмеженні розвитку шкідників?

Терміни проведення міжрядних обробок просапних культур в Україні зазвичай припадають на другу половину травня – першу половину червня. У цей період заляльковуються хлібні жуки, а місцями травневий та червневий травневі жуки, масово розвиваються бур'яни. У засмічених посівах інтенсивно розмножуються озима та інші підгризаючі совки, а також найкращі умови для свого розвитку знаходять дротяники і несправжні дротяники.

При міжрядних культивуваннях просапних культур відбувається "вичісування" бур'янів, внаслідок чого совки, дротяники та несправжні дротяники позбавляються кормової бази. Лялечки хлібних жуків і хрущів з ніжним незатверділим покривом

дуже чутливі до механічних пошкоджень і при обробітку ґрунту на глибину лялькування масово гинуть. При міжрядному розпушуванні активізується діяльність корисних комах, а винесених на поверхню шкідників поїдають птиці.

Міжрядне обробіток пізніх низькорослих посівів просапних культур у липні під час лялькування та літа метеликів підгризаючих совок, поряд з агротехнічними, також певною мірою сприяє вирішенню проблем боротьби зі шкідниками.

Таким чином, при пошарових культиваціях просапних культур створюються кращі умови для розвитку рослин, і одночасно значно обмежується чисельність деяких небезпечних шкідників полеводства - хлібних жуків, хрущів, травних совок, дротівників, несправжніх дротівників та ін. Це дає можливість отримати певну частину додаткової продукції, а також зберегти в чистоті довкілля.

2.3. Аналіз впливу твердості ґрунту на агротехнічні прийоми міжрядної обробки

Ґрунт виконує низку глобальних біосферних функцій, насамперед, за рахунок унікальної властивості – родючості. Фізичні показники мають великий вплив на родючість і стійкість ґрунту до деградації. На думку науковців [10], фізичні властивості ґрунту – це матриця її родючості, на якій протікають усі фізико-хімічні процеси, розвиток кореневих систем, поглинання поживних елементів. Дослідження багатьох вчених підтверджують той факт, що залучення цілинних земель у тривале сільськогосподарське використання наводить до погіршення агрофізичних властивостей ґрунту [10-13].

На сучасному етапі розвитку агровиробництва інтерес до агрофізичних властивостей ґрунту обумовлений, з одного боку, тим, що інтенсивні та високоінтенсивні системи землеробства вимагають створення сприятливих умов її водно-повітряного режиму. З іншого боку, освоєння високопродуктивної великовагової техніки та нові технологічні принципи обробітку ґрунту пред'являють певні вимоги до фізичних її властивостей.

Твердість ґрунту (опір penetрації) є важливим виробничим показником, за

допомогою якого характеризують фізико-механічні властивості – опір ґрунту росту коренів або опір, який потрібно подолати ґрунтообробному робочому органу у процесі її обробки.

Вивченням твердості ґрунту, як фізичного показника, займалися багато вітчизняних та іноземних дослідників [7, 9-11]. Автори зазначають, що твердість ґрунту – незамінний показник для оцінювання умов проростання насіння та їх розвитку на перших етапах онтогенезу, в тому числі здатності кореневих волосків освоювати як міжагрегатний та внутрішньоагрегатний простір. Показник твердості дозволяє встановити не тільки міцність грудки, а й якість оранки, причому таку оцінку практично не можна отримати, використовуючи традиційний показник – густина складання. Показник твердості ґрунту можна буде широко використовувати у точному землеробстві.

Riedell W.E. [10] встановив, що якщо ґрунт не обробляється (нульова технологія), твердість зростає, особливо помітно у верхньому шарі, при цьому твердість не перевищує критичного рівня - 20-25 кгс/см² (для ґрунтів середнього гранулометричного складу в умовах Дакоти, США). При мінімальній технології обробки в умовах чорноземної зони ґрунт стає твердим, що створює велике опір зростаючим корінням рослин, важко пропускає вологу, у ній утруднений повітрообмін, відзначається нестача кисню та надлишок вуглекислоти, зрештою все це призводить до погіршення умов харчування та зниження врожайності оброблюваних культур [10-13].

Твердість чорнозему змінюється у великому діапазоні від 3-7 до 50 кгс/см². Науковці пропонують оптимальну величину твердості для початкових стадій розвитку зернових культур при вологості, близької до фізичної вологості стиглості – 5-8 кгс/см². Надалі, в міру розвитку рослин та їх корневих систем, величина твердості 20-25 кгс/см² розглядається як цілком допустима.

У Швеції раніше строкатість урожаю в межах поля найчастіше розглядали як наслідок перерозподілу поживних елементів у ґрунті, проте іноді надзвичайно широкий розкид врожайних даних на полі (від 4,0 до 11,5 т/га зерна) пояснюється варіабельністю твердості ґрунту [10].

Оптимальна твердість верхнього шару чорноземних ґрунтів для зернових культур знаходиться в межах 6-16 кгс/см². Твердість вище 20 кгс/см² несприятлива більшості рослин. Верхньою межею твердості ґрунту для більшості зернових культур, після якого різко погіршуються умови розвитку, слід вважати 15-19 кгс/см², а з погляду зусиль, що витрачаються при оранку, оптимальною є твердість 10-20 кгс/см². Визначення твердості ґрунту в польових умовах є доступним способом отримання інформації про стан орного та підорного горизонтів, тоді як вивчення багатьох агрофізичних властивостей ґрунту трудомістке, а у виробничих умовах нездійсненно.

Тому актуальним є визначення зв'язків між основними агрофізичними показниками, зокрема твердості ґрунту з традиційними та інформативними показниками - щільністю ґрунту та його вологістю.

2.4 Обґрунтування параметрів пальчикового культиватора для обробки міжряддя

Зважаючи на вплив таких факторів як твердість, щільність та вологість ґрунту на процес обробітку міжрядь при вирощуванні просапних культур доцільно приділити увагу розрахунку параметрів такого культиватора, що агрегується з мотоблоком, як енергетичним засобом.

Серед таких культиваторів виділяються роторні пальчикові культиватори. До прикладу можна проаналізувати пальчиковий культиватор типу «Текрон», що зображений на рис.22.



Рисунок 2.2 - Вигляд пальчикового культиватора з гнучкими робочими органами

Культиватор дає змогу видаляти бур'яни безпосередньо в міжряддях, що робить його незамінним при вирощуванні культур, де застосування гербіцидів є неприпустимим і обмеженим. Іншого подібного засобу (інструменту), здатного нищити бур'яни в рядку, просто немає.

Принцип роботи пальчикового культиватора простий. Принцип заснований на дії типу висмикування, яку можна зрівняти з ручною працею. Робочі органи, а саме - гнучкі полімерні пальці обертаються навколо рослин і видаляють бур'яни на стадії білої нитки. Це супроводжується розпушуванням ґрунту, розбиттям кірки та покращенням постачання кисню і поглинанням води. Наявність пружини дозволяє підтримувати механізм в робочому стані незалежно від рельєфу ґрунту.

Такий пальчиковий культиватора матиме найкраще застосування в процесі вирощуванні овочевих культур, таких як: часник, цибуля, капуста, гарбуз, кукурудза, цукровий буряк, соняшнику та інші просапні сільськогосподарські культури.

Агрегат можна застосовувати з різними енергетичними засобами. Це і мотоблок і трактор. Мала маса і вага, специфіка роботи не потребує великих тягових зусиль. Універсальне кріплення дає змогу кріпити його на раму, що виготовлена з профілю зі стороною від 60 до 100 мм.

Неоднакові неоднорідні фізико-механічних властивості ґрунту при роботі культиватора утруднює розрахунок зусилля, що виникає при прикочуванні котка чи ротора. Вілomo, що зусилля кочення колеса було встановлено Гранвуалем, а пізніше підтверджено В.П. Горячкіна. Відповідно, зусилля P для кочення гладкого ролика встановлюється за формулою:

$$P = 0,86 \sqrt[3]{\frac{G^4}{q_0 B D^2}}, \quad (2.1)$$

де G - сила ваги колеса, Н;

B - ширина захвату колеса, см;

D - діаметр колеса, см;

q_0 - коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, Н/см³ ($0,3 < q_0 < 0,5$).

Для ротора, що не є гладким, величина зусилля перекочування буде:

$$P = 0,86 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{q_0 B D^2}}, \quad (2.2)$$

де $k = 1,0 \dots 1,3$ – коефіцієнт додаткового опору деформації ґрунту, яку здійснюють негладенькі елементи котка.

Для суцільних кільчастих котків $k = 1,1 \dots 1,2$, для комбінованих - $k = 1,1 \dots 1,3$.

Для котків, у яких кільця розміщені з відстанню між ними - $k = 1,0$.

Ступінь руйнування структури ґрунту встановлюється глибиною колії заглиблення.



Рисунок 2.3 – Пальчиковий культиватор для обробітку міжряддя на профільній рамі

На базі інформації щодо подібних машин та на основі отриманих розрахунками можна встановити зусилля на перекочування, якщо: $D=450$ мм; $m=15$ кг; $B=460$ мм; $V=3\dots 5$ км/год; максимальна кількість секцій – 4 шт.

$$P = 0,86 \cdot 1,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{(15 \cdot 9,8)^4}{0,5 \cdot 0,46 \cdot 0,45^2}} = 16,4 \text{ Н.}$$

Так як ротор обертається під кутом β , що складає 45° , варто враховувати коефіцієнт поправочний. Для даного випадку це $0,76\dots 1,57$.

Тоді:

$$P = 16,4 \cdot 1,57 = 25,7$$

Звідси, загальне зусилля для усіх чотирьох роторів буде:

$$P_3 = 4P = 4 \cdot 25,7 = 102,8 \text{ Н.}$$

Припускаємо, в якості розрахункового $P=100\text{Н}$.

Так як, що робоча швидкість мотоблоку чи мотокультиватора становить 3...5 км/год, то:

$$N = P_3 v, \quad (2.3)$$

де v - робоча швидкість мотоблоку, м/с.

Остаточно приймаємо $v=5$ км/год = 1,4 м/с.

$$N = 102,8 \cdot 1,4 = 143,9 \text{ Вт.}$$

Відповідно до механічного складу ґрунту, твердості та вологості, питомий тяговий опір дискових агрегатів (при глибині обробітку 6...8 см) складає $k = 1500...2500$ Н/м. Для польових і садових борін (зважаючи на властивості ґрунту), глибини обробітку і кута атаки $k = 2000...3000$ Н/м. Для важких (болотних) борін тяговий опір (глибина обробітку 10...20 см) складає $k = 4000...8000$ Н/м [6].

У даному випадку, зусилля від одного культиватора буде:

$$P=1500 \cdot 0,46=690 \text{ Н.}$$

Для максимальної кількості встановлених пальчикових дисків, відповідно $P=690 \cdot 4=2760$ Н. Тобто $P=2,8$ кН.

Як наслідок, з огляду на розрахунки, доцільно застосовувати для агрегування мотоблок з потужністю не менше 2,8 кН.

Схема механізму кріплення, яка показана на рис. 2.4, можна зобразити розрахунково так, як на рис. 2.5.



Рисунок 2.4 – Вигляд рами пальчикового культиватора

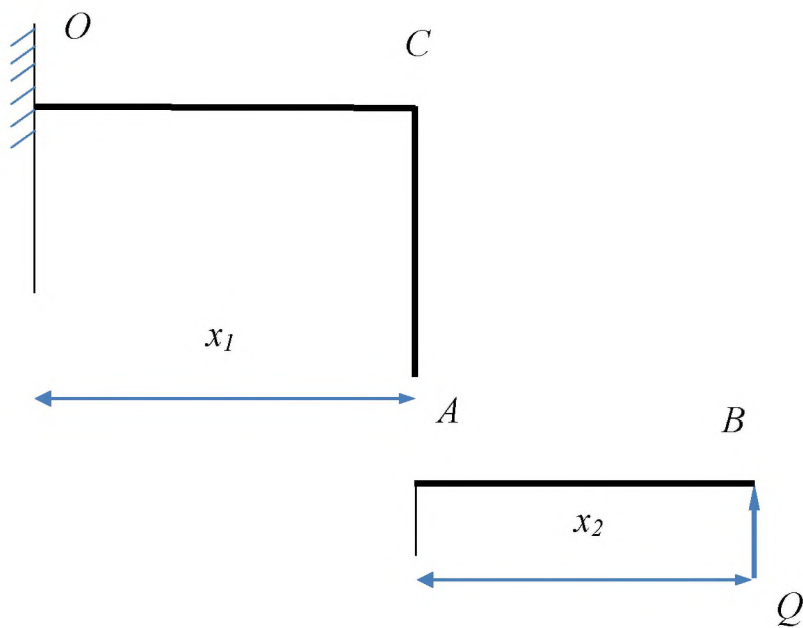


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема навантаження рами культиватора

Виконаємо аналіз відрізка АВ. Реакція в'язі в шарнірній опорі:

$$A = Q = 100 \text{ Н.}$$

Момент в даній опорі:

$$M_A = Q \cdot x_2; \quad M_A = 100 \cdot 0,46 = 46 \text{ Нм}. \quad M_{\max A} = M_A.$$

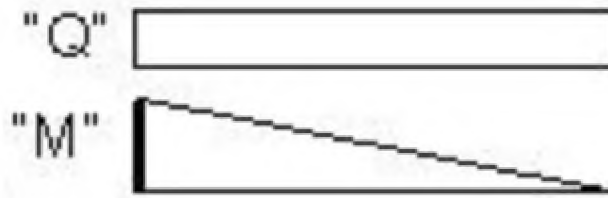


Рисунок 2.6 – Епюра поперечних сил та згинальних моментів на відріжку АВ

Розглянемо аналіз відрізка ОС. Реакція в опорі:

$$C = Q = 100 \text{ Н}.$$

Момент в опорі:

$$M_C = Q \cdot (x_1 + x_2);$$

$$M_C = 100 \cdot (0,35 + 0,46) = 81 \text{ Нм}.$$

$$M_{\max C} = M_C.$$

2.5 Висновки до розділу 2

1. Отримання прогнозованих врожаїв сільськогосподарських просапних культур є можливим за умови чіткого дотримання агротехнологічних умов виконання операцій. Висів насіння на неоднорідну глибину і в різний за вологістю ґрунт, формує ризик отримати недружні сходи, що утруднює їх подальший обробіток.

2. Актуальним є визначення зв'язків між основними агрофізичними показниками, зокрема: твердістю ґрунту, щільністю ґрунту та його вологістю та якістю виконання операції видалення бур'янів з міжряддя пальчиковими робочими

органами. Твердість верхнього шару чорноземних ґрунтів для більшості культур знаходиться в межах 6-16 кгс/см². Твердість вище 20 кгс/см² несприятлива рослин. Верхньою межею твердості ґрунту, після якого різко погіршуються умови розвитку, слід вважати 15-19 кгс/см², а з погляду зусиль, що витрачаються на оранку, оптимальною є твердість 10-20 кгс/см².

3. Для обробітку міжряддя доцільно застосовувати роторно-пальцевий культиватор. Гнучкі робочі органи пальчикового культиватора призначений для внутрішньорядної обробки. Робоча швидкість агрегату в межах 3... 5 км / год. Продуктивність машини становить 0,06... 0,08 га / год.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Твердість ґрунту є інформативним показником, що характеризує її фізико-механічні властивості, а саме опір росту коренів та ґрунтообробних знарядь у процесі їх обробки [9-10]. Перспективним є використання показника твердості для оцінки агрофізичного стану ґрунту перед посівом та якості передпосівної обробки.

Показник твердості широко використовують при вивченні зміни властивостей ґрунтів при впровадженні нульової обробки, у дослідженнях переущільнення ґрунтів під впливом важкої сільськогосподарської техніки [12-13].

Нами проводились дослідження, спрямовані на уточнення відомих агрофізичних параметрів посівного шару ґрунту.

Досягти поставлені завдання можна шляхом проведення ряду експериментів. Мета роботи – визначити твердість посівного шару ґрунту протягом вегетаційного періоду культур задля якісного виконання операції міжрядного обробітку просапних культур з оптимальними агрофізичними параметрами в насінневому, наднасінному та піднасінному шарах для посіву кукурудзи, ячменю та соняшнику, а також оцінити агрофізичний стан ґрунту за цим показником та простежити зв'язок між параметрами її твердості та щільності.

Обробка експериментальних даних проводилась згідно стандартних методик [14-16]. За результатами дослідів підраховувалися:

- середнє арифметичне значення отриманих даних:

$$x_{сер.} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.1)$$

- середня квадратична похибка:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{сеп.}})^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

- середня квадратична похибка середнього арифметичного значення:

$$\sigma = \frac{S_c}{\sqrt{n}}, \quad (3.3)$$

- коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S_c}{x_{\text{сеп.}}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

- похибка досліду:

$$\nu = \pm \left(\frac{S_c}{x_{\text{сеп.}} \cdot \sqrt{n}} \right) \cdot 100\%. \quad (3.5)$$

3.2. Лабораторне обладнання, прилади і апаратура та методика проведення експериментальних досліджень

Ґрунт - це органо-мінеральний шар поверхні земної кори, який містить у собі найбільшу концентрацію поживних речовин, родючість якого є основою життя та розвитку людини та тварини. Проведення тесту ґрунту дозволить віднести земельну ділянку до певної категорії якості, що встановлюється за природними та набутими властивостями, а також визначити ступінь забруднення ґрунту, що впливає на його родючість для певних сільськогосподарських культур.

Об'єкти досліджень є темно-сірі опідзолені важкосуглинисті ґрунти та чорнозем типовий важкосуглинистий. Обидва об'єкти поширені на території України.

Обробку темно-сірого опідзоленого ґрунту виконали традиційним способом культиватором КТС-6 на глибину 6-8 см після осіннього оранки на глибину 22-25 см). Результати порівняли з даними, отриманими в мікропольовому модельному досвіді,

де були штучно сформовані насінневі, наднасінні та піднасінні шари ґрунту з оптимальними агрофізичними параметрами.

Дослідження на чорноземі типовому важкосуглинистому проводили в 2023 році. Передпосівну підготовку ґрунту виконали традиційним культиватором КТС–6 на глибину 6–8 см після осінньої оранки на глибину 22–25 см та експериментальним передпосівним знаряддям. Воно являє собою ґрунтообробний агрегат, який містить раму, щонайменше один культиватор-плоскоріз, виконаний у вигляді леміша з решіткою, що сепарує, стояк, роторний робочий орган з ножами, вісь обертання якого розташована над решіткою, що сепарує. Вісь обертання робочого органу встановлена з можливістю переміщення як у вертикальному, так і горизонтальному напрямках щодо решітки, що сепарує [17]. Таким чином, з допомогою спеціального роторного пристрою здійснюється накопичення структури потрібного розміру, ґрунт розпушується, сепарується та проштовхується через отвори решітки та поміщається на насіння. Регулювати структурний склад у насінневому шарі можна не тільки за допомогою сепарування, але й зміною швидкості обертання ротора: чим більша швидкість обертання, тим інтенсивніше ґрунт піддається подрібненню. Цей спосіб дає можливість досягти такого розміру структури, що відповідатиме розмірам насіння. Тим самим передбачається забезпечити помірно-щільний контакт ґрунту та насіння, гарантувати їх швидке та дружнє проростання.

Моделі посівного шару ґрунту з оптимальними для вирощування кукурудзи параметрами структурного складу було створено вручну на експериментальних мікропольових ділянках. Весь наднасінний шар ґрунту був знятий і просіяний через сита з різними діаметрами отворів. Піднасінневий шар ущільнили дерев'яним маточкою до щільності ґрунту в межах від 1,00 до 1,27 г/см³. На цей шар висівали насіння кукурудзи і прикривали зверху прошарком просіяного ґрунту. Переважний розмір агрегатів у наднасінній частини ґрунту коливався в межах від 1 до 10 мм. Таким чином, були створені оптимальні фізичні параметри у розвиток насіння кукурудзи.

Твердість вимірювали твердоміром конструкції Ревякіна на початку, у середині та наприкінці вегетації культур на ділянці поля 25 × 25 м, на якому вибрали три

ділянки 8×8 м, на кожній з яких, у свою чергу, по краях і у середині вибрали 5 ділянок 1×1 м. Твердість визначали у 10-кратній повторності.

Твердість – властивість ґрунту чинити опір проникненню в нього будь-якого предмета. Вимірюється в $\text{кг}/\text{см}^2$. Висока твердість часто буває причиною зниження схожості висіяного насіння, чинить механічний опір розвитку кореневої системи рослин, є причиною погіршення водного, повітряного і теплового режимів ґрунту. Залежить від механічного і хімічного складу, вологості ґрунту, вмісту гумусу й увібраних основ, від об'ємної маси і структури ґрунту. Для визначення твердості використовують твердоміри [18].

Одним з найбільш широко використовуваних є твердомір Ю.Ю. Ревякіна (рис. 1), що складається з двох напрямних штанг 1, телескопічної штанги 2 зі змінним наконечником 3, пружини 4, планки 8 для кріплення паперу, записуючого пристрою 5, натискних тримачів 6, і папір з графіком. Твердомір має плоский плунжер з робочою поверхнею 1 см^2 , також можна використовувати інші форми плунжерів. Глибина занурення плунжера в ґрунт становить до 40 см, охоплюючи орний і верхню частину підорного шарів, включаючи плужну подошву. Записуючий пристрій пов'язано з пружиною 4. Ланки цього пристрою розраховані таким чином, що олівець переміщається в напрямку осі ОХ на величину занурення штампа і осі ОУ на величину стиснення пружини. Таким чином, на одержуваних за допомогою твердоміра діаграмах по осі ОХ відкладається глибина занурення штампа, а на осі ОУ деформація пружини, пропорційна величині прикладеного зусилля.

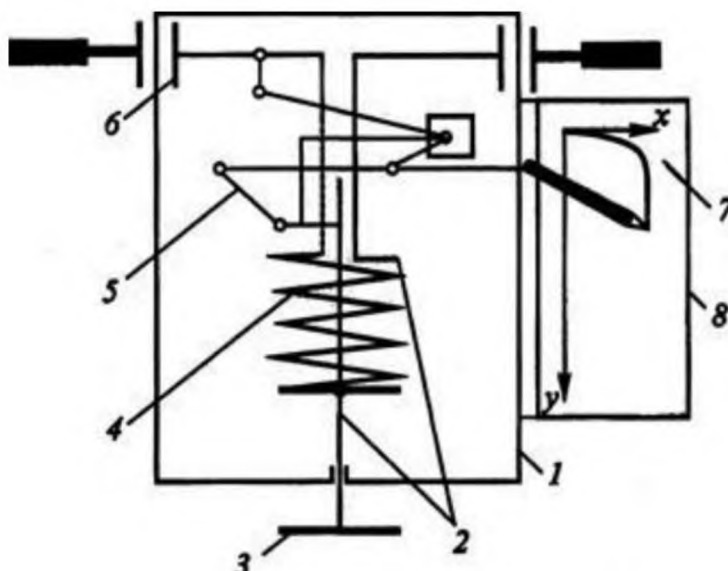


Рисунок 3.1 - Конструктивна схема твердоміра Ю.Ю.Ревякіна: 1 – напрямні штанги; 2 – телескопічна штанга; 3– змінний наконечник; 4 – пружина; 5 – записуючий пристрій; 6 – натискні тримачі; 7 – папір з графіком; 8 – планка для закріплення паперу

Визначення твердості може бути встановлено і іншим чином. Кількісно вона може бути виміряна величиною сили, яку треба затратити для введення в ґрунт плунжера (кульки, циліндра, конуса і т. д.). Вимірюється твердість у $\text{кг}/\text{см}^2$ або кПа за допомогою твердометрів, які розподіляються за принципом заглиблення у ґрунт на ударні та безперервні. До першого типу відносяться конструкції Железнова, Захарова, Волкова та ін., другого - Горячкіна, Качинського, Ревякіна, Голубєва та ін.

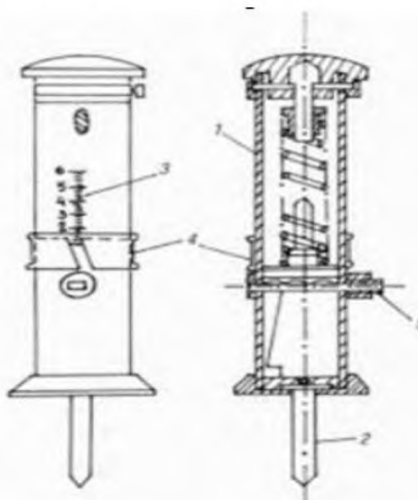


Рисунок 3.2 – Твердомір конструкції Н.А. Качинського: 1 – сталевий корпус приладу, 2 – плунжер, 3 – шкала, 4 – рухоме кільце (показчик), 5 – клямка

Найпоширенішим є метод визначення твердості ґрунту за допомогою твердоміра Ревякіна (рис. 3.3). Основною робочою частиною твердоміра служить плунжер, нагвинчений на нижній кінець штока, який за допомогою рукоятки крізь вимірювану пружину втискується у досліджуваний ґрунт. При цьому вимірювальна пружина стискується пропорційно величині опору ґрунту зминання. Характер заглиблення плунжера різко змінюється, коли він досягає підґрунтя, підорної підшви, дна борозни, або зустрічає каміння, корені дерев'янистих рослин, щільні брили чи пустоти в горизонтах ґрунту.

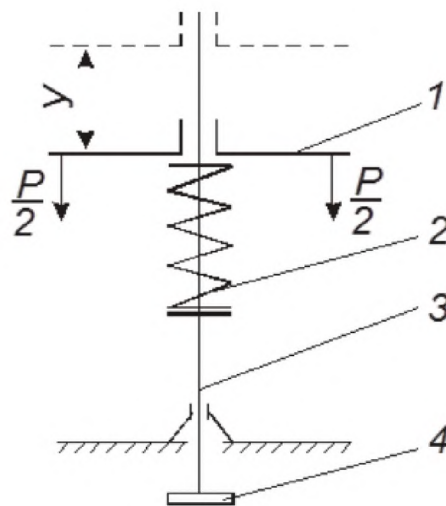


Рисунок 3.3 – Схема твердоміра Ревякіна: 1 – ручка, 2 – пружина, 3 – штанга, 4 – наконечник

Твердомір має самописець для записів вимірювання величин зв'язаності ґрунту. Можлива довжина ортогональної діаграми 30 см відповідає робочому ходу штока у глибину. При цьому абсциса діаграми безпосередньо відповідає сантиметрам глибини ґрунтових горизонтів, а ордината – величині стиснення пружини в мм. Для отримання величини опору ґрунту $P1$ кг на плунжер у кожному горизонті його занурення (1, 5, 10, 15, 20, 25 і 30 см) потрібно виміряти в мм відповідну даному горизонту ординату діаграми (h) і помножити її величину на калібр вимірювальної пружини (n) кг/мм.

Тоді загальний опір ґрунту на плунжер буде дорівнювати $P_1 = h \cdot n$, а твердість ґрунту відповідно:

$$T = \frac{h \cdot n}{S} = \frac{P_1}{S},$$

де P_1 — опір ґрунту на плунжер, кг;

S — площа плунжера, см^2 .

Оцінку твердості ґрунту проводять згідно шкали, запропонованої Н.А. Качинським (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Шкала твердості ґрунту за Н.А. Качинським

Твердість ґрунту		Стан ґрунту
кг/см ²	кПа	
<10	<1,0	Пухкий
10—20	1,0—2,0	Середньопухкий (пухкуватий)
20—30	2,0—3,0	Ущільнений
30—50	3,0—5,0	Щільний
50—100	5,0—10,0	Дуже щільний
>100	>10,0	Злитий

Питомий опір ґрунту – це відношення зусилля, яке витрачається на підрізання, обертання і тертя скиби об робочу поверхню знаряддя до площі її поперечного перетину. Вимірюється в кг/см^2 або кПа.

За величиною питомого опору розраховують сумарне тягове зусилля при обробітку. При цьому користуються формулою:

$$P = K \cdot a \cdot b,$$

де K – питомий опір ґрунту, кг/см^2 ;

a – глибина оранки, см;

b – ширина захвату, см.

Звичайно, питомий опір ґрунту при обробітку визначають динамометрично, що складно і потребує багато часу та праці. Простіше виконати розрахунки за показниками твердості ґрунту, наприклад, за рівнянням О. П. Оганесяна:

$$K = S P_1 \cdot n \cdot 0,052$$

де K — питомий опір ґрунту, кг/см^2 ;

n – коефіцієнт тертя;

P_1 – опір ґрунту на плунжер, кг;

S – площа плунжера, см^2 ;

0,052 – перевідний коефіцієнт.

Якщо прийняти n за 1, врахувати, що $P_1 : S = T$, то рівняння набуде такого вигляду:

$$K = T \cdot 0,052 \text{ кг/см}^2 .$$

Тому сумарне тягове зусилля при обробітку можна розраховувати за формулою:

$$P = 0,052 \cdot T \cdot a \cdot b.$$

Для запису діаграм твердості ґрунту можуть використовуватись Твердоміри різних типів, як вже зазначалось раніше. Серед найпоширеніших – твердомір Ю. Ю. Ревякіна.

Твердомір Ю. Ю. Ревякіна (рис. 3.4) складається з двох напрямних штанг 1, телескопічної штанги 7 зі змінними наконечниками 9, пружини 2, планки 6 для кріплення паперу, що записує пристрої 4 та натискних рукояток 3. Записуючий пристрій пов'язано з пружиною 2. Ланки цього пристрою забезпечують переміщення олівця по вертикалі на величину занурення штамп у ґрунт, а по горизонталі – на величину стиснення пружини.

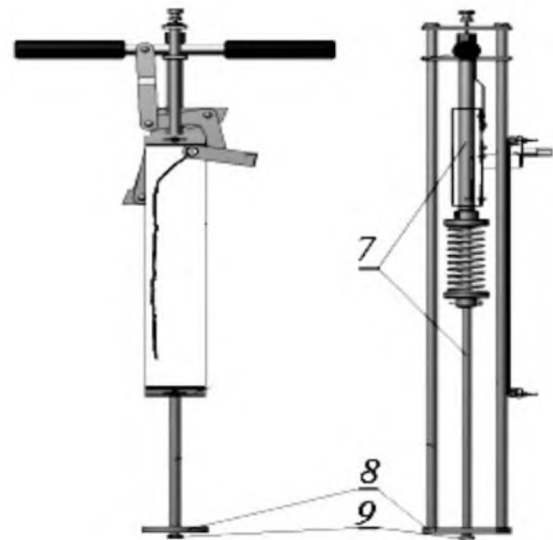
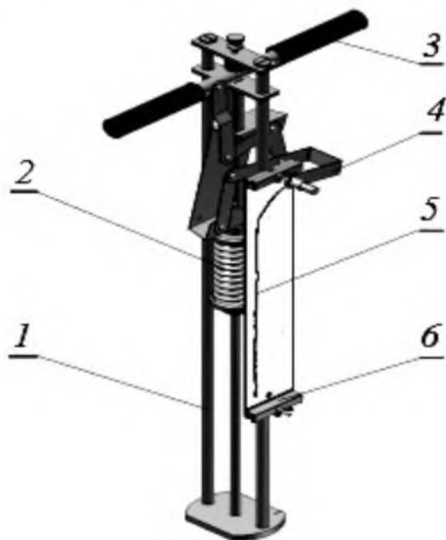


Рисунок 3.4 - Загальний вигляд твердоміра Ю. Ю. Ревякіна: 1 – штанга напрямна; 2 – пружина; 3 – рукоятка; 4 - пристрій записуючий; 5 – діаграма; 6 – планка для паперу; 7 – штанга телескопічна; 8 – основа; 9 – наконечники змінні

Для запису діаграми твердості ґрунту необхідно:

- закріпити міліметровий папір на панелі твердоміра;
- провести на міліметровому папері лінію нульової позначки;
- встановити прилад на поверхню ґрунту та зробити вдавлювання деформатора до появи на міліметровому папері вертикальної лінії, що відповідає межі несучої здатності ґрунту.

Із заданою повторністю записати діаграми твердості ґрунту та підготувати їх до обробки:

- на кожній діаграмі (рис. 3.5) позначити точку A та її координати;
- розділити абсцис h_A кожної діаграми на k ділянок ($5 \dots 7$);
- із середини кожної ділянки відновити перпендикуляри до перетину з графіком діаграми у проміжку OA .

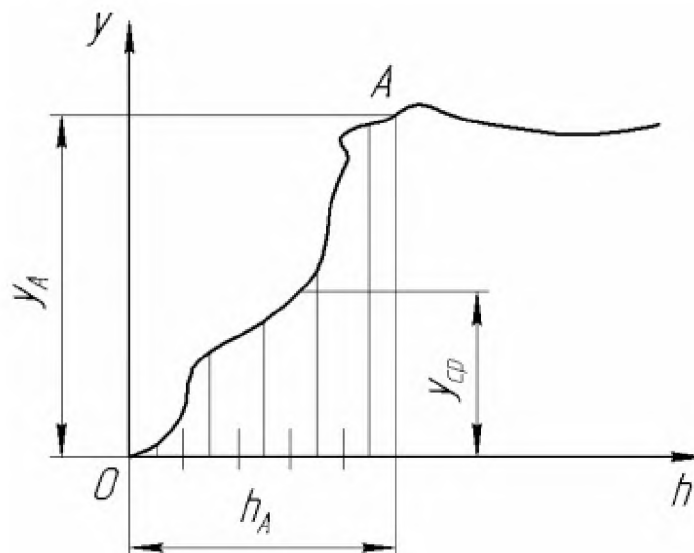


Рисунок 3.5 - Діаграма твердості ґрунту при підготовці до обробки

Для визначеності твердості ґрунту можна використовувати і інші засоби, зокрема твєрдомір (пенетрометр) ЛАН-М (рис.3.6).



Рисунок 3.6 - твєрдомір (пенетрометр) ЛАН-М

3.3 Висновки до розділу 3

1. Для проведення експериментальних досліджень використовувалось існуюче та розроблене лабораторне обладнання.
2. Використовувались відомі та новорозроблені методики експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати дослідження твердості ґрунту

Обробка даних методом варіаційної статистики показала, що твердість темно-сірого опідзоленого ґрунту безпосередньо після посіву ячменю і кукурудзи з довірчою ймовірністю 95% була вищою, ніж у модельному досвіді. При цьому найкращі фізичні умови в ґрунті, що характеризуються параметрами твердості не більше 10-15 кгс/см² [1], спостерігалися в умовах модельного досвіду у шарі 0–15 см, а у виробничих посівах під кукурудзою та ячменем – у шарі 0-9 см (рис. 4.1).

На другий рік експерименту, навпаки, істотних відмінностей у твердості ґрунту безпосередньо після посіву культури у модельному досвіді та у виробничих посівах не спостерігалося (рис. 4.2). Оптимальні параметри твердості спостерігалися у всіх випадках у шарі 0-12 см.

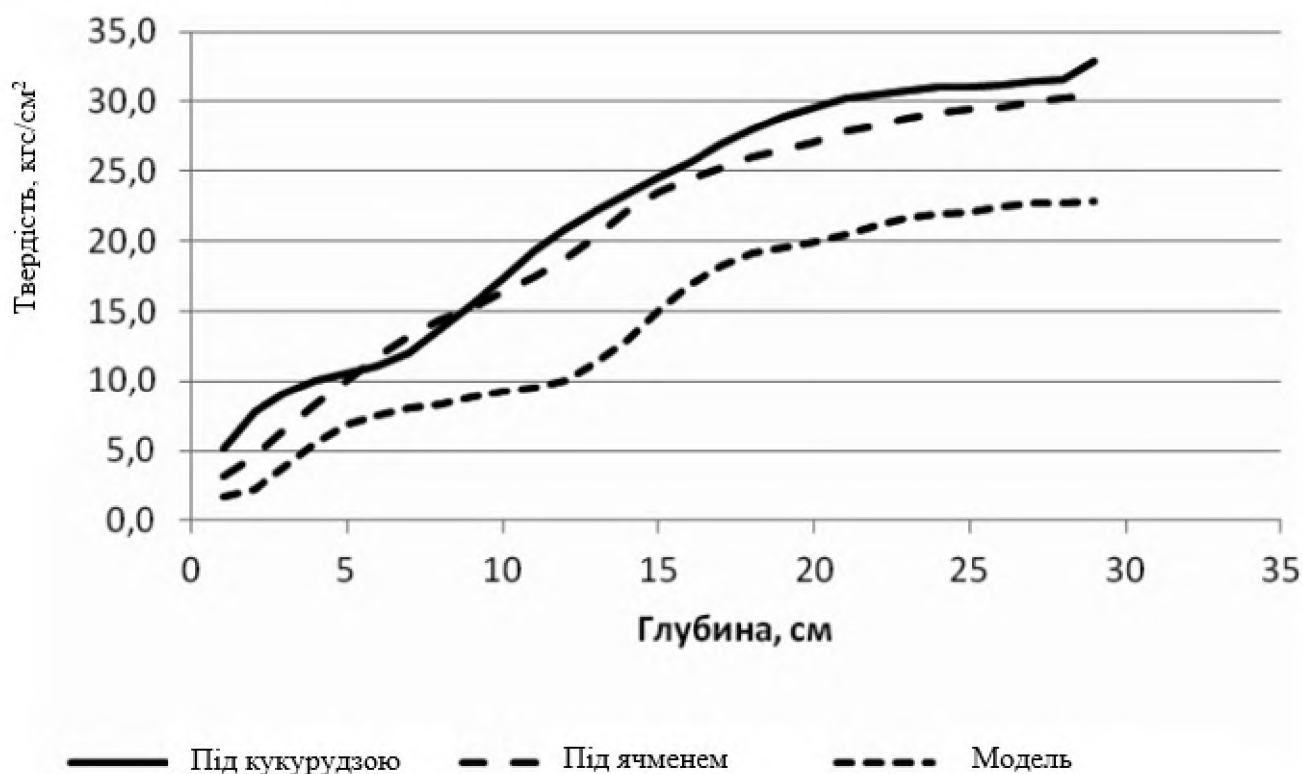


Рисунок 4.1 - Твердість темно-сірого опідзоленого ґрунту після посіву ячменю та кукурудзи та у модельному досліді

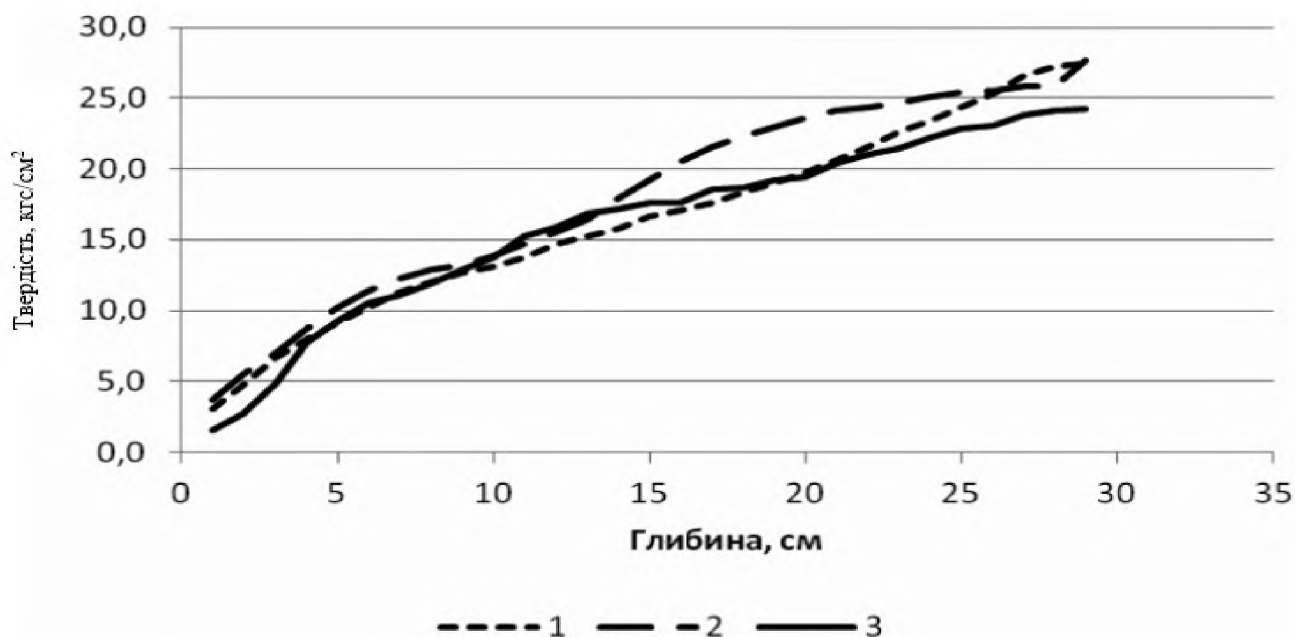


Рисунок 4.2 - Твердість темно-сірого опідзоленого ґрунту після посіву соняшника та у модельному досвіді:
 1 – ґрунт під соняшником після кукурудзи; 2 – ґрунт під соняшником після ячменю; 3 – ґрунт у модельному досліді

У середині вегетації сприятливіші умови у поверхневому шарі ґрунту за показником твердості в модельному досвіді збереглися (рис. 4.3). За умови створення оптимальних параметрів посівного шару твердість ґрунту у шарі 0-4 см виявилася в 1,5-2 рази нижче, ніж під кукурудзою, та у шарі 0-15 см вдвічі нижче, ніж під ячменем.

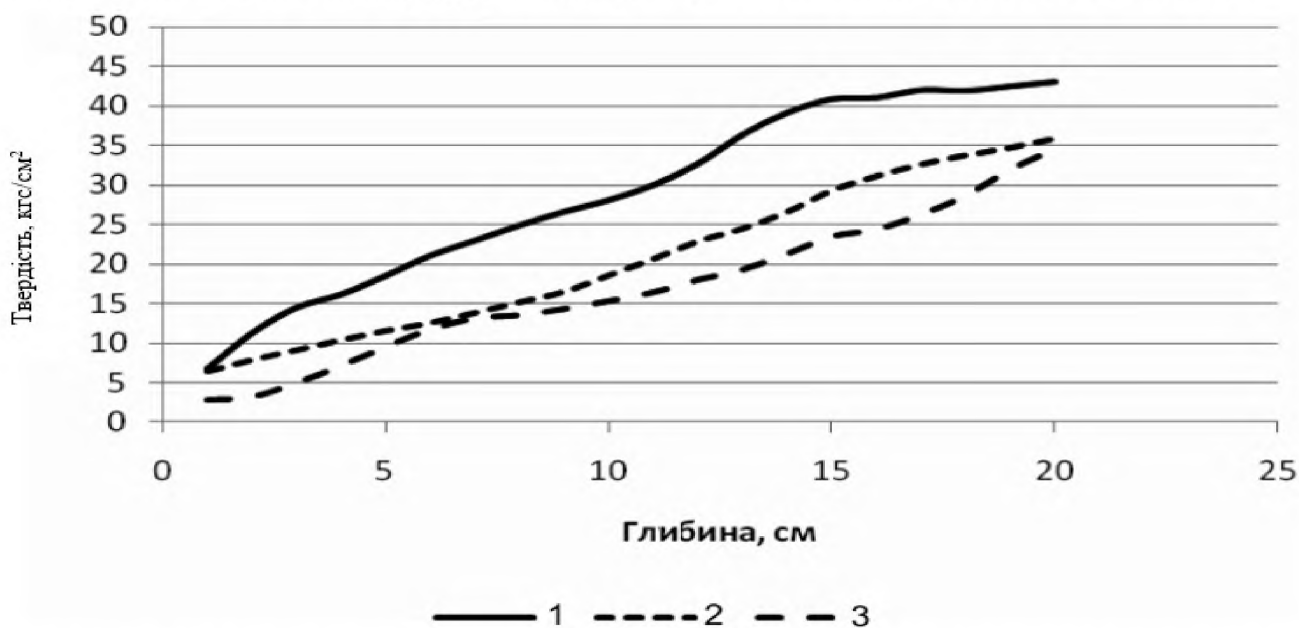


Рисунок 4.3 - Твердість темно-сірого опідзоленого ґрунту в середині вегетації у виробничих посівах та кукурудзи у модельному досвіді: 1 – ячмінь, виробничий посів; 2 – кукурудза, виробничий посів; 3 – кукурудза, модельний дослід

Наприкінці вегетації (визначення на ділянці поля під ячменем виконано 17 липня, на ділянці поля під кукурудзою (10 жовтня) не було статистично значних відмінностей у твердості ґрунту в модельному досвіді та під кукурудзою (5,7 кгс/см² і 6,8 кгс/см² у шарі 0-5 см відповідно), тоді як твердість ґрунту під ячменем істотно зросла і перевищила величину цього показника в модельному досвіді в 4-5 разів, досягнувши величин 20 кгс/см² у шарі 0-5 см та 23 кгс/см² у шарі 5–10 см (у модельному досвіді 5,7 кгс/см² та 8,5 кгс/см² відповідно). І хоча наприкінці вегетації цей показник не має такого значення, як безпосередньо перед посівом, отримані результати дозволяють зробити висновок, що сприятливі властивості посівного шару, створені передпосівною обробкою, можуть зберігатися протягом вегетаційного періоду (рис. 4.4).

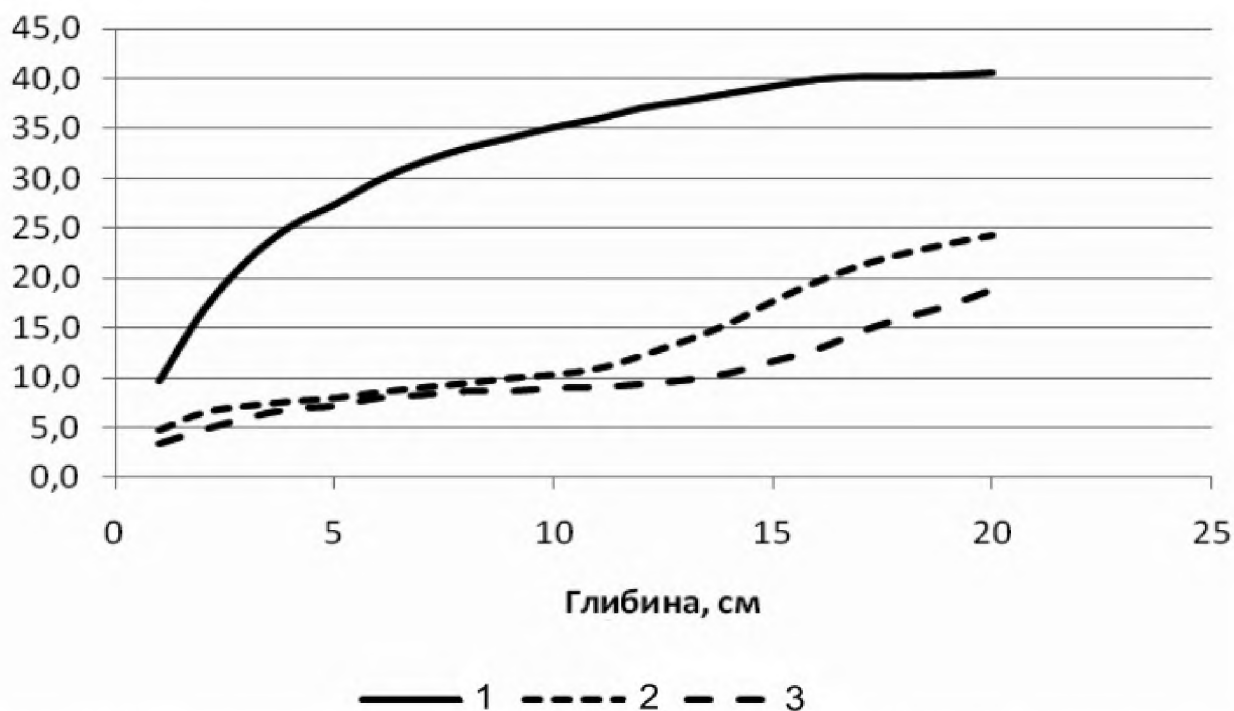


Рисунок 4.4 - Твердість темного опідзоленого ґрунту в кінці вегетації у виробничих посівах та кукурудзи у модельному досвіді: 1 – ячмінь, виробничий посів; 2 – кукурудза, виробничий посів; 3 – кукурудза, модельний досвід

Визначення твердості ґрунту у посівах соняшнику після кукурудзи та ячменю показало відсутність значних відмінностей цього показника від значень, отриманих у модельному досвіді (визначення виконані в ті ж терміни, що і на ділянці поля після кукурудзи). Це пояснюється якісною передпосівною обробкою виробничих площ,

виконаною навесні, та більш високими абсолютними значеннями показника твердості у модельному досвіді. При цьому в середині та наприкінці вегетації твердість ґрунту в модельному досвіді на всю глибину визначення була суттєво нижчою, ніж у виробничих посівах і збільшувалася з глибиною не так різко, що створювало більш сприятливі умови у розвиток корневих систем рослин.

На чорноземі типовому важкосуглинистому за допомогою експериментального передпосівної зброї вдалося створити наднасінневий шар 0-4 см з меншою твердістю (у середньому 4 кгс/см²) ніж після обробки культиватором (у середньому 5 кгс/см²). При цьому в обох випадках спостерігали оптимальні значення твердості на глибину передпосівної обробки – у шарі 0–8 см. У середині вегетації твердість ґрунту у цьому шарі суттєво зросла – до 8 кгс/см² після обробки експериментальним знаряддям і до 11 кгс/см² після традиційної обробки. Ці відмінності статистично значущі лише на рівні довірчої ймовірності 95%. Наприкінці вегетації твердість ґрунту після традиційної обробки та обробки експериментальним знаряддям практично не відрізнялася.

Результати визначення твердості темно-сірого опідзоленого ґрунту в 2015 р. свідчать про те, що найбільша твердість спостерігалася у середині вегетації ячменю. Найбільші абсолютні значення цього показника характерні для шару 10-20 см, при цьому оптимальні значення твердості спостерігалися тільки в шарі 0-5 см. Як видно з таблиці 2, твердість темно-сірого опідзоленого ґрунту на початку вегетації ячменю у виробничих умовах була значно вищою, ніж чорнозему типового в досвіді з оптимальними агрофізичними умовами, поступово підвищуючись із глибиною. При цьому значення твердості чорнозему типового модельного досвіду не перевищувало оптимальні значення всім шарі 0-20 см.

У середині вегетації ячменю твердість ґрунту різко збільшилася порівняно з початком вегетації. Починаючи з глибини 15 см, твердість ґрунту виробничого поля поступово знижувалася, на відміну від твердості чорнозему типового модельного досвіду, в якому твердість із глибиною практично не змінювалася (у таблиці дані по двох ґрунтах, а в описі один ґрунт і модельний досвід і виробничий посів, привести у відповідність).

За результатами визначень вологості, щільності та твердості темно-сірого опідзоленого ґрунту побудовано регресійну модель (рис. 4.5):

$$X = 23,92 - 1,25Y + 15,89Z,$$

де X – твердість ґрунту, кгс/см²;

Y – вологість ґрунту, %;

Z – щільність ґрунту, г/см³.

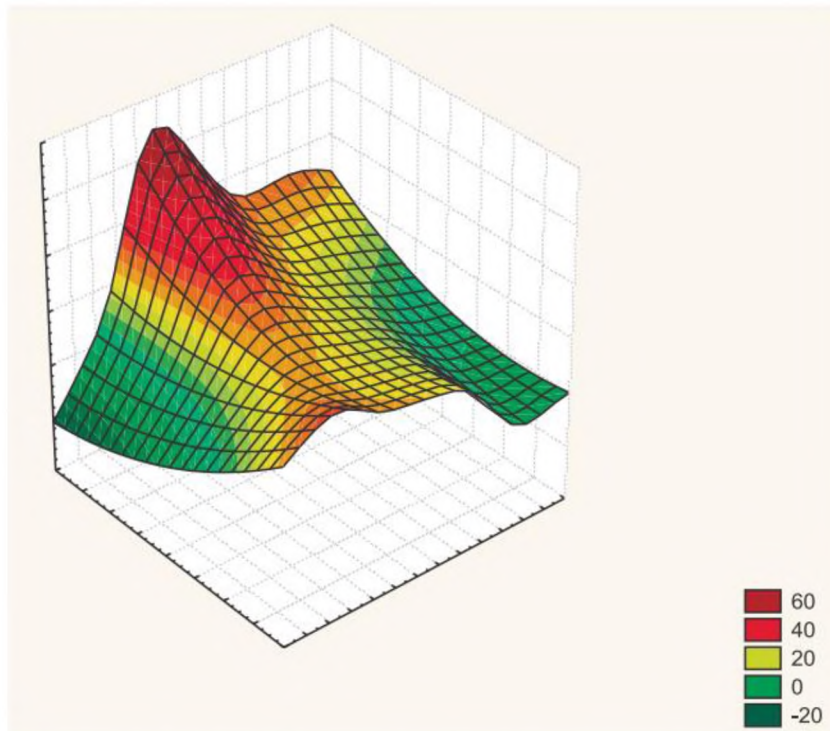


Рисунок 4.5 - Графічне зображення залежності між значеннями вологості, щільності додавання і твердості темно-сірого опідзоленого ґрунту

Коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,51$. Рівень довірчої ймовірності p для вільного члена рівняння та для коефіцієнта вологості вбирається у 0,02.

За результатами визначень вологості, щільності додавання та твердості чорнозему типового важкосуглинистого малогумусного побудовано регресійну модель (рис. 4.6):

$$X = -24,6 + 1,6 Y + 67,86 Z,$$

де X – твердість ґрунту, кгс/см²;

Y – вологість ґрунту, %;

Z – щільність ґрунту, г/см³.

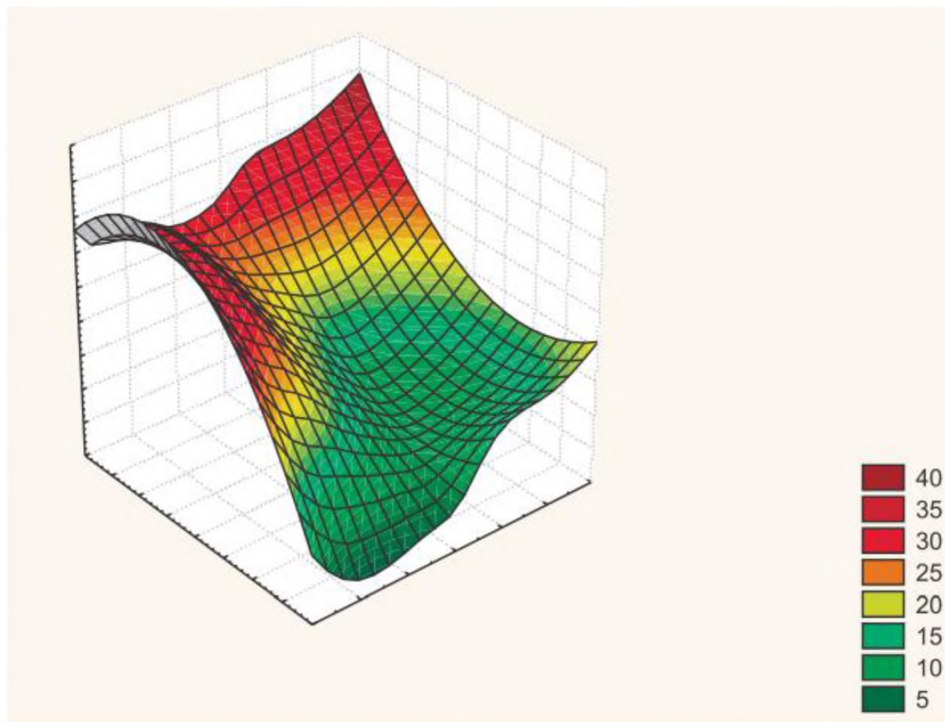


Рисунок 4.6 - Графічне зображення залежності між значеннями вологості, щільності додавання і твердості чорнозему типового важкосуглинистого малогумусного

Коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,80$. Рівень довірчої ймовірності p для коефіцієнта вологості та для коефіцієнта щільності додавання не перевищує $0,002$. За результатами визначення твердості та вологості ґрунту з певним ймовірністю можна встановити її щільність додавання – показник, важливий для оцінки якості передпосівного обробітку ґрунту (але важко визначуваний через громіздкість методу). Очевидно, що точність та адекватність наведених емпіричних моделей залежить від кількості даних, за якими вони створені, тому вони вимагають подальшого уточнення.

Проведені розрахунки показують високий ступінь зв'язку щільності та твердості чорнозему у польовому досвіді у двох ротаціях сівозмін. Якщо не брати до уваги вологість ґрунту, що змінюється, то зв'язок між шуканими показниками описується поступово зростаючою кривою (рис.4.7). При оцінці зв'язку вологості (%) та твердості ґрунту (кгс/см²) виявлено зворотний зв'язок, що представлено на рис.4.8.

Якщо об'єднати моделі, що відображають динаміку твердості під впливом вологості ґрунту та його щільності, то залежність різко ускладнюється (рис.4.9).

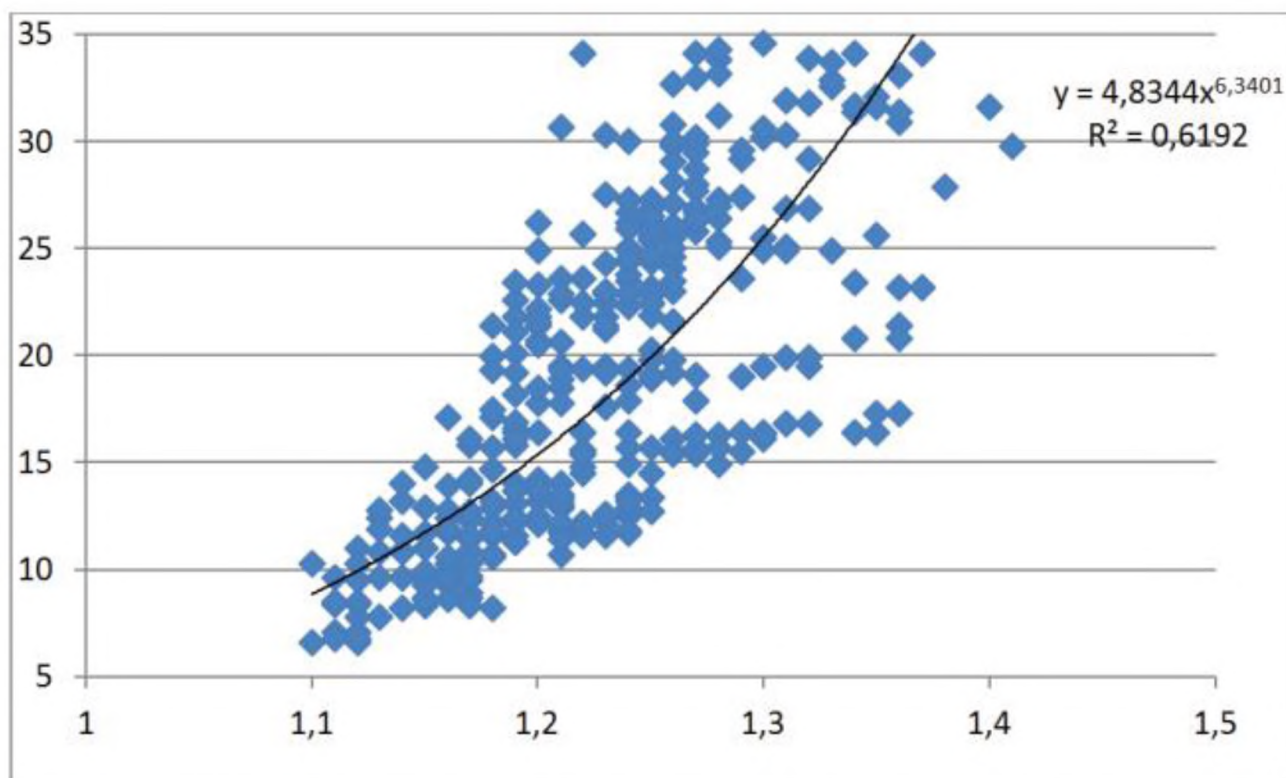


Рисунок 4.7 - Залежність між твердістю ґрунту (кгс/см²) та щільністю ґрунту, (г/м³)

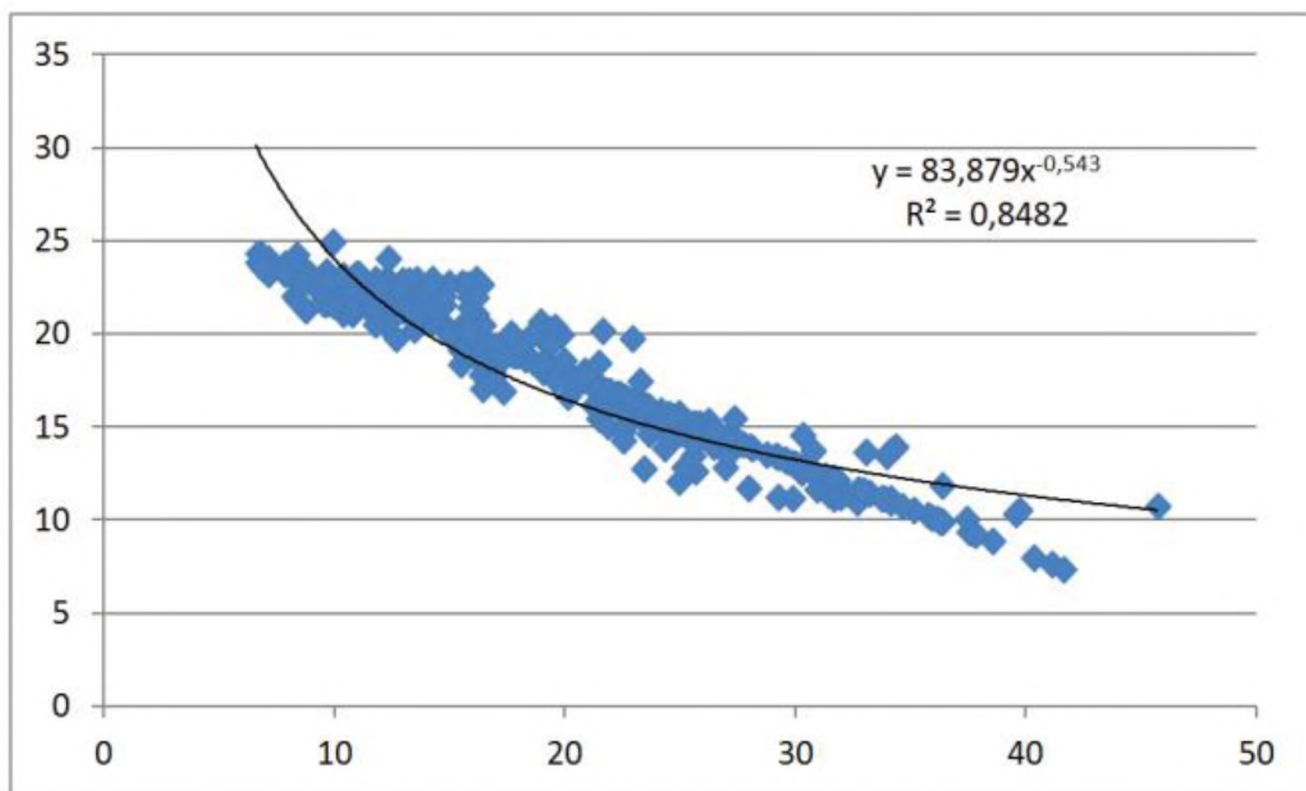


Рисунок 4.8 - Залежність між твердістю ґрунту (кгс/см²) та вологістю ґрунту (%)

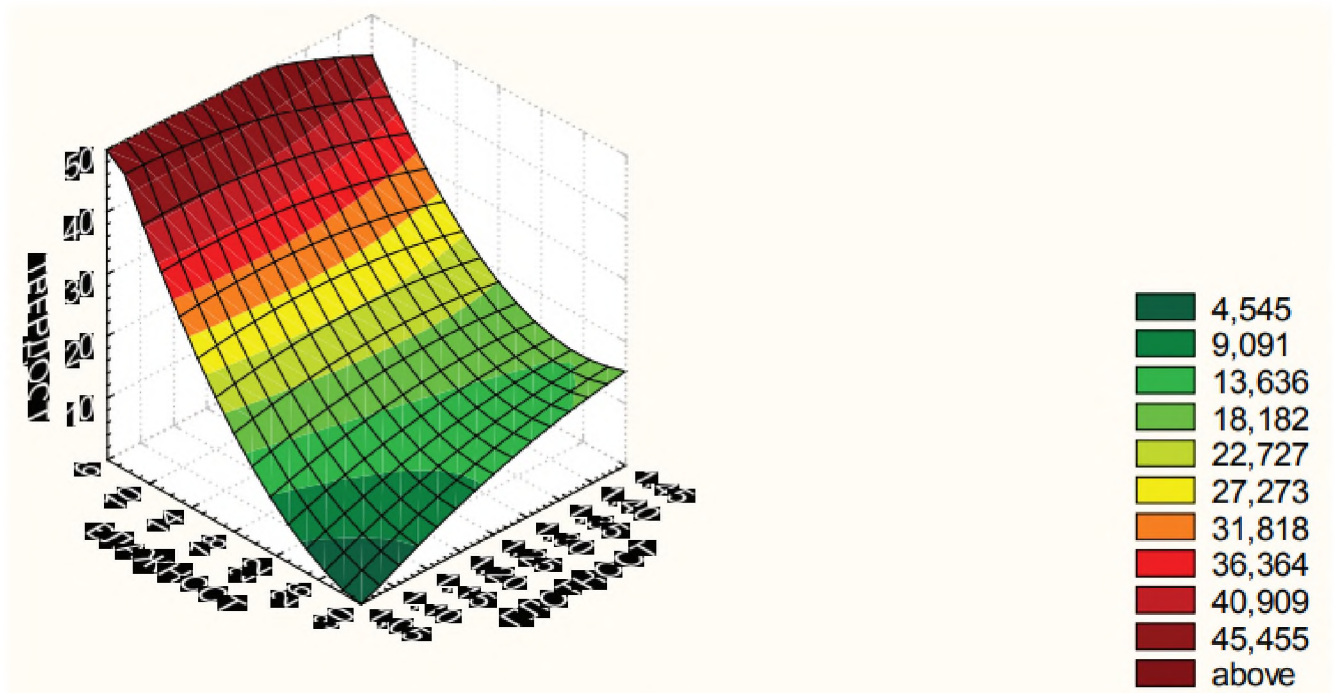


Рисунок 4.9 – Залежність твердості ґрунту (кгс/см²) від вологості ґрунту (%) та його щільності (г/см³) за результатами двох ротацій сівозмін

Взаємодія зазначених показників характеризує наступне рівняння (модель):

$$T = 39,973 - 8,043p + 102,163W + 0,078p_2 + 2,793 p_W - 58,73 W_2$$

Нами виявлено кореляційні залежності між урожайністю зернових та зернобобових культур та твердістю ґрунту. Аналіз показав, що є зворотний зв'язок між урожайністю зерна досліджуваних культур і твердістю ґрунту, ступінь залежності варіював від середнього (озима пшениця, $r = -0,346$) до сильної (люпин, $r = -0,933$). Встановлено, що ступінь негативного впливу високої твердості ґрунту на врожайність зернобобових культур, що мають стрижневу кореневу систему, була вищою, ніж у зернових культур. До того ж слід зазначити, що переущільнення ґрунту та зростання його твердості ведуть до погіршення умов формування симбіотичного апарату, що є невід'ємним при формуванні високопродуктивних агроценозів.

4.2 Висновки до розділу 4

1. Експериментально підтверджено, що посівний шар із оптимальними агрофізичними параметрами характеризується прийнятними показниками твердості до глибини 12-15 см. На чорноземі типовому важкосуглинистому за допомогою експериментальних засобів був створений наднасінневий шар 0-4 см з твердістю 3,5 кгс/см², що менше, ніж після обробки культиватором - 4,9 кгс/см².
2. За кількісними значеннями твердості та вологості ґрунту можна встановити його щільність – показник, важливий для оцінки якості передпосівного обробітку ґрунту. Точність та адекватність наведених емпіричних моделей залежить від кількості даних, за якими вони створені, тому вони вимагають подальшого уточнення.
3. Чорнозем має сприятливий для розвитку рослин рівнем твердості ґрунту, та його показники у шарі 0...50 см у період посіву ярих зернових культур не виходили за межі оптимальних значень для розвитку рослин – до 20 кгс/см².
4. Основними засобами регулювання агрофізичних властивостей ґрунту виступає її обробіток. У зернотрав'яних сівозмінах рекомендується проводити комбіновану обробку, яка передбачає проведення оранки (2 рази за ротацію) та безвідвального розпушування плугами зі стійками на 20-22 см, а в зернопарових сівозмінах є можливість її мінімізувати та проводити оранку 1 раз на кілька років на глибину 20-22 см.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Технології вирощування сільськогосподарських культур з міжрядним обробітком посівів є одними з найбільш поширених у агровиробництві країни і потребує постійного удосконалення технічних засобів для їх реалізації.
2. На сьогодні просапні культиватори досить широко представлені вітчизняними розробниками (ВАТ «Червона Зірка» (КРНВ-4,2-04, КРНВ-5,6-04), ВАТ «Галещина машзавод» (КП-5,6 «Козак Процюк»), ВАТ «Ірпіньмаш» (КУН-8,1), так і виробниками закордонними (Kulticrop, Sfoggia Thema, Row Crop Harriston). Культиватори комплектуються різними змінними робочими органами, які залежно від структури і фізико-механічних властивостей ґрунту, а також біологічної особливості культури дають можливість якісно виконувати міжрядний обробіток посівів та знищення бур'янів.
3. У дрібнофермерських господарствах та для обробітку присадибних ділянок може бути використано мотоблок (мототрактор) як енергетичний засіб приводу просапних культиваторів.
4. Продуктивність виконання міжрядного обробітку залежить від багатьох факторів, але визначальним є фізико-механічні властивості ґрунту (пластичність, зв'язність, твердість), урахування яких дозволяє правильно налаштувати робочі органи та режими роботи культиватора.
5. Отримання прогнозованих врожаїв сільськогосподарських просапних культур є можливим за умови чіткого дотримання агротехнологічних умов виконання операцій. Висів насіння на неоднорідну глибину і в різний за вологістю ґрунт, формує ризик отримати недружні сходи, що утруднює їх подальший обробіток.
6. Актуальним є визначення зв'язків між основними агрофізичними показниками, зокрема: твердістю ґрунту, щільністю ґрунту та його вологістю та якістю виконання операції видалення бур'янів з міжряддя пальчиковими робочими органами. Твердість верхнього шару чорноземних ґрунтів для більшості культур знаходиться в межах 6-16 кгс/см². Твердість вище 20 кг/см² несприятлива рослин. Верхньою межею твердості ґрунту, після якого різко погіршуються умови розвитку, слід вважати 15-19

кгс/см², а з погляду зусиль, що витрачаються на оранку, оптимальною є твердість 10-20 кгс/см².

7. Для обробітку міжряддя доцільно застосовувати роторно-пальцевий культиватор. Гнучкі робочі органи пальчикового культиватора призначений для внутрішньорядної обробки. Робоча швидкість агрегату в межах 3... 5 км / год. Продуктивність машини становить 0,06... 0,08 га / год.

8. Для проведення експериментальних досліджень використовувалось існуюче та розроблене лабораторне обладнання. Використовувались відомі та новорозроблені методики експериментальних досліджень.

9. Експериментально підтверджено, що посівний шар із оптимальними агрофізичними параметрами характеризується прийнятними показниками твердості до глибини 12-15 см. На чорноземі типовому важкосуглинистому за допомогою експериментальних засобів був створений наднасінневий шар 0-4 см з твердістю 3,5 кгс/см², що менше, ніж після обробки культиватором - 4,9 кгс/см².

10. За кількісними значеннями твердості та вологості ґрунту можна встановити його щільність – показник, важливий для оцінки якості передпосівного обробітку ґрунту. Точність та адекватність наведених емпіричних моделей залежить від кількості даних, за якими вони створені, тому вони вимагають подальшого уточнення.

11. Чорнозем має сприятливий для розвитку рослин рівнем твердості ґрунту, та його показники у шарі 0... 50 см у період посіву ярих зернових культур не виходили за межі оптимальних значень для розвитку рослин – до 20 кгс/см².

12. Основними засобами регулювання агрофізичних властивостей ґрунту виступає її обробіток. У зернотрав'яних сівозмінах рекомендується проводити комбіновану обробку, яка передбачає проведення оранки (2 рази за ротацію) та безвідвального розпушування плугами зі стійками на 20-22 см, а в зернопарових сівозмінах є можливість її мінімізувати та проводити оранку 1 раз на кілька років на глибину 20-22 см.