

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.372-027.45

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту ім. М.П.Момстенка

Вячеслав БРАТШКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

2023 р.

2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення технологічних операцій обробітку ґрунту в умовах СФГ «Хлібодар»
Київської області

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Вячеслав БРАТШКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Олена ДЕВ'ЯТКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Виконав:

Данило БОНДАР

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту ім. М.П.Момотенка

Д.Т.Н., проф.
(науковий ступінь, вчене звання)

Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТАМ

Данилу БОНДАРЮ
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Удосконалення технологічних операцій обробітку
грунту в умовах СФГ «Хлібодар» Київської області

затверджена наказом ректора НУБіП України від «21» грудня 2022 р. № 2217 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література;
результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах технологічних операцій
обробітку ґрунту в умовах СФГ «Хлібодар»

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз стану питання досліджень, мета, задачі дослідження
2. Способи обробітку ґрунту, витрати паливо-енергетичних ресурсів на їх виконання, їх вплив на родючість
3. Опис основних технологічних операцій обробки ґрунту та формування загальної цільової функції
4. Основні технологічні операції обробки ґрунту, що забезпечують енергозбереження та збереження вологи

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 14 слайдах

Дата видачі завдання

«11» листопада 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Олена ДЕВ'ЯТКО

(ім'я прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Данило БОНДАР

(ім'я прізвище)

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....		3
ВСТУП.....		5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ ОСНОВНОГО ОБРОБКИ ҐРУНТУ.....		10
1.1.	Резерви зниження собівартості у сільськогосподарській галузі....	10
1.2.	Способи обробітку ґрунту, витрати паливо-енергетичних ресурсів на їх виконання, їх вплив на родючість.....	16
1.3.	Стан сучасних досліджень у галузі обробітку ґрунту.....	23
1.4.	Обґрунтування наукової проблеми.....	32
РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ОСНОВНОЇ ОБРОБКИ ҐРУНТУ.....		35
2.1.	Опис основних технологічних операцій обробки ґрунту та формування загальної цільової функції.....	35
2.2.	Визначення цільової функції для боронування та імітаційне моделювання основних витрат на виконання операції.....	58
2.3.	Визначення цільової функції для дискування та імітаційне моделювання основних витрат на виконання операції.....	70
2.4.	Визначення загальних витрат на основну обробку ґрунту та вибір найбільш раціональних складів агрегатів.....	75
2.5.	Висновки з другого розділу.....	77
РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗОВАНИХ ПРИЙОМІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....		80
3.1.	Основні технологічні операції обробки ґрунту, що забезпечують енергозбереження та збереження вологи.....	80
3.2.	Прийоми суміщення ґрунтообробки та внесення добрив.....	91
3.3.	Висновки з третього розділу.....	102
РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....		103
4.1.	Визначення раціональних параметрів засобів обробітку ґрунту з двоярусними плоскорізальними лапами.....	104
4.2.	Визначення раціональних параметрів засобів обробітку ґрунту з чизельною лапою з нижнім заточенням.....	106
4.3.	Визначення раціональних параметрів засобів обробітку ґрунту із складальною чизельною лапою.....	110

4.3.	Висновки з четвертого розділу.....	115
	ВИСНОВКИ.....	117
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	119

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Сучасний розвиток сільського господарства, включаючи Київську область характеризується нарощуванням енергетичних витрат на обробітки, добрива, зрошення, отрутохімікати, що зумовлює подорожчання та зниження якості продукції. У цьому зростаючі потреби продукції рослинництва і тваринництва Київська область як зернова за темпами інтенсифікації землеробства є лідером у цій зоні. Площа сільгоспугідь у Краснодарському краї дорівнює 4,5 млн. га, їх 3,8 млн. га посідає рілля. Нагромаджений за багато століть гумусовий горизонт становив 1,2-1,8 м. Зміст гумусу в орному шарі відносно невисокий і становить 4-6%. Інтенсифікація землеробства у краї веде до деградації ґрунтового покриву та зниження родючості. Вона призводить до щорічних втрат гумусу з ріллі в середньому до 1,2 т/га, що змінює її якісний стан. Площа надпотужних чорноземів останні півстоліття зменшилася на 263 тис. га, а 350 тис. га малогумусових чорноземів взагалі припинили своє існування. Розораність степового ландшафту Київської області перевищує оптимальний рівень і сягає 90% і вище. Механізовані процеси ґрунтообробки, що існують в даний час, мають недосконалість через застосування багатоопераційності та великої номенклатури машин. Недосконалими також виявилися механізовані процеси приготування і внесення органічних добрив, процеси внесення мінеральних добрив і хімічної боротьби, що ведуть до забрудненості і зростання витрат енергії, і зниження родючості. Технологічні прийоми та технічні засоби виробництва зернових культур характеризуються нарощуванням енергетичних витрат. При збільшенні врожайності в 2-3 рази потрібне збільшення витрат енергії в 10 разів [8]. Аналіз наукових досліджень [27, 63, 75, 93, 133 та ін.] показав, що при обробітку зернових культур 40-50% ресурсного потенціалу витрачається на технологічний процес обробітку ґрунту, а частка механічного обробітку ґрунту, наприклад, у врожаї пшениці, становить у середньому 14%. Також відомо, що понад 50% механізованих робіт виконуються з відхиленнями від агротехнічних вимог. Особливо це стосується основної та додаткової обробки ґрунту, у процесі проведення яких дані відхилення досягають 200% [93].

Обробку ґрунту слід проводити так, щоб отримати потрібну якість обробітку, скоротити витрату енергії та інших ресурсів, збільшити вироблення машин, усі роботи здійснювати своєчасно - в межах агротехнічних термінів, зменшувати вплив машин на щільність ґрунту у врожаї пшениці, що становить у середньому

14%. Також відомо, що понад 50% механізованих робіт виконуються з відхиленнями від агротехнічних вимог. Особливо це стосується основної та додаткової обробки ґрунту, у процесі проведення яких дані відхилення досягають 200% [93]. Обробку ґрунту слід проводити так, щоб отримати

потрібну якість обробітку, скоротити витрату енергії та інших ресурсів, збільшити вироблення машин, усі роботи здійснювати своєчасно - в межах агротехнічних термінів, зменшувати вплив машин на щільність ґрунту - у врожаї пшениці, що становить у середньому 14%. Також відомо, що понад 50%

механізованих робіт виконуються з відхиленнями від агротехнічних вимог.

Особливо це стосується основної та додаткової обробки ґрунту, у процесі проведення яких дані відхилення досягають 200% [93]. Обробку ґрунту слід проводити так, щоб отримати потрібну якість обробітку, скоротити витрату енергії та інших ресурсів, збільшити виготовлення машин, усі роботи

здійснювати своєчасно - в межах агротехнічних термінів, зменшувати вплив машин на щільність ґрунту.

У зв'язку зі вступом України до СОТ конкурентоспроможність сільськогосподарського виробництва України на внутрішньому та зовнішньому

ринках вимагає зниження собівартості виробництва продукції, збільшення її рентабельності, підвищення продуктивності праці. При цьому одним із способів

зниження собівартості є зниження всіх ресурсів, у тому числі питомої витрати моторного палива. Таким чином, актуальними є дослідження в галузі пошуку та розробки технологій та технічних засобів нового покоління для забезпечення

заощадження паливо-енергетичного ресурсу, а також для запобігання деградації ґрунтів, що забезпечить у свою чергу підвищення родючості при виробництві сільськогосподарської продукції.

Для опису роботи технологічного комплексу та його оптимізації було

ухвалено рішення про використання методів імітаційного моделювання. Найбільш виправданим для вирішення оптимізаційного завдання було визнано пакет моделювання «Монте-Карло» для Excel.

Актуальність досліджень суттєва у зв'язку із зростанням дефіциту палива та вичерпністю родючості у зв'язку з концепцією розвитку механізації, електрифікації та автоматизації сільськогосподарського виробництва України, а також у зв'язку з необхідністю ефективного управління рослинницькими підприємствами для того, щоб, з одного боку, максимально підвищити врожайність, а з іншого боку, звести до мінімуму антропогенне навантаження на

біосферу та витрати ресурсів. Інноваційним елементом ефективного управління є «точне землеробство» (прецизійне землеробство - precision agriculture), перший етап якого - збір інформації про господарство, поле, культуру, машино-тракторний парк; аналіз отриманої інформації та видача сигналів управління; виконання запропонованих рішень - проведення агротехнологічних операцій.

Другий етап - це програмне забезпечення (автоматизоване ведення просторово-атрибутивних даних картотеки сільськогосподарських полів, а також генерація, оптимізація та реалізація агротехнічних рішень з урахуванням варіабельності характеристик у межах поля, що обробляється). Цей етап сьогодні найменш

розвинений. Однак частина цього етапу, така як спеціалізовані геоінформаційні системи, постійно вдосконалюється, і йде процес підключення до супутникової системи GPS є операції з внесення рідких і твердих мінеральних добрив, а також посів зернових культур. По проведенню основного обробітку ґрунту поки що мало розробок, але вони очікуються.

Мета роботи - сформувати ресурсозберігаючі комплекси агрегатів для обробки ґрунту на основі використання імітаційного моделювання процесу функціонування агрегатів, а також удосконалити та впровадити нові робочі органи машин.

Завдання. Проаналізувати технологічні операції суцільного обробітку ґрунту; розробити моделі відповідності їх параметрів показникам ресурсозбереження та формалізовані моделі з використанням логіки предикатів

та кванторної алгебри; одержати цільові функції на окремих операціях для оптимізації кількості працюючих агрегатів, отримання мінімуму витрат на паливо та компенсацію збитків через зрив агротермінів та від ущільнення ґрунту після руху агрегатів по полю; провести імітаційне моделювання та отримати

графічні та аналітичні залежності щодо визначення оптимального значення кількості агрегатів при різних нормативних агротермінах, агрофонах, складу агрегатів та відповідних збитків; провести диференціювання всіх агрегатів за групами ефективності; встановити ефективність окремих комплексів агрегатів

при обробці ґрунту порівняно із загальноприйнятою технологією;

обґрунтувати нові енергозберігаючі конструктивно-технологічні рішення; визначити раціональні конструктивні параметри пропонуєваних засобів; провести роботи з реалізації та впровадження; здійснити розрахунки економічних показників застосування нових технічних засобів.

Об'єкт дослідження - Технологічний процес, методи (прийоми, режими робіт, послідовність операцій та процедур), а також технічні засоби механізації, інструменти та матеріали виробництва зернових колосових культур.

Предмет дослідження - характеристики обладнання для обробки ґрунту, цільові функції з ґрунтообробки на окремих технологічних операціях, імітаційні моделі процесу функціонування машинно-тракторних агрегатів.

Методи дослідження: У роботі використано розроблені на основі логіки предикатів методи комплексного підходу для забезпечення збереження паливо-

енергетичних ресурсів при виробництві насіння зернових колосових культур, агроландшафтної екології, пошукових досліджень, класичної механіки, а також

приватні методики з використанням теорії планування експериментів, методи оцінки технічних засобів з використанням однофакторних експериментів, однофакторного дисперсійного аналізу та функції бажаності. Застосовано метод

імітаційного моделювання під час вирішення оптимізаційних завдань для формування ефективного технологічного комплексу машин, обрано пакет

імітаційного моделювання - спеціальну надбудову для Excel «Монте-Карло». Обробка результатів експериментів здійснювалася методами математичної

статистики.

Наукова новизна. Формалізовані логічні моделі технологічних операцій з ґрунтообробки, розроблені на підставі логіки предикатів та кванторної алгебри; цільові функції для основної обробки ґрунту на окремих технологічних операціях для оптимізації кількості працюючих агрегатів та одержання мінімуму

витрат на паливо та компенсацію збитків через зрив агротермінів та від ущільнення ґрунту після руху агрегатів по полю; повний алгоритм та структура ймовірнісної імітаційної моделі цільової функції щодо визначення складу орного агрегату та його технологічних параметрів для реалізації моделювання за

методом Монте-Карло; імітаційні моделі для кожної технологічної операції ґрунтообробки та варіанти складу комплексу машин з урахуванням експлуатаційно-технологічних показників, відповідні графічні та аналітичні залежності щодо визначення оптимального значення кількості агрегатів при різних нормативних агротермінах, агрофонах, складі агрегатів та відповідних збитках.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ ОСНОВНОЇ ОБРОБКИ ҐРУНТУ

НУБІП УКРАЇНИ

1.1. Резерви зниження собівартості у сільськогосподарській галузі

Розвиток економіки областей України, цілісних елементів, що утворюють єдину систему господарського комплексу країни і схильних до впливу глобальних тенденцій та функціональної специфіки вітчизняних соціально-економічних систем, спрямовано формування фундаментального економічного

зростання всіх галузей господарства. Проте, виділяючи у галузевій структурі

складові компоненти, слід зазначити, що саме сільськогосподарське виробництво історично утворює природну основу розвитку більшості регіональних та національних економік, у зв'язку з чим це зростання у сенсі можна характеризувати як агроекономічний [7]. Цим пояснюється стабільно

підвищений інтерес до теоретичних і практичних проблем потенційного та реального внеску сільськогосподарської галузі в економічне зростання інших регіональних соціально-економічних систем. Розвиток регіонального сільського господарства є необхідною умовою індустріалізації всіх галузей економіки, і без

модернізації даного комплексу як бази випереджального підйому підняти та

модернізувати індустріальні, інфраструктурні та сервісні галузі економіки регіону практично неможливо. Це актуалізує теоретико-методологічну та прикладну основу сутнісного сприйняття агроекономічного зростання як домінантного двигуна системного розвитку господарського комплексу регіону.

До умов агроекономічного зростання слід віднести: зовнішню кон'юнктуру, соціальні та демографічні процеси, політико-економічний та адміністративний устрій держави та суспільства, існуючі інституційні та інфраструктурні форми господарювання. Чинники, що формують агроекономічне зростання,

класифікуються за такими групами: природно-кліматичні та погодні умови;

земля (агрореландшафти); працю, основні фонди підприємств та організацій; інвестиційний клімат; менеджмент та маркетинг сільськогосподарських організацій, у тому числі технічні засоби та технології.

НУБІП УКРАЇНИ

Відомо, що організація та використання агроландшафтів (місць ведення сільського господарства) налічує понад 10000 років [8]. Під окультуреною людиною агроландшафтами у світі зайнято 30% площі суші. Перед рослинництвом у структурі орних земель України припадає 30-60%. Однак зараз земля в Україні використовується вкрай неефективно. За 20 років площа ріллі скоротилася зі 132 до 114 млн. га, або на 13,5%. З частини, що залишилася, майже 20,5 млн га заростають лісом або заболочуються.

Важливим резервом зниження собівартості є економія, що включає підвищення технічного рівня виробництва (впровадження нової, прогресивної технології, механізацію та автоматизацію виробничих процесів; поліпшення використання та застосування нових видів ресурсів), удосконалення організації виробництва та праці (форми та методи, спеціалізація, управління виробництвом та скорочення витрат на нього, покращення використання основних засобів, покращення матеріально-технічного постачання, скорочення транспортних витрат, витрат енергії та інших факторів). Зростання продуктивності праці є також резервом зниження собівартості. Збільшення обсягу виробництва, зокрема є резервом зниження собівартості, у зв'язку з чим їх кількість на одиницю продукції зменшується.

Розглянемо вплив P_E (енергозбереження) у землеробстві. Зниження рівня собівартості виробництва зернових колосових культур.

Стрімке зростання тарифів в Україні призводить до збільшення частки паливно-енергетичного ресурсу у собівартості виробленої продукції (що становить витрати собівартості сільгосппродукції наблизилася до 50%). Тенденція зростання паливно-енергетичної складової витрат собівартості призведе до падіння обсягу механізованих робіт, а отже, подальшого зниження продуктивності праці та загального зниження виробництва сільгосппродукції.

Створюється реальна небезпека продовольчої безпеки. Найбільшу потребу галузь відчуває у моторному паливі. Саме цей вид енергії припадає до 70% всіх витрат енергії. Тільки за 2020 р. ціни на ПММ збільшилися на 35% порівняно з 2019 р. Цілком очевидна тенденція на постійне подорожчання нафтопродуктів та

в майбутньому. Згідно з прогнозом, у найближчі 20 років потреба у світі може збільшитися на 50%, Український уряд визнає, що видобуток нафти в Україні перебуває у стагнації тобто, видобуток нафти в Україні вже досяг свого піку і, можливо, ніколи більше не повернеться на існуючий рівень. Тому основним напрямом енергозбереження у сільському господарстві є всіляке освоєння ресурсозберігаючих технологій виробництва с.-г. продукції. Вже сьогодні є позитивні результати. За даними аналітичного огляду Мінагрополітики [15] в аграрному секторі витрачається близько 3,5% енергії світового споживання.

Залежно від величини аграрного сектора, ця частка варіює від 3 до 6%. В Україні ці показники набагато вище. В даний час система енергозабезпечення, як і сільське господарство загалом, перебуває у стані глибокої системної кризи. Сучасний стан вітчизняного сільського господарства характеризується низьким рівнем продуктивності праці в порівнянні з країнами Заходу (країнами великої сімки). Нині вона становить лише близько 10% американського. У зарубіжній практиці вартість споживаної енергії враховується у різних статтях загальногосподарських витрат сільськогосподарського виробництва. У США враховуються такі основні статті витрат: обумовлені спожитою електричною енергією (менше 2%); на придбання та використання пально-мастильних матеріалів, обумовлені застосуванням добрив та пестицидів, створених на основі енергоємних технологій. У США витрата енергоносіїв у вигляді електричної енергії та газу за період із середини 80-х років. XX ст. до початку XXI ст., за значного зростання обсягів виробництва, скоротилася майже на 40%.

У зв'язку з цим у рослинництві під час виробництва також відбувається докорінна переоцінка застосовуваних технологій обробки культур з метою суттєвого скорочення енергетичних витрат. Щоб знизити енергетичні витрати, при основній обробці ґрунту застосовуються ресурсозберігаючі прийоми обробки ґрунту [13, 29 та інших.].

Як останні виступають плоскорізна обробка ґрунту, дрібне лемішне лушення, дискування. Наприклад, у сільському господарстві Київської області активно впроваджуються посівні комбіновані агрегати, які за один прохід не

полю здійснюють до восьми операцій: боронування, внесення добрив, культивування, вирівнювання ґрунту, посів, коткування посівів тощо. Комбіновані посівні агрегати порівняно з роздільним застосуванням прийомів передпосівного обробітку ґрунту забезпечують скорочення енергетичних витрат при сівбі. У

низці регіонів України також розробляються нові технології, дозволяють економити матеріальні ресурси під час виробництва сільгосппродукції. Вони адаптовані до місцевих умов, багатоопераційні, економлять трудові та матеріальні ресурси. Найбільший інтерес становлять технології, пов'язані із

зменшенням процесів обробітку ґрунту. При підрахунку економічної

ефективності використання такої технології встановлено, що застосовуючи енергозберігаючі прийоми основного обробітку ґрунту, вдалося знизити витрати на виробництво зерна ярої пшениці в 2003 р. з 1620 до 1363 грн. на 1 га. При

цьому скорочувався час, витрачений навесні на обробіток ґрунту, що дозволило

провести сівбу у стислий термін. У цих господарствах урожайність зернових за останні роки становила 30 ц/га, при середньому показнику по області 17,4 ц/га.

Середня собівартість виробництва 1 т зерна у господарствах, що працюють за ресурсозберігаючими технологіями, склала 63 дол. В Іванівській області цей

показник у 1,5 рази вищий.

Цікавим є так звана технологія нульової обробки ґрунту та прямого посіву зерна. У зарубіжній літературі наголошується, що період створення та вдосконалення технології прямого посіву вже завершився, основним завданням

тепер є впровадження цієї технології у практику. Головні труднощі застосування

цієї технології в Україні - відсутність вітчизняних сівалок прямого посіву. А придбання зарубіжних сівалок цього класу коштує дуже дорого.

Метою закону є створення правових, економічних та організаційних засад стимулювання енергозбереження та підвищення економічної ефективності

(відносини корисного ефекту до витрат енергетичного ресурсу). Принципи

правового регулювання: раціональне використання енергетичних ресурсів, комплексність заходів, використання енергетичних ресурсів з урахуванням виробничо-технологічних, екологічних та соціальних умов. Положення закону

застосовуються також щодо раціонального витрати води. Ефективність роботи з енергозбереження має оцінюватись конкретними показниками. Основні терміни та показники випливають із закону України «Про енергозбереження». Таким чином, у сучасних умовах енергозбереження об'єктивно має стати базовою технологією зупинення руйнівних тенденцій у сільському господарстві.

Відкладати активну роботу з енергозбереження - це означає наблизити катастрофічні явища у сільському господарстві. У процесі реалізації енергозбереження використовується метод системної інтеграції, передового досвіду та наукових досягнень в енергетиці, а потенціал енергозбереження у землеробстві полягає у наступному.

1. У застосуванні малоенерговитратних (енергозберігаючих) технологій обробки ґрунту.

2. У використанні енергоефективного машино-тракторного парку у проведенні своєчасного технічного обслуговування, у виконанні своєчасного регулювання з метою підвищення продуктивності.

Питома вага експлуатаційних витрат у собівартості основних с.-г. культур регіону коливається від 40 до 80% [6]. Питома вага витрати ПММ на виконання основних груп механізованих робіт під час виробництва сільськогосподарських

культур наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Питома вага витрати ПММ за групами робіт, %

Найменування с.-г. культур - експлуатаційні витрати, % їх виробництва	Групи механізованих робіт			
	Обробка ґрунту	Посів	Догляд за посівами	Збір врожаю
Озима пшениця - 40	40	17	9	34
Ярий ячмінь - 77	50	10	-	40
Кукурудза на зерно - 73	40	15	13	32
Кукурудза на силос - 82	32	13	11	44
Горіх - 59	34	8	4	34
Соняшник - 68	40	16	13	31

З представлених даних видно, що найбільш енерговитратними є механізовані роботи з обробки ґрунту та збирання врожаю, оскільки витрата ПММ становить від 32 до 54%. Причому частка прямих експлуатаційних витрат на ґрунтообробку сягає 33%.

Розглянемо також впливом $P_{п}$ геть зниження собівартості. При вивченні кількісних показників одержання продукції зернових колосових культур обґрунтування будуємо на наступній основі

1. Урожай (який визначається родючістю ґрунтів) на 30 % залежить від властивостей ґрунтів [9]. За наслідками масових польових дослідів агрохімічної служби виявлено [8], що кореляційна залежність продуктивності сільськогосподарських культур від окультуреності ґрунтів становить $+0,53$. За цими даними в нечорноземній зоні пайова участь окультуреності ґрунтів у формуванні врожаю у виробничих умовах становить 20,1-23,5%, добрив - 30,5-36,7%, погодних умов - 39,8-49,4%, тобто. не менше половини врожаю визначається кількістю елементів живлення у ґрунті. При ідентичності інших чинників величина врожаю визначається її родючістю, особливо в недостатньому використанні добрив. Тому оцінка ефективної родючості ґрунтів у прогнозі врожайності має першорядне значення.

2. Крім агрохімічного стану ґрунтів, їх родючість залежить також від ущільнення. Ущільнююча дія тракторів [6] по-різному позначається на елементах структури врожаю ячменю. Відвальна та безвідвальна обробки створюють оптимальні умови для розвитку рослин ячменю, на неущільненому ґрунті при одно- та триразовому проходженні техніки по полю. При три- та п'ятикратному проходженні тракторів ущільнення перевищило межі оптимуму. Істотне зниження врожайності спостерігалось за ущільнення ґрунту понад 1,23 г/см. Висота рослин на момент збирання при відвальній обробці зі збільшенням кратності ущільнення збільшується, при безвідвальній, навпаки, - зменшується.

При збільшенні ущільнюючого впливу тракторів на ґрунт структура врожаю ячменю погіршується: знижується маса 1000 зерен, довжина колосу та кількість зерен у колосі при загальній куцистості. Соломиетість ячменю збільшується.

При відвальній та безвідвальній обробці маса 1000 зерен, довжина колосу та кількість зерен у колосі знаходяться на одному рівні. При безвідвальній обробці загальна куцність зменшується, відношення соломки до зерна збільшується порівняно з відвальною. Безвідвальна обробка суттєво знижує врожайність при трьох - та п'ятикратному ущільненні на 0,15 та 0,22 т/га, а відвальна обробка - при п'ятикратному на 0,16 т/га.

Для підвищення врожайності відомі такі рекомендації. В осінній період зяблева обробка ґрунту повинна обов'язково включати лущення стерні попередніх культур. При значному ущільненні ґрунту ходовими системами сільськогосподарських агрегатів необхідне глибоке розпушування без обороту пласта.

Для формування запасів вологи у ґрунті, а також створення розгалуженої мережі капілярних каналів основну обробку в осінній період необхідно виконувати розпушувальними робочими органами без обороту пласта на глибину 35 см і більше, залежно від ступеня ущільнення ґрунту.

З метою зниження кількості проходів агрегатів, а також зниження витрат часу в ґрунтозберігаючих технологіях обробітку сільськогосподарських культур підготовку ґрунту до посіву виконують за один прохід ґрунтообробної машини або поєднують обробітку ґрунту з посівом. Для важких і середніх типів ґрунтів найкраще підходять комбіновані агрегати.

1.2. Способи обробітку ґрунту, витрати паливо-енергетичних ресурсів на їх виконання, їх вплив на родючість

Науці та практиці відомо, що механічна дія - це найбільш сильне антропогенне навантаження у землеробстві. При цьому система землеробства створена для виробництва продукції рослинництва та представлена оранкою та використанням ґрунтів [8, 14, 16, 29-31, 33-36]. Обробітку ґрунту в системі землеробства займає важливе місце. На її частку припадає близько 50% витрат.

Основним завданням технологічного процесу обробітку ґрунту (як підсистеми) є необхідність зміни структурного складу орного шару ґрунту, який має забезпечити оптимальні умови росту та розвитку рослин у конкретних

умовах кожного поля. Виконання цього завдання здійснюється при основній обробці, різновидами та системами якої є дрібна, глибока, відвальна, безвідвальна, ярусна, інтенсивна, мінімальна, нульова, мульчуюча, протиерозійна обробка. Причому системи обробки повинні бути ґрунтозахисними, енергозберігаючими, економічно виправданими та нешкідливими для навколишнього середовища. Виконання цих вимог пов'язане з обґрунтованим вибором та оптимальним поєднанням застосовуваних машин, правильним їх регулюванням та агрегуванням.

Оптимальна щільність ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур - 1000-1300 кг/м³. Зокрема після оранки лугово-чорноземного та лугово-чорноземно-видного ґрунту він досягає 1235-1240 кг/м³, тобто змінюється незначно. Твердість ґрунту в орному горизонті після обробки знижується з 1,21-0,62 МПа до 0,81-0,41 МПа, водночас твердість під впливом ходових систем машин підвищується на 100-300 кг/м³. Багаторазовий прохід великовагової техніки викликаний тим, що сучасні механізовані технологічні процеси особливо на посівах просапних культур, наприклад, соняшнику, кукурудзи включають 13-15 проходів, а цукрових буряків 20-22 проходи. Через сильне переущільнення порушується структурний стан ґрунту, пригнічуються мікробіологічні процеси, знижується врожай. Одночасно із зазначеними факторами далі при оранці ґрунту, ущільнений гусеничними тракторами (масою 13,5-20 т), питомий опір ґрунту зростає на 16-25%, важкими колісними тракторами та автомобілями на 44-65%, транспортними агрегатами (2-3 причепа) на 72-90%, а відповідно йому зростають витрати енергії. При збільшенні щільності ґрунту різко знижується швидкість фільтрації та відбувається накопичення води в орному шарі через порушення капілярних зв'язків із підорним шаром. Перезволоженість орного шару затримує передпосівні обробки та сприяє активному розвитку бур'янів, у цьому випадку необхідний підорний дренаж, що дозволяє відвести воду, що призведе до додаткових витрат енергії. транспортними агрегатами (2-3 причепа) на 72-90%, відповідно йому зростають витрати енергії. При збільшенні щільності ґрунту різко знижується швидкість фільтрації та відбувається накопичення

вологи в орному шарі через порушення капілярних зв'язків із підорним шаром. Передволоженість орного шару затримує передпосівні обробки та сприяє активному розвитку бур'янів, у цьому випадку необхідний підорний дренаж, що дозволяє відвести вологу, що призведе до додаткових витрат енергії.

транспортними агрегатами (2-3 причепа) на 72-90%, відповідно йому зростають витрати енергії. При збільшенні щільності ґрунту різко знижується швидкість фільтрації та відбувається накопичення води в орному шарі через порушення капілярних зв'язків із підорним шаром. Передволоженість орного шару затримує

передпосівні обробки та сприяє активному розвитку бур'янів, у цьому випадку необхідний підорний дренаж, що дозволяє відвести вологу, що призведе до додаткових витрат енергії.

Якість оранки залежить від конструкції корпусу плуга, геометричної форми та розташування його робочої поверхні щодо дна та стінки борозни. За конструкцією розрізняють корпуси відвальні, безвідвальні, вирізні, з ґрунтопоглиблювачем, з висувним долотом, дискові та комбіновані і т.д.

При відвальній системі оранки є можливість якісного загорання поживних залишків, але через розвальні та сівальні борозни, які необхідно ліквідувати, оскільки вони впливають на врожайність, ефективніше гладке

оранка. Вони полягають у тому, що поряд із боротьбою з бур'янами та шкідниками, підвищується ефективна родючість за рахунок переміщення верхнього шару

вниз на глибину 0,2 м, а нижнього – вгору. Змінюючи, таким чином, структуру втраченого верхнього шару на оструктурену в нижньому шарі. При цьому оструктурений нижній шар, опинившись зверху, не має захисту від вітрової та водної ерозії, яка за рахунок перенесення легких фракцій ґрунту (гумусу) вітром водою знижує родючість.

До плугів для оранки належать: фронтальні, човникові, клавішні, балансири на канатній тязі та поворотні, лемішні, дискові плуги. За конструкцією рами плугів бувають з постійною або регульованою шириною захвату. Останні забезпечені шарнірною рамою та механізмом зміни ширини

захвату.

Численні спостереження на Київщині показали, що після лемішної або плужної обробки (рис. 1.1.) для обробки пластів, вирівнювання поля і передпосівної підготовки ґрунту необхідна велика кількість додаткових обробок, таких як боронування, культивуація, дискування, коткування. Іноді після оранки брили землі лежать величезними «валізами». Розбивати їх доводиться важкими ковзанками, звареними в кліті рейками, а потім тільки боронами. Іноді доводиться перед посівом озимини виїжджати з цими знаряддями на полі 10-12 разів.

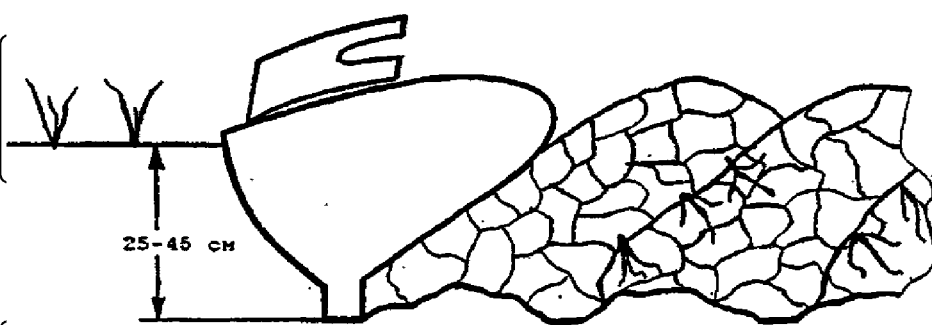


Рис. 1.1. Технологічна схема плужної оранки ґрунту з оборотом пласта на глибину 25-45 см

При оранці під озимі (зазвичай влітку, ранньої осені, коли стоїть спека, що висушує ґрунт) плуг вивертає брили землі, які доводиться розбивати дисками, катками, культиваторами, боронами, колодами, рейками та іншими засобами, витрачаючи при цьому велику кількість енергії матеріальних та трудових ресурсів.

Для основної обробки ґрунту доцільно використовувати дискові (рис. 1.2.), ротарійні плуги, які застосовують для оранки важких, твердих ґрунтів, засмічених корінням дерев, а також для перезволожених ґрунтів, наприклад, при обробітці рісу або після дощу. Якість обробіткy ґрунту даним плугом також потребує додаткових обробок для розбивання грудок.

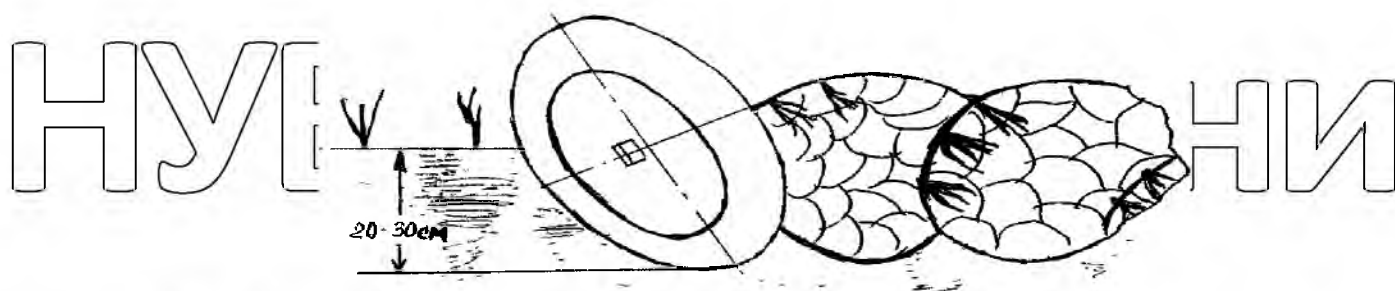


Рис. 1.2. Технологічна схема оранки дисковим плугом

За дотримання технології безвідвальної обробки (рис. 1.3.), а також з урахуванням природно-кліматичних умов та можливості такого фактору як чистота обробки - можна успішно боротися з бур'янами та отримувати високі врожаї, як зернових, так і просапних, у тому числі буряків.

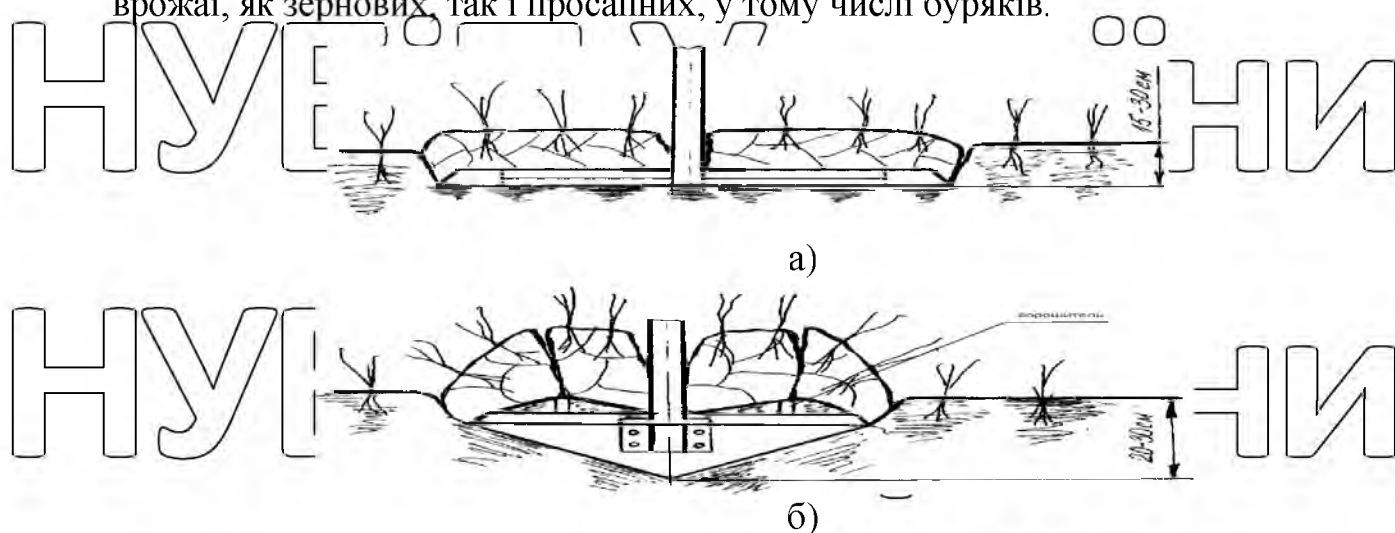


Рис. 1.3. Технологічна схема обробки ґрунту плоскорізальними лапами (вид ззаду)

а - без ворушника; б - з ворушником

При безорному способі (рис. 1.4.), який полягає у висіванні насіння в борозенки на полях, що мають більше 30% покриття з рослинних залишків [29], операція полягає у прорізанні борозенок дисковими ножами (сошниками, культиваторними лапами), приєднаними до сівалки. Сівалки зрізають рослинні залишки, залишаючи ґрунт непошкодженим. Можливий варіант, коли застосовується лапчаста борона, фрезерний культиватор, просапний культиватор, а також пристрій для внесення добрив та гербіцидів. Боротьба із бур'янами проводиться за допомогою гербіцидів.



Рис. 1.4. Загальний вид посівів озимих культур по стерні при безорювальному способі обробітку ґрунту

При гребеневій (кільній або смуговій) обробці, що полягає у висіванні насіння в борозни, сформовані в попередній сезон, сівбі передусім дрібна, смугова обробка, яка знищує ранні бур'яни, розрівнює гребені борозен і очищає їх від рослинних решток. При смуговому обробітку ґрунту трохи більше 30% ґрунту має бути оброблено механічно, а 25% має бути покрито рослинними залишками.

Гербіциди як основний елемент обробки мають високу вартість, ведуть до забруднення середовища та будуть необхідні заходи на рекультивуації ґрунту, що призведе до зростання витрат ресурсів та енергії. Крім цього, не видно підвищення врожаїв на полях Київщини [42].

За даними ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», встановлено, що при застосуванні технологій прямого посіву зернових культур (без операцій пушення ґрунту, відвального фланку та трьох культивуацій) витрати праці знижуються на 40%, витрата палива в 3-4 рази, прямі витрати - у 2-3 рази [34]. Однак п'ятиразове за сезон внесення гербіцидів та висока їх вартість не забезпечують зниження собівартості продукції.

Відомо також [36], що через високу ерозію порушується стабілізація природного середовища, оскільки розораність степового ландшафту Київської області перевищує оптимальний рівень і досягає 90% і вище. Залісненість сільгоспуділь становить 3,2%, тоді як мінімальна лісистість, необхідна в степових ландшафтах, оцінюється в 5-6%. Агроландшафти у краї стали нестійкі: сильна ерозія, замулення малих річок, забруднення водою тощо. Проблему

порушення стабілізації природного середовища не вдається зняти за допомогою лісопосадок, агротехнічних та інших заходів, поки зберігаються граничні розміри ріллі. У зв'язку з чим існує думка, що створення раціональних способів зменшення ерозії, тобто. для підвищення безпеки живої природи необхідно:

➤ виводити активно еродуючі ділянки з сівозміни з наступним залуженням, залісненням (у ряді ареалів необхідно скорочення ріллі до 30%, що надасть степовим ландшафтам стійкість і біологічне різноманіття) і що дозволить реанімувати природу, принесе при щадному режимі сінокосів, та туризму безпосередню користь;

➤ скоротити операції обробітку ґрунту при вирощуванні сільгоспкультур, тобто. забезпечити мінімалізація обробки, що дозволяє розподілити рослинні залишки на рівних полях - 20-30%, а на довгих, нерівних - 50-60%, і знизити витрати праці, паливо, капітальні вкладення, підвищити продуктивність.

Відомі також деякі варіанти технічних засобів, що застосовуються при нульовій обробці ґрунту в США (Кейс, Марлісс, Great-Plains і т.д.) та імпортні варіанти сівалок Конкорд, Кіндза для посіву просапно-технічних культур.

Способи сівби зернових культур, що полягають у прорізанні в ґрунті борозенок дисковими або культиваторними лапами, в які висівається насіння, поєднують операції передпосівної обробки ґрунту та сівби. До ґрунтообробно-посівних комплексів відноситься і комплекс «Флексікойл», що поєднує культивуацію, внесення добрив, посів насіння, вирівнювання та коткування.







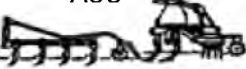





У промислово-розвинених країнах світу, наприклад, у Німеччині застосовують аналогічні способи основного обробітку ґрунту, у тому числі і поєднані з сівбою, а також прямий посів без ґрунтообробки (рис. 1.5.) [18].

Для передпосівного обробітку ґрунту провідна фірма Західної Європи в галузі виробництва сільськогосподарських машин LEMKEN випускає комбіновані знаряддя систем «Компактор» та «Корунд». Причипне знаряддя системи «Компактор» включає такі послідовно встановлені групи робочих органів:

вирівнювально-подрібнююча ковзанка з робочими органами
 кільцеподібної форми;
 долотоподібні розпушувальні лапи;
 два ряди стрілчастих лап;
 вирівнювально-подрібнюючі котки;
 ряд долотоподібних розпушувальних лап;
 прикотувально-вирівнюючі котки, з робочими органами у вигляді
 кілець з поперечними ребордами.

Вищезазначені знаряддя фірми LEMKEN забезпечують виконання всіх
 перерахованих завдань передпосівного обробітку ґрунту за один прохід після
 його основної обробки з мінімальними витратами енергоресурсів.

Для підвищення надійності та довговічності роботи знарядь їх робочі
 органи виконані з пружинної високоякісної сталі, крім сказаного, всі
 розпушувальні робочі органи встановлені на секціях з паралелограмним
 навантаженням до основної рами, що забезпечує сталість встановлення
 оптимальних кутів кришення ґрунту.

Грунтообробка	Види робіт			Спосіб виконання операцій
	Основна	Передпосівна	Під час посіву	
Загальноприйнята із застосуванням плуга		Або 		Роздільно
			Або  	Суміщена
Традиційний плуг із розпушувачем				Суміщений агрегат плуга з комбінаціями для оранки та посіву
	Або 	Або 		Роздільно
		Або  		Суміщена у передпосівному та посівному варіантах

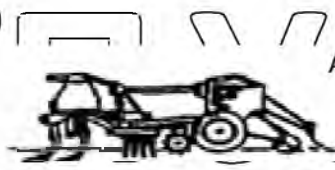





НУБ	 Або 	Суміщений агрегат комбінований для передпосівної обробки та посіву
НУБ Тільки з розпушувачем	 Або  Або 	Суміщений агрегат комбінований для передпосівної обробки та посіву
Прямий посів без ґрунтообробки		Тільки посів

Рис. 1.5. Способи обробки ґрунту та посіву насіння та технічні засоби їх здійснення в Німеччині

Через 1,5-2 тижні після поверхневого розпушування, у період масової появи бур'янів, проводять обробку поля гербіцидами типу 2,4-ТА у дозі 2-2,5 кг/га діючої речовини. На 10-12-й день після внесення гербіцидів проводять неглибоку (на 12-14 см) поверхневу обробку культиваторами-плоскорізами КПШ-5, КПШ-9, КПГ-250 та ін. Ще через 1,5-2 тижні після першої обробки плоскорізами проводять другу, доводячи загальну глибину розпушування до 20-22 см. Для цієї мети використовують плоскорізи-глибокорозпушувачі, чизелі, плуги-розпушувачі «ПРН-40Д» (рис. 1/6.), плуги зі знятими відвалами та інші безвідвальні знаряддя. Якщо між першою та другою безвідвальною обробкою на полі з'являються багаторічні кореневідпорні бур'яни і стоїть тепла волога погода, то за 10-12 днів до останньої (другої) безвідвальної обробки слід застосувати гербіциди типу 2.

НУБІ

НУБІ



НИ

НИ

Рис. 1.6. Плуг-розпушувач «ПРН-40Д»

1 - нахилена під кут 45° стійка; 2 - долото; 3 - змінні ножі-лемеші; 4 - розпушувальна пластинка.

Однак у зв'язку з їхньою високою вартістю та низкою агротехнічних, організаційно-економічних заходів вони не є панацеєю.

На наш погляд, у плані ґрунтозахисної технології та енергозбереження особливий інтерес становлять способи безвідвальної обробки ґрунту, наприклад для суцільної передпосівної та осінньої обробки ґрунту із збереженням на її поверхні стерні, що захищає ґрунт від вітрової ерозії для степової зони застосовується культиватор важкий протиерозійний 3,8 (рис. 1.7.).

НУБІ



НИ

Рис. 1.7. Культиватор важкий протиерозійний КПЕ-3,8

Культиватор КПЕ-3,8, а також плуги чизельні навісні типу ПЧН, ПЧНК, у тому числі плуг-розпушувач блочно-модульного типу ПРБ (рис. 1.8.).

НУБІП УкРАЇНИ



а)



б)



в)



г)

Рис. 1.8. Чизельні плуги

а) - плуг ПЧНК-4,1; б) - плуг чизельний ПЧ-4,5 (глибокородушувач); в) - культиватор сундильної обробки КСВ-6; г) - плуг чизельний ПЧН-3,2 (ПРБ)

З вітчизняних машин для обробки ґрунту під посів озимих за непаровими попередниками застосовується комбінований агрегат, який поєднує операції з дрібного поверхневого розпушування зі знищенням бур'янів, вирівнювання, мульчування поверхневого шару, кришення грудок та прикочування. Наприклад, КАО - комбінований агрегат для пошарової обробки з двоярусними розпушувачами з катком-вирівнювачем і штангою, УНС - універсальний агрегат, що виконує глибоку обробку до 45 см, КУМ - культиватор універсальний, що містить диски для обробки на глибину 6-8 см, вузькозахоплювальні для глибини до 16 см, лопатевий барабанний подрібнювач і котки-упільнювачі. У комплекті КУМ входять батареї голчастих, сферичних дисків, підпошві, стрічасті плоскорізальні лапи та барабанні подрібнювачі ґрунту, а також вирівнювачі та шлейф. Тому може бути 7 модифікацій КУМ. Знаряддя ВПШ застосовуються для обробки парових полів на глибину 4-6 см для зниження витарів, бур'янів та накопичення вологи з повітря.

Робочий орган (рис. 1.9.) для обробки схильних полів, схильних до водної

ерозії, входить до комплексу комбінованого агрегату (рис. 1.10).

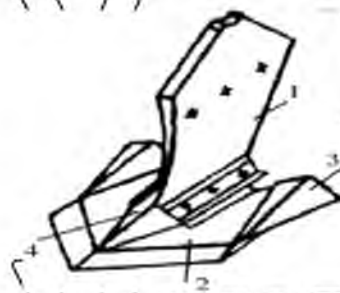


Рис. 1.9. Робочий орган

1 - стійка; 2 - стрілчаста лапа; 3 - бічні ребра; 4 - різак

Призначення комбінованих агрегатів - знизити витрати енергії та кількість

механізованих впливів на ґрунт. Комбіновані агрегати, які за один прохід по полю здійснюють до восьми операцій: боронування, внесення добрив, культивування, вирівнювання ґрунту, посів, коткування посівів і т.д. економічно відповідно краще.

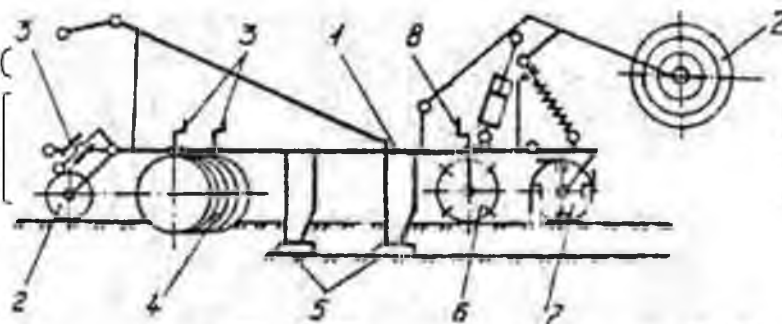


Рис. 1.10. Конструктивно-технологічна схема ґрунтообробного комбінованого агрегату

1 - рама; 2 - опорні колеса; 3 - механізм регулювання; 4 - дискові батареї;

5 - плоскорізальні робочі органи; 6 - лопатевий барабан;

7 - зубна ковзанка; 8 - стійка

Витомий ви р знарядь для безвідвальної обробки на 40-45% нижче, ніж у знарядь відвальник.

Встановлено: чим менш сприятливі ґрунтово-кліматичні та погодні умови,

тим більшою мірою «неадаптивність» сільськогосподарського виробництва негативно позначається на ефективності, підвищує небезпеку забруднення та руйнування природного середовища. Найбільш ефективно подолати негативні тенденції у розвитку сільськогосподарського виробництва можна на основі

повної реалізації принципів адаптивності, що передбачають диференційований вплив на систему «грунт + рослина», з урахуванням просторової та тимчасової мінливості параметрів родючості ґрунту та стану рослин. Достатньо вивіреною концепцією управління станом агроєкосистем при обробці ґрунту є чергування

відвальних та безвідвальних обробітків ґрунту з можливістю застосування комбінованих різноглибинних впливів на ґрунт, що поєднують відвальні, безвідвальні та поверхневі обробки. Виконані численні дослідження свідчать про неприпустимість шаблонних підходів та поспішних рекомендацій щодо

обробітку ґрунту до посіву насіння як для різних ґрунтово-кліматичних зон, так і в межах однієї зони для господарств з різними агроєкологічними умовами.

Виділимо також основні елементи робочих органів (рис. 1.11.):

при корпусній обробці ґрунту плугом та лущильником - це леміш відвал, польова дошка, стійка; під час обробки дисковим плугом чи дискатором - це сферичні диски;

при безвідвальній обробці ґрунту - це чизельні лапи на стійках; при обробці комбінованими знаряддями - батареї дисків, розпушувальні лапи, котки.

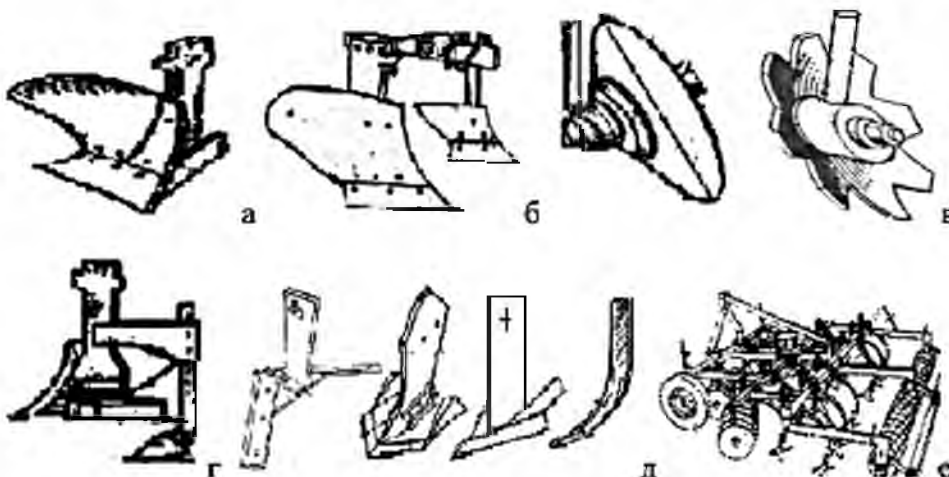


Рис. 1. 11. Схеми типів робочих органів при розпушуванні напівпару

а - з лемішним корпусом; б - з лемішним корпусом з передплужником; в - з дисковим корпусом; г - з лемішним корпусом з ґрунторопоглищувачем; д - з безвідвальними плоскорізальними (чизельними) лапами; е - безвідвальний комбінований

Використовуючи наведені вище матеріали, а також нами розроблено класифікацію існуючих засобів обробітку ґрунту (табл. 1.2.).

Таблиця 1.2

Класифікація засобів обробітку ґрунту

Призначення	Засоби обробітку ґрунту		
	Відвальні	Безвідвальні	Комбіновані
Для основного обробітку ґрунту або суцільного	<ol style="list-style-type: none"> Плуги лемішні: навісні, напівнавісні, поворотні, розсувні, гідролізовані, універсальні, уніфіковані, комбіновані, польові, болотні, для кам'янистих ґрунтів, з гвинтовим відвалом, з роторним відвалом; тракторні кл. 0,9-5 -ширина захоплення робочого органу – 20-50 см Плуги лемішні оборотні для гладкої фланки; тракторні кл. 1,4-5 -ширина захоплення робочого органу – 40-45 див. 	<ol style="list-style-type: none"> Плуг чизельний, тракторний (кл. 3-5); Чизелі шириною 4,5-6 см або стрілочасті лапи 30-50 см Плуг розпушувач «ПРН-40Д». Плоскоріз-глибокорозпушувач; тракторний кл. 4-5 із плоскорізною лапою шириною 110-250 см. Борона (луцильник) дискова, тракторна кл. 3; 4; 5; диски, диски вирізні діаметром 45; 50; 57; 65; 75. 	<ol style="list-style-type: none"> Агрегат АП-4. Культиватор КН-7,2. Культиватор КПС-4Г. Культиватор-розпушувач універсальний КРУ-3,7. Розпушувач вирівнювач ущільнювач РВУ-6. Культиватор комбінований напівнавісний ККП-3,7. Агрегат комбінований АКП-5. Агрегат ґрунтообробний комбінований АПК Культиватор безланцюжковий КШУ.
Для основного обробітку ґрунту або суцільного	<ol style="list-style-type: none"> Плуги двоярусні, навісні, для глибокої обробки; тракторні кл. 1,4-3; -ширина захвату робочого органу -30-42 см Луцильники тракторні кл. 0,9-3; навісні; ширина захвату робочого органу 20-40 см Плуг дисковий навісний; тракторний кл. 3; діаметр диска - 65-70 см 	<ol style="list-style-type: none"> Культиватори для суцільної обробки ґрунту; тракторні кл. 1,4-3; стрілочасті лапи із шириною 25-37 см. 	<ol style="list-style-type: none"> Культиватор тяжкий КТ-3,9Г Культиватор протирозійний для суцільної обробки ґрунту; тракторні кл. 1,4-3; стрілочасті лапи із шириною 23-37 см.

У представленій класифікації відображені відвальні, безвідвальні та комбіновані засоби обробітку ґрунту, у тому числі енергетичні засоби та типи робочих органів. На рис. 1.12. показано схему витрат палива згідно з нормативами [34, 36] при виконанні процесів обробітку ґрунту за операціями.

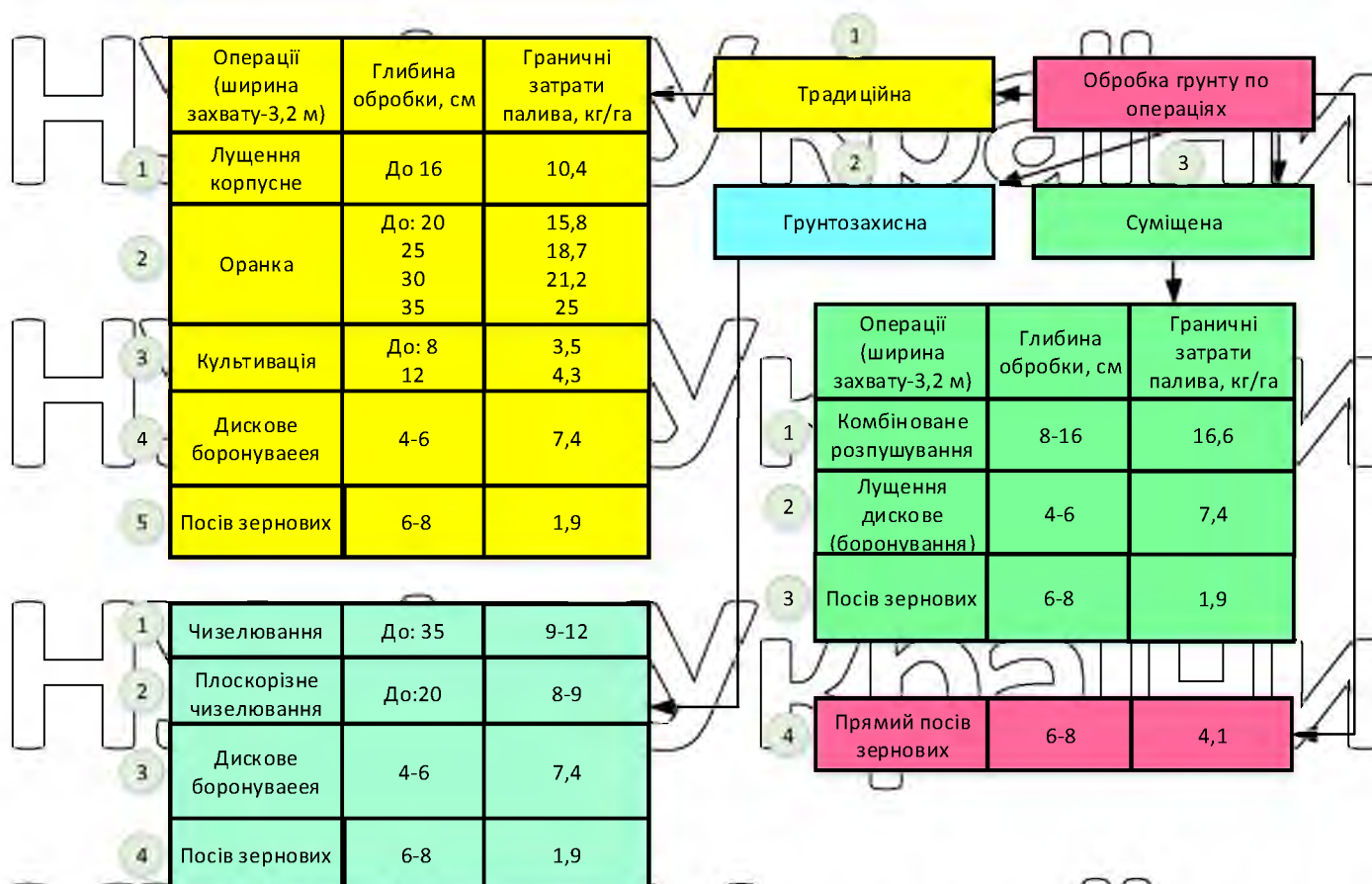


Рис. 1.12. Схема витрат палива при обробці ґрунту за операціями

1. Процеси містять операції традиційної технології 1 обробки ґрунту, ґрунтозахисної (протиерозійної) 2, поєднаної (комбінованої) 3 і прямого посіву 5 по стерні. Традиційна технологія обробки ґрунту заснована на відвальному оранці. Різновидами мінімальної обробки ґрунту є ґрунтозахисна технологія, під якою мають на увазі всі технології, при яких не застосовують ні весняного, ні весняного оранки, але які забезпечують залишення стерні на поверхні поля або з урахуванням посівної техніки покриття ґрунту мульчів; поєднана комбінована та нульова технологія (прямий посів). Нульова - це відсутність обробки ґрунту, за винятком вщиву сівалки. Технологія No-till - скорочена назва нульової технології в рослинництві, при якій проводиться посів насіння в ґрунт, який не піддавався ніякій обробці, а нульова обробка ґрунту (no tillage) передбачає лише один контакт ґрунтообробних знарядь із ґрунтом - під час посіву. Для боротьби з бур'янами активно використовуються гербициди.

Традиційна технологія 1 - це операції роздільної обробки ґрунту, такі як: лушення лемішне 1.1, оранка 1.2 (до 20 см для зернових), культивуація 1.3 (до 12

і до 8 см), дискове боронування 1.4 та посів 1.5. Сума витрат палива становить від 39,2 до 43,3 кг/га.

Грунтозахисна технологія 2 складається з операцій чизелювання 2.1, плоскорізного чизелювання 2.2, дискового боронування 2.3 та посіву 2.4. Сума витрат складає 33,3 кг/га.

Поєднана обробка ґрунту 3 за допомогою комбінованих знарядь з поєднанням операцій лушення, плоскорізного розпушування, розбивання ґрунтових агрегатів та ущільнення котками містить операції: комбінованого розпушування 3.1, лушення дискового або боронування 3.2 та посіву 3.3. Сума витрат складає 25,9 кг/га.

Прямий посів 4 здійснюється при виконанні нульової обробки ґрунту, а витрата палива становить 4,1 кг/га.

Таким чином, при підготовці ґрунту під зернові культури при оранці відвальними плугами ПЛН-8-40 питома витрата палива при оранці на глибину до 20 см становить 15,8 кг/га, а при оранці на глибину 35 см високий він коливається в межах 18- 25 кг/га. Крім цього, за негативних погодних умов для забезпечення якості обробки необхідні додаткові операції, наприклад, обробка дисковою бороною, питома витрата палива якої 7,4 кг/га, що тягне за собою додаткову витрату палива, від 37 до 125,8 кг/га (відповідно на 5 -17 проходів). Збільшення кількості проходів ґрунтообробних агрегатів сприяють збільшенню ерозії ґрунту та ущільненню до 1500 кг/м³, тобто деградації, а через обій пласта відбувається консервація насіння бур'янів.

При безвідвальній обробці ґрунту культиватором важким протиерозійним КПЕ-3/8Г або плугами з чизельними робочими органами ПЧН-3,2 (ПРБ-3) питома витрата палива при обробці на глибину до 35см коливається в межах 9-12 кг/га. Кількість додаткових проходів, наприклад, дисковою бороною на руйнування ґрунтових агрегатів необхідно в 3-5 разів менше, тобто. витрати палива на додаткові проходи знижуються до 25,2 кг/га. Зменшення кількості проходів знижує ерозію, ущільнення та консервацію насіння бур'янів.

Застосування комбінованих різноглибинних впливів на ґрунт є досить

вивіреною концепцією, а чергування відвальних та безвідвальних обробітків ґрунту дає можливість керувати станом агроєкосистеми.

При безорному обробітку ґрунту витрата палива знижується до мінімального, знижується також ерозія, але знадобиться переоснащення всього механізованого парку рушіїв і сільськогосподарських машин, оскільки переважно даної технології використовуються імпортні технічні засоби, і навіть інтенсивне застосування мінеральних добрив і пестицидів. При цьому зниження собівартості продукції необхідно зниження добрив і пестицидів.

1.4. Обґрунтування наукової проблеми

У зв'язку з тим, що собівартість виробленої продукції постає як чинник конкурентоспроможності виробленої продукції, що дуже важливо у зв'язку зі вступом України до СОТ, то ресурсозбереження в сільськогосподарській галузі України необхідно приділяти особливу увагу.

Наприклад, сільгоспвиробництво СФГ «Хлібодар» також відрізняється високими витратами енергії, оскільки при збільшенні врожайності зернових колосових у 2-3 рази необхідно збільшення витрат енергії в 10 разів. Зростання витрат енергії пояснюється тим, що інтенсифікація землеробства веде до деградації ґрунтового покриву. В даний період у СФГ «Хлібодар» ущільнення та переуміцнення ґрунтів зросло в 2,9 рази, ерозії схильне 32% території, неефективно утилізуються пожнивні та стеблові відходи рослинництва (частина спалюється), виявився дефіцит балансу гумусу (приблизно 0,46 т/га). Збільшити врожайність намагаються високими дозами мінеральних добрив (300 кг/га) та пестицидів (2-3 кг/га), хоча для поповнення балансу гумусу необхідні органічні добрива з гною, які через недооцінку (через забруднення ґрунту - нітрати та бур'яни), а також високих доз (40-60 т/га) не вносять. Найбільш сильно впливають на агроландшафти країни існуючі механізовані процеси основного обробітку ґрунту, збереження вологи та боротьби з бур'яном, для яких нормована питома витрата палива при відвальній обробці становить 25 кг/га, а з додатковими обробками плюс 81,4-125,4 кг/га сягає 106,4-150,4 кг/га. При

безвідвальної обробці ґрунту відповідно 37,2 кг/га. Суцільна обробка ґрунтів гербіцидами, а рослин пестицидами, а також застосування у великих кількостях (до 300 кг/га) мінеральних замість органічних добрив ведуть до забруднення ґрунтів і, відповідно, до збільшення витрат на рекультивацию. Тому проводимо необхідний пошук шляхів зниження загальних витрат на ґрунтообробку.

1. Зниження опору ґрунту робочими органами.
2. Використанням робочих машин, що вимагають менше витрат енергії на роботу.

3. Зниження фактора хімічного впливу (навантаження) мінеральними добривами та пестицидами на агроландшафти.

4. Збільшення внесення на ґрунт органічних добрив із гною.
5. Формування груп машин на окремих технологічних операціях з меншими витратами на виробництво даного виду робіт.

6. Зниження ущільнення ґрунту при окремих технологічних операціях основного обробітку ґрунту.

7. Застосування нових технологій обробітку ґрунту - мінімального, нульового, що дозволяють максимально скоротити кількість проходів по полю.

8. Обов'язкове дотримання агротехнічних термінів при виробництві окремих технологічних операцій.

У сільськогосподарському виробництві немає комплексного підходу до розробки інженерних методів та технічних рішень, які забезпечать ресурсозбереження при запобіганні деградації ґрунтів (збереженні родючості).

Так при інтенсивному землеробстві, високі витрати на основну обробку ґрунту, на які припадає 18-40% енергетичних витрат та 25% трудових витрат.

Таким чином, наукова проблема полягає в наступному: з одного боку існують ресурсозберігаючі технологічні прийоми в землеробстві пов'язані зі зменшенням кількості операцій обробітку ґрунту (наприклад, нульова або безвідвальна обробка, суміщення операцій), також є високопродуктивні знаряддя, що володіють меншими опорами при обробітку ґрунту, але все це погано впроваджуються через відсутність комплексного підходу до всієї

технології (технологічного процесу) ґрунтообробки. Основою комплексного підходу до формування груп агрегатів може стати імітаційне моделювання процесу функціонування ґрунтообробних агрегатів, що дозволяє отримати інформацію максимально наближену до дійсності та стати складовою програмного забезпечення для точного землеробства.

Як наукову гіпотезу висувасмо таке: наявність адекватного сьогодишньому економічному стану сільськогосподарських підприємств методологічного підходу до вибору типу та кількості агрегатів для основного обробітку ґрунту, до впровадження та вдосконалення нових конструктивно-технологічних рішень робочих машин дозволять скоротити потреби в ресурсах цих організацій. Гіпотезу можна інтерпретувати графічно (рис. 1.22.).

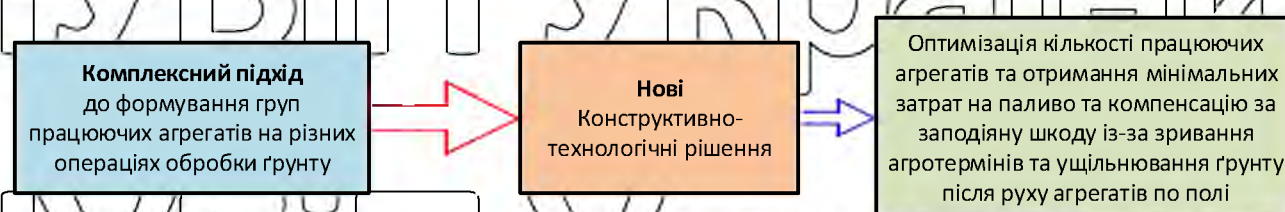


Рис. 1.22. Схеми комплексного підходу до зниження ресурсів. Витрати загальних фінансових витрат, а також зниження механічного та хімічного впливу (переущільнення та ерозії ґрунту, забруднень добривами та пестицидами, повернення органічної рослинної сировини, використання якісних органічних речовин у меншій дозі), і т.д. у ґрунтообробці.

РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ ЩІЛОВОЇ ФУНКЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ОСНОВНОЇ ОБРОБКИ ҐРУНТУ

2.1. Стан сучасних досліджень у галузі обробітку ґрунту

Енергозберігаючі ґрунтообробні машини, в основу яких покладено питання управління родючістю, впливу робочих органів на ґрунт та адаптованості застосовуваних знарядь до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Напрямок зниження енергоємності шляхом пошарової обробки, при якій верхній ерозійнонебезпечний шар ґрунту розпушується плоскорізальними робочими органами, а нижній - щілерізами є досить перспективним для створення нових робочих органів.

Вплив ходових систем тракторів та мобільної сільськогосподарської техніки на ґрунт при сучасних технологіях обробітку польових культур призводить до погіршення агрофізичних, біологічних та технологічних властивостей орних шарів: щільність збільшується на $0,10 \dots 0,22 \text{ г/см}^3$, твердість - на $8 \dots 10 \text{ кг/см}^2$, загальна пористість та інпаруватість аерації зменшується на $5 \dots 14 \%$, засміченість посівів збільшується на $30 \dots 70\%$. Внаслідок цього недобір

урожаю польових культур становить від 6 до 15% і збільшується із зростанням питомого тиску тракторів на ґрунт та числа їх проходів по полю. При систематичному багаторазовому впливі ходових систем тракторів та ґрунтообробної техніки на ґрунт відбувається накопичення та збереження залишкової деформації, особливо в підорних шарах. Причому це явище носить

кумулятивний характер і йде швидше, ніж процес саморозпушування дерново-підзолистого ґрунту під дією природних факторів. Істотне зниження врожайності озимої пшениці та картоплі від переущільнення підорних шарів настає після 6 проходів у сумі за три роки тракторів Т-150 та Т-150К та 4 проходів трактора

протягом двох років. При виключенні механічного впливу шар ґрунту 20-40 см саморозпушується до рівноважного стану лише через 16 місяців. При механічній обробці ущільненого ґрунту погіршується якість її оброблення: глибина поверхні ріллі збільшується в 1,5-2 рази, коефіцієнт кришення пласта в 1,2-1,3 рази, опір

при обробці зростає на 52%. Застосування на посіві зернових культур широкозахватних та комбінованих посівних агрегатів значно зменшує негативний вплив ходових систем тракторів на ґрунт та врожайність польових культур. Посівні агрегати у складі гусеничних і пневмогусеничних тракторів з

трьома сівалками С3-3,6 менше ущільнюють ґрунт і знижують врожайність польових культур суцільної сівби порівняно з агрегатами, що включають колісні трактори Т-150К і К-700. Для поліпшення фітосанітарного стану ґрунту та посівів періодичне глибоке чизелювання необхідно поєднувати з більш дрібними

відвальними та безвідвальними обробками та застосуванням вискоефективних

гербіцидів, особливо у боротьбі зі злаковими бур'янами. Для зменшення негативного впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на родючість дерново-підзолистого ґрунту застосовувати мінімальні обробки, широкозахватні та комбіновані ґрунтообробно-посівні агрегати у складі з тракторами, рушії яких

забезпечують агротехнічно допустимий рівень деформації. Встановлено високу ефективність чизелювання на глибину 38..40 см у системі основного обробітку ґрунту під озими та на глибину. У той самий час слід зазначити, що сучасні технології обробітку сільськогосподарських культур, засновані на багаторазових

проходах все більш важких машинно-тракторних агрегатів, прийшли у

протиріччя з природними природоохоронними процесами. Спостерігається дедалі більше розпорошення верхнього та ущільнення нижнього шарів ґрунту. Внаслідок цього розширюються зони вітрової та водної ерозії, знижується

ефективність добрив, що вносяться, і падає врожайність сільськогосподарських культур. На перший план висуваються питання, пов'язані з екологією,

розширенням відтворенням ґрунтової родючості, зниженням енергоємності процесу обробки, скороченням кількості проходів, поєднанням низки операцій на єдиному технологічному процесі. У зв'язку з чим розроблений плуг-плоскоріз

із шириною захоплення 2,4м. Раціональними розташуваннями, що забезпечують

мінімальний тяговий опір при оптимальному навантаженні на опорне колесо та дотримання агротехнічних вимог рівномірності глибини ходу робочих органів, є переднє положення лапи, заднє положення опорного колеса, нижнє положення

осі підвісу та ліве положення лінії тяги. При русі орного агрегату полем човниковим способом залишається чергування стерневих куліс шириною 1,9 м і зораних ділянок поля шириною 2,8 м. Даний запропонований робочий орган можна рекомендувати поширенню для певного виду ґрунтів.

Широко використовувані оборотні плуги, що працюють на старих принципах відвалювання пласта убік, дещо покращують якість обробки, але мають серйозні техніко-експлуатаційні недоліки. У зв'язку з цим актуальною науково-технічною проблемою є розробка альтернативної технології оранки, що

передбачає повний обіг ґрунтових пластів та їх укладання без поперечного

усунення у власні борозни. В результаті орний шар не зміщується убік, як за

традиційному способі оранки, а залишається на своєму місці. Обгорнуті на 180°

ґрунтові пласти утворюють вирівняний злитий ґрунтовий горизонт, що дає

підставу назвати таку технологію обробки ґрунту гладким оранням. В умовах

центральної та південної областей України, є основними енергозасобами, що

використовуються при обробці ґрунту. Трактори провідних світових

виробників, що надходять до України, мають потужність 200-400 кВт і більше

(«Джон Дір», «Катерпіллер», «Клаас», «Фенд» та ін.). Ефективність

використання тягових можливостей тракторів значною мірою залежить від

потенційних можливостей робочих машин, які агрегуються з ними.

Встановлено, удосконалену енерго-вологозберігаючу, екологічно безпечну

технологію передпосівної підготовки ґрунту, що полягає в послідовному впливі

на неї в єдиному технологічному процесі за один прохід агрегату набору робочих

органів, що здійснюють дворазове дискування суцільну поверхневу плоскорізну

обробку (на глибину більшу, ніж дискування), вирівнювання та кришення ґрунту

або поверхневу плоскорізну обробку, додаткове кришення та ущільнення

поверхневого шару ґрунту. Розроблена технологія поверхневої обробки

ґрунту з використанням блочно-модульного агрегату знижує ущільнення ґрунту,

забезпечує утворення мульчуючого поверхневого шару, в якому зберігається

стерня та інші органічні залишки, внаслідок створення кращих водно-фізичних

умов, підвищується біологічна активність ґрунту. При такій обробці

поверхневий шар ґрунту більш стійкий до руйнування його вітрової та водної ерозії, ніж забезпечується екологічна безпека.

Чизельна обробка на глибину 35-40 см руйнує «плужну підшву», впливає на запас та перерозподіл за шарами ґрунту продуктивної вологи та кореневої маси рослин. Запас продуктивної вологи у шарі 0-30 см у період сівби ярих на 19-38% вище за чизельним фоном. Розвиток кореневої маси озимої пшениці на 40-45% також вищий за чизельним тілом щодо відвалу. Нова конструкція чизельного робочого органу з відвалом, що переміщається вздовж стійки,

дозволяє розпушувати ґрунт на глибину чуйності рослин (до 45 см) і обертає

поверхневий шар на 15-20 см, де найактивніше протікають процеси гумусоутворення. Комбінацією висоти розташування відвалів досягається гребнистість ґрунту, що виключає або суттєво знижує волю ерозію на схилених землях.

Заміна у технології виробництва ярої пшениці оранки плугом ПН-4-35

на чизелювання знаряддям ПЧВ-5-40 (з відвалом) знижує кількість нормозмін на

21% та витрата палива на 20%, а в загальній технології виробництва пшениці, відповідно, на 10,9% та 8,6% з підвищенням урожайності на 10...15%. На рис. 2.1 схематично показана його нова конструкція чизельного робочого органу (патент

України №2399177 від 20.09.2010 р.). Ширина стійки ($B = 30\text{мм}$), а ширина

долота більша ($B_d \neq 60\text{мм}$) або дорівнює ширині стійки. При цьому робочий

орган може бути застосований як чизельний глибокорозпушувач або щільник.

Результати досліджень даного автора можна використовувати для формування високоефективних агрегатів для основної обробки ґрунту.

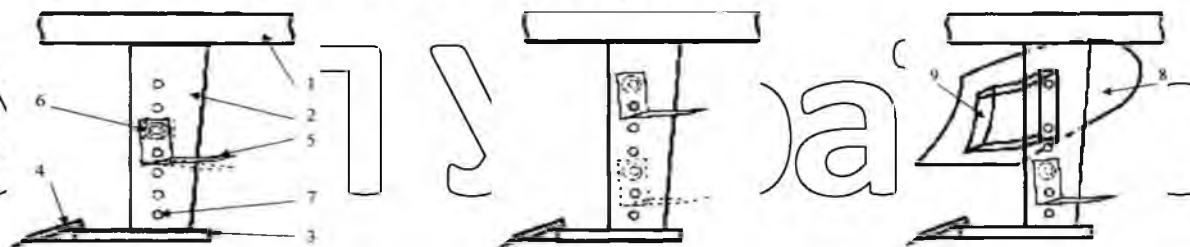


Рис. 2.1. Робочий орган «Ранчо»

1 - рама, 2 - стійки, 3 - черевик, 4 - накладне долото, 5 - пара підрізних крил,

6 - пара болтів і втулки з ексцентриковими зсувами, 7 - отвори, 8 - відвал,

9 - кронштейн кріплення відвалу

При цьому аналіз витрат енергії у технологічних процесах сільськогосподарського призначення показує, що корисна частина процесу потребує значно менших витрат, ніж процес загалом. Обов'язковою особливістю

грунтообробних машин є те, що їх робочі органи повинні бути винесені в зону взаємодії з середовищем, що переробляється, тобто з ґрунтом. Цей виніс

здійснюється стійкою, частина якої теж взаємодіє із ґрунтом. Ця взаємодія потребує додаткових витрат енергії (до 40%) і ніяк не впливає на виконання технологічного процесу обробки ґрунту. Отже, рахунок оптимізації параметрів

стійки можна знизити енергоємність процесу обробки ґрунту. Встановлено, що

оптимальною формою поперечного перерізу стійки є площина, обмежена кривою еліпса, одна з вершин якого має закінчуватися гострим кутом, величиною не більше 50 градусів. Така форма забезпечує отримання

мінімального значення абсолютної швидкості ґрунту, що відкидається, а, отже,

невеликі енергетичні витрати на його переміщення. Але може бути найбільш

важливим є те, що незначне зміщення ґрунту сприяє виконанню вимог агротехніки щодо вологозбереження, розпилення ґрунту, збереження егерні (при роботі на стерневому фоні) та ін. Розроблена методика дозволяє визначити

основні параметри стійки (довжину осей еліпса, рівняння дотичної та її довжину,

кут різання та ін.), що сприяє зниженню енергоємності процесу обробки ґрунту та підвищенню якості цієї обробки.

Екологічною сумісністю цієї системи та зовнішнього середовища прийнято сукупність показників, що забезпечують мінімальне ущільнення

ґрунту та відтворення культурної рослинності. Реалізація цієї системи дозволяє

оцінити завдання екологічних збитків у конкретних умовах, вибрати відповідну систему машин і технологію, уточнювати параметри ходових систем тракторів і

машин. За умови забезпечення розрахункової продуктивності, у кожному конкретному випадку на систему накладаються обмеження щодо ступеня

ущільнення та мінералізації ґрунтів відповідно до вимог кожного регіону. Як критерії екологічної оцінки ущільнюючого впливу ходових систем

сільськогосподарської техніки застосовуються такі показники: ступінь

фарбування ґрунту при обробітці; глибина розповсюдження ущільнення; глибина колії; зміна характеристик міцності ґрунту; розщільнення ґрунту під дією природних факторів; порушення ґрунтового покриття; мінералізація ґрунтів, що виражається у переході поживних речовин у засвоювані форми під впливом буксування рушіїв. Одним з важливих параметрів взаємозв'язку системи рушій-ґрунт є несуча здатність ґрунтових опорних основ, що характеризують прохідність МГА та ущільнення ґрунту. Аналітично визначено значення критерію колієутворення:

$$K_o = \frac{g_o}{g_s} = 0,293 \quad (2.1)$$

де g_o – несуча здатність ґрунтових опорних основ;
 g_s – ущільнення ґрунту.

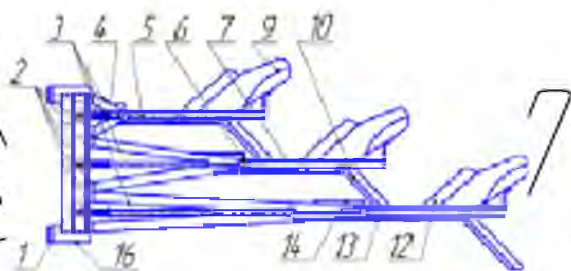
Отримано залежність для визначення величини та характеру розподілу нормального тиску на ґрунт по ланці гусеничного рушія та всій опорній ділянці гусениці, яка включає як конструктивні основні параметри ходової системи, так і експлуатаційні показники трактора. Результати розрахунків за запропонованою залежністю добре узгоджуються з експериментальними даними (розбіжності несуттєві при 5% рівні значимості). Встановлено, що глибина колії під рушієм є сумою деформацій ущільнення та зрушень. На підставі цього положення виведені математичні моделі глибини колії та ущільнення ґрунту в колії при одноразовому та багаторазових проходах рушія з урахуванням лінійних та нелінійних складових деформацій ущільнення та зсувів ґрунту. Для практичних розрахунків глибини колії та ущільнення ґрунту в колії достатньо знати чисельні значення трьох величин: коефіцієнта лінійної деформації, несучу здатність та граничну деформацію. При повторних проходах машин відбувається інтенсивніше накопичення деформації, що може призвести до руйнації структури ґрунтів. В результаті досліджень на полігоні впливу гусеничного трактора визначено допустимі з точки зору екології межі ущільнення ґрунту та порушення трав'яного покриття. Так, для зволжених мінеральних ґрунтів відношення q_{max}/q_{cp} має бути в межах 1,3-1,5, для ґрунтів з дерновим покриттям екологічно допустимий тиск q_e має бути в межах 0,012-0,018 МПа.

Ступінь порушення трав'яного покриву має перевищувати 25-30%. В результаті обробки літературних даних та власних досліджень складено шкалу характеристики рослинних властивостей дерново-підзолистого ґрунту при різній щільності встановлено, що граничне значення щільності, при якому припиняється або сильно утруднюється зростання коренів рослин, знаходиться в діапазоні 1,65-1,70 г/см³.

На основі аналізу взаємодії елементів робочих органів класичного плуга з ґрунтом розроблено плуг з урівноваженими корпусами, у якого точки докладання по координатних осях результуючих сил впливу корпусу на ґрунт при оранці поєднуються. Встановлено його конструктивні параметри, зокрема, у проекції на поздовжньо-вертикальну площину раціональна відстань від носка леміша до осі вертикального шарніра 0,23 м, до осі ножа - 0,315 м, а до осі леміша сусіднього корпусу 0,77 м. Для обробки поверхневого шару фізично стиглих ґрунтів спільно з плугом, або в зчипці раціонально застосовувати

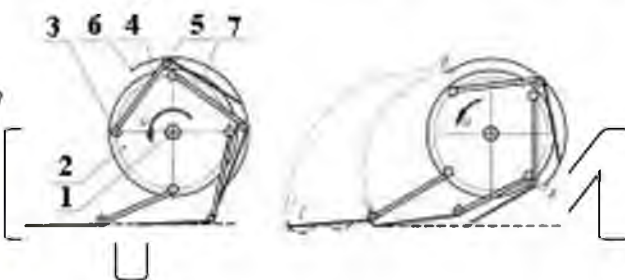
комбіноване знаряддя шириною захвату 1,2 м що містить плуг (рис. 2.2.) та ударний пристрій (рис. 2.2.). Запропоновані комбіновані агрегати можна включити як один із варіантів у комплекси з обробітку ґрунту.

комбіноване знаряддя шириною захвату 1,2 м що містить плуг (рис. 2.2.) та ударний пристрій (рис. 2.2.). Запропоновані комбіновані агрегати можна включити як один із варіантів у комплекси з обробітку ґрунту.



1 - начіпний пристрій; 2 - горизонтальний шарнір; 3 - гряділь; 4 - амортизаційний пристрій; 5 - ланцюг; 6 - вертикальний шарнір; 7 - повідець; 8 - елементи кріплення; 9 - відвал; 10 - лівий леміш; 11 - кріплення лівого леміша; 12 - правий леміш; 13 - ніж; 14 - черевик грядля; 15 - пружина ножа; 16 - черевик навісного пристрою

Рис. 2.1. Схема плуга вид зверху



1 - вал; 2 - диск; 3 - вісь повідців; 4 - повідець; 5 - вісь; 6 - напрямна; 7 - робочі органи

Рис. 2.2. Схема ударного пристрою до комбінованого знаряддя обробітку ґрунту.

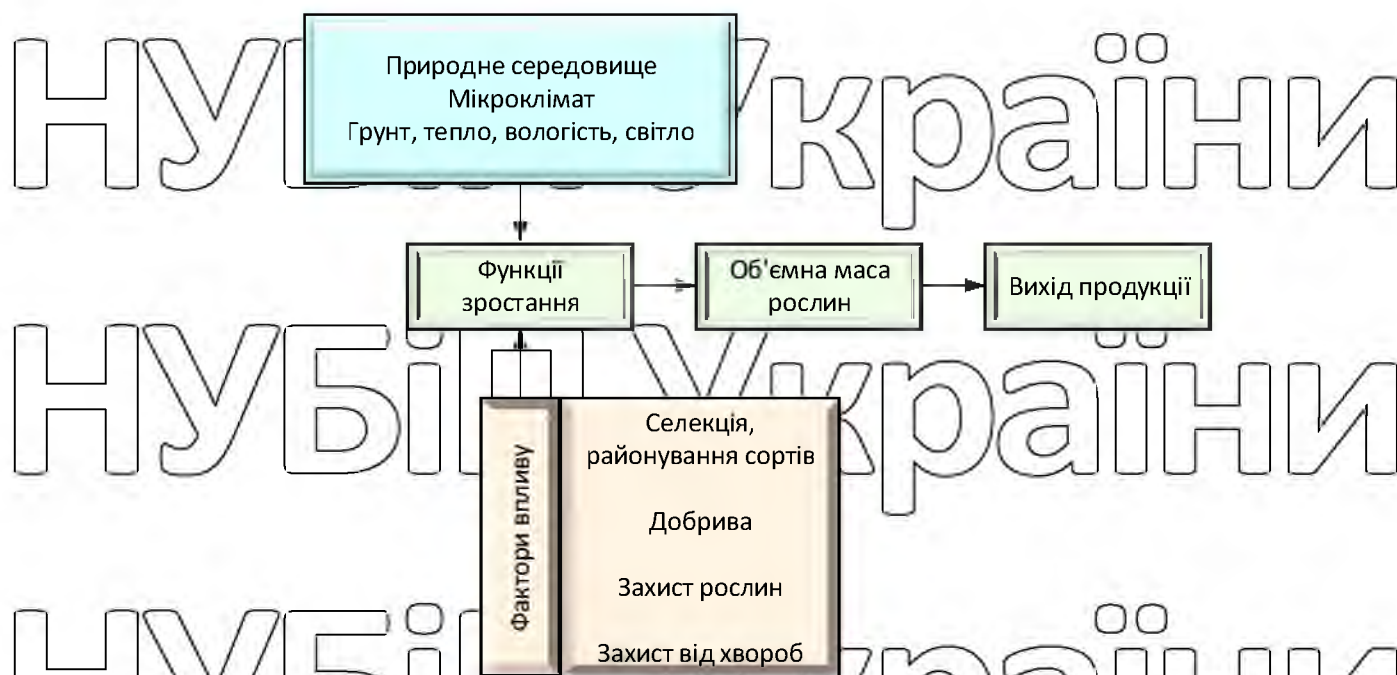


Рис. 2.3. Функціональна модель зростання культури

Представлені методики:

➤ завчасного обліку погодних умов, що складаються, при сезонному використанні механізованих технологічних комплексів;

➤ збирання інформації та виявлення залежностей експлуатаційно-технологічних показників використання машинно-тракторних агрегатів від погодних умов;

➤ складання оптимальних сезонних розкладів функціонування механізованих технологічних комплексів;

➤ імітаційного моделювання сезонного використання механізованих технологічних комплексів у виробничих процесах рослинництва;

➤ проектування стратегічного складу МТП на формування механізованих технологічних комплексів та його сезонного використання. Під час упорядкування плану механізованих робіт досліджувався подекадний хід теплозабезпечення під час проведення робіт. Впровадження методів оптимізації сезонного використання механізованих технологічних комплексів у виробничих

процесах рослинництва дозволяє в 1,3-1,4 рази підвищити продуктивність праці з 13-15%-ним зниженням комплексних витрат. Оригінальний підхід до дослідження як імітаційного моделювання дозволив отримати адекватні дані

визначення енерговитрат. Такі імітаційні моделі можуть бути частиною програмного забезпечення для точного землеробства.

Продемонстровано обґрунтування оптимальної системи ресурсозберігаючих технологій комплексного збирання зернових колосових культур з їх технічним забезпеченням та представлено три рівні ієрархії:

оптимізація системи ресурсозберігаючих технологій комплексного збирання зернових колосових культур;

оптимізація технічного оснащення обраної системи технологій із обґрунтуванням типорозмірного ряду комбайнів;

оптимізація параметрів та режимів роботи багатofункціонального збирально-ґрунтообробного агрегату (ЗГА) на базі енергонасичених повнопривідних комбайнів класів 8-12 кг/с та вище з метою підвищення ефективності їх використання на інших польових роботах (рис. 2.4.).

Пропонована технологія збирання має перевагу порівняно з роздільним виконанням операцій з економії енергії та витрат праці: сукупні витрати енергії знижуються на 19,5%, а трудові витрати – у 2,8 рази. Параметри оптимізації тяговий опір причіпного агрегату при масі комбайна 19,8 т не має перевищувати 34,9 кН.

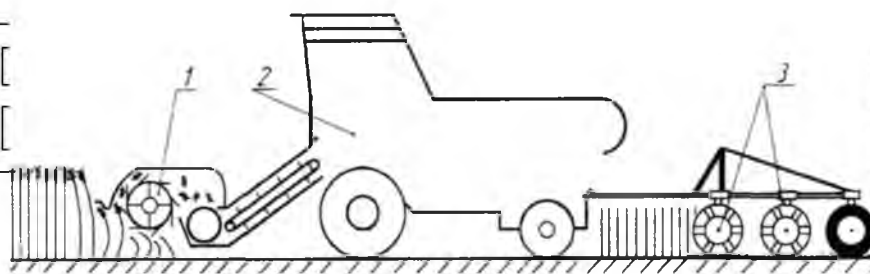


Рис. 2.4. Технологічна схема ЗГА

1 – жниварка; 2 – комбайн; 3 – ґрунтообробне обладнання

Для забезпечення ефективного різання ґрунтово-рослинної маси кут защемлення стебла, що розрізається, не повинен перевищувати суму кутів тертя стебла про лезо і ґрунтовий підпір. При цьому величина кута записання залежить від товщини та шорсткості кромки леза, а кути тертя – від виду

вологості стебел, що розрізаються, і їх розташування щодо площини різання. На затискання одиничних стебел позитивний вплив має наявність перед матеріалом, що розрізається, ґрунтових виступів, що обмежують вислизання стебел з-під леза, і кінематичний параметр ножа. На тяговий опір ножа істотно впливають твердість ґрунту, швидкість переміщення і форма і конструкція леза ножа. Рациональна форма леза робочого диска - шестикутна, що має найменший кут защемлення з заточенням $\alpha = 33 \dots 43^\circ$, з чергуною поруч тежачої грані (рис 2.5.).

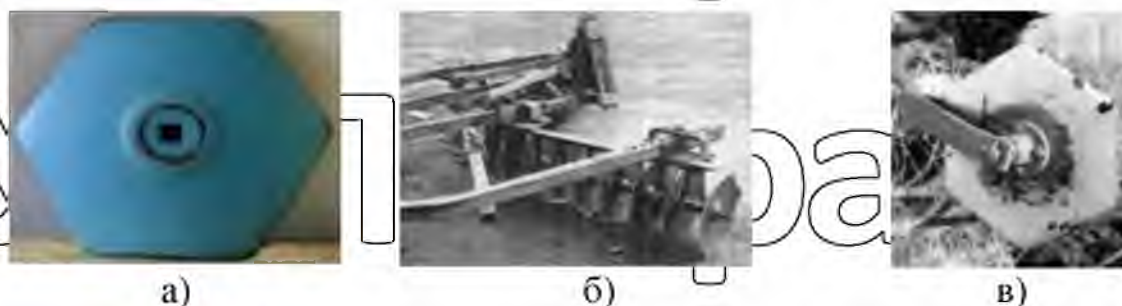


Рис. 2.5. Експериментальні зразки робочих органів

а - сферичний диск; б - двосекційний циліндр з експериментальними робочими органами; в - дисковий ніж

При зануренні різальних дисків у ґрунтовий пласт на глибину від 0,08 до 0,12 м ефективність затискання та різання соломисто-рослинної маси у шестикутного ножа підвищується в 1,8...2 рази порівняно з круглим. Тяговий опір шестикутного ножа менший за опір круглого на 18...26%, а момент обертання - більше на 28...36%. Збільшення навантаження (0...100 Н) при розтягуванні рослинної маси зменшує роботу на різання: соломи на 30...62%, коріння люцерни на 55...60%, коноплі на 34...41% (при товщині кромки леза 172...194 мкм). Пропоновані робочі органи можна включити до бази даних при формуванні складу ґрунтообробного агрегатів.

Для трактора класу 1,4 оптимальною автоматично керованою додатковою «інерційною» обертаючою масою двигуна, є 1,8...2,0 кг·м², що в порівнянні з серійним агрегатом при рушанні та розгоні МТА зменшує навантаження двигуна на 5...8%, загальний час розгону на 35...40%, а при перемиканні передач під навантаженням забезпечує підвищення швидкості руху на 5%. Використання

УДМ у трансмісії трактора в реальних умовах експлуатації МТА дозволяє: знизити коливання зовнішнього тягового навантаження, що передається на двигун, на 15...40%; покращити агротехнічні показники виконання сільськогосподарських операцій на 12%; знизити дисперсію буксування на 60%; збільшити продуктивність агрегату більш ніж на 10%; зменшити витрати палива на 9%, а гектарні витрати - на 18%. Використання в МТА енергозасобів на шинах з оптимальною внутрішньою будовою дозволяє збільшити їх тяговий ККД, підвищити продуктивність МТА більш ніж на 10%, знизити питому витрату палива на 10...12% при одночасному зменшенні ущільнюючого впливу на ґрунт до 20%. Усі роботи спрямовані на підвищення ефективності енергетичного засобу необхідно підтримувати та використовувати для рекомендації виробникам сільськогосподарської техніки.

Удосконалений робочий орган чизеля (рис. 1.19.) для додаткового кришення ґрунту, провів обґрунтування його параметрів: для ножа – ширина $B_H = 300$ мм, довжина $l_H = 60$ мм, товщина $\delta = 10$ мм, кут заточування леза $\alpha_H = 15^\circ$; для кришителя - довжина $l_{кр} = 70$ мм, висота $h_{кр} = 50$ мм, товщина $\delta_{кр} = 5$ мм, кут скосу $\alpha_{ск} = 40^\circ$; кут установки до напрямку руху $\theta_{кр} = -1 \dots 8^\circ$.

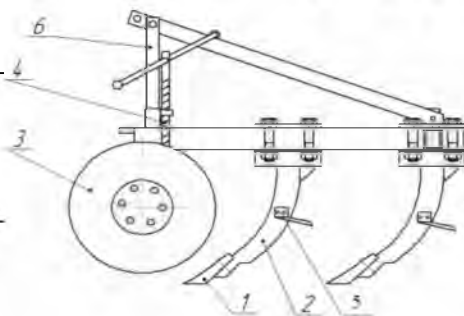


Рис. 2.6. Конструктивна схема чизеля

1 - долото; 2 - стійка; 3 - колесо; 4 - гвинт; 5 - ніж; 6 - навішування

В результаті аналізу механізму взаємодії клину з ґрунтом встановлено закономірності процесу формування пласта ґрунту на робочому органі, та підтверджено наукову гіпотезу про необхідність виділення у процесі взаємодії клину з ґрунтом наступних трьох етапів. Руйнування ґрунту під дією клину, формування пласта ґрунту на клині, рух пласта ґрунту по клину. Визначено

схему утворення нерівностей поля та ширини розвальної борозни при обробці ґрунту культиваторами, плоскорізами, глибокорозпушувачами. Встановлено також, що характер кріплення робочих органів до рами зброї істотно впливає на процес руху ґрунту по робочих органах. Збільшення швидкості руху агрегату, товщина стійки та глибина її ходу сприяють збільшенню нерівностей поля та ширини розвальної борозни. Пропоновані режими роботи агрегатів також можна використовувати при розробці моделей ефективних ґрунтообробних комплексів.

При цьому зазначено, що оранка - найбільш енергоємна операція з обробітку ґрунту, на яку припадає понад 50% загальної витрати палива. На оранку 1 га висококультуреного ґрунту в оптимальні терміни витрачається 12-14 кг палива, а на оранку 1 га сильно засміченим пириєм ґрунту потрібно не менше 20-25 кг палива. Зменшення глибини оранки з 20-22 см до 16-18 см часто не знижує врожайність озимих культур і дозволяє заощадити до 12% палива.

Чергування напрямків оранки, а також проведення культивації та боронування у діагонально-перехресному напрямку щодо оранки дозволяє знизити витрати палива на вирівнювання поверхні поля після оранки у звал і розвал на 4,5-5 кг/га. Значну економію палива можна отримати від застосування оборотних плугів.

Рух орного агрегату човниковим способом скорочує витрату палива на холостий хід під час поворотів і перездів, який за традиційного способу оранки в звал і розвал становить понад 10% від загальної витрати. Застосування оборотних плугів унеможливує проведення операцій розбивки поля на загони та регулювання плуга для проходу першої борозни. У звіті також зазначено, що

висока затратність технологій обробітку ґрунту пов'язана, перш за все, з тим, що в даний час у сільськогосподарських підприємствах основна обробка проводиться, головним чином, за допомогою відвальної оранки, а передпосівна - за рахунок багаторазового використання одноопераційних ґрунтообробних знарядь. У вирішенні зазначеної вище проблеми найважливішими напрямками,

що впроваджуються в даний час в регіоні, поки є заміна на половині орних земель у системі основного обробітку ґрунту відвальної оранки чизелюванням або дискуванням, а також застосування в системі передпосівної обробки

комбінованих агрегатів, що поєднують за один прохід кілька технологічних операцій. Водночас, на думку зарубіжних фахівців, найбільше вимогам ресурсозбереження та природоохоронності відповідає нульова та мінімальна система обробітку ґрунту, що передбачає відмову від низки технологічних операцій та широке використання прямого посіву. У звіті зазначено також, що мінімальна обробка ґрунту включає одну або ряд дрібних обробітків ґрунту культиваторами та боронами. Солома та стерня знаходяться у вигляді мульчі у верхньому шарі ґрунту (мульчуючий шар). По дрібно обробленому ґрунті в мульчуючий шар, здійснюється мульчований посів. Мульчуючий шар зменшує випаровування вологи, усуває небезпеку водної та вітрової ерозії. При цьому експлуатаційні витрати (насамперед витрати на паливо) скорочуються, родючість ґрунту підвищується, його структура покращується. Створюються сприятливі умови у розвиток ґрунтової фауни. У тому числі зазначено, що нульова обробка ґрунту (No-Till) передбачає прямий посів, який провадиться по необробленому полю з відмовою від усіх видів механічної обробки ґрунту. Рослинні залишки (стерня та подрібнена солома), які зберігаються на поверхні поля, сприяють затриманню снігу, уповільненню ерозійних процесів, покращенню структури ґрунту, захисту озимих культур від низьких температур, накопиченню поживних речовин. Значно збільшується популяція дощових черв'яків та ґрунтових мікроорганізмів. Істотно знижуються виробничі витрати, зокрема на паливо, зберігається довкільля. Зокрема, скорочення непродуктивних втрат води може призвести до того, що на супіщаних ґрунтах рослинам на рік буде доступно на 80-90 мм вологи більше.

Найважливіше значення мінімізація обробітку ґрунту має для утримання у ґрунті вуглецю, який є основою для формування гумусу та створює основу родючості. Зміст органічної речовини є динамічним показником і реагує на зміну методів обробітку ґрунтів.

Застосування мінімальної технології обробітку зернових культур у поєднанні з використанням азотних добрив позитивно впливає на азотний режим ґрунту. Підвищується маса органіки, що легко розкладається, з високим вмістом

випаровування вологи, усуває небезпеку водної та вітрової ерозії. При цьому експлуатаційні витрати (насамперед витрати на паливо) скорочуються, родючість ґрунту підвищується, його структура покращується. Створюються сприятливі умови у розвиток ґрунтової фауни. У тому числі зазначено, що нульова обробка ґрунту (No-Till) передбачає прямий посів, який провадиться по необробленому полю з відмовою від усіх видів механічної обробки ґрунту. Рослинні залишки (стерня та подрібнена солома), які зберігаються на поверхні поля, сприяють затриманню снігу, уповільненню ерозійних процесів, покращенню структури ґрунту, захисту озимих культур від низьких температур, накопиченню поживних речовин. Значно збільшується популяція дощових черв'яків та ґрунтових мікроорганізмів. Істотно знижуються виробничі витрати, зокрема на паливо, зберігається довкільля. Зокрема, скорочення непродуктивних втрат води може призвести до того, що на супіщаних ґрунтах рослинам на рік буде доступно на 80-90 мм вологи більше.

Найважливіше значення мінімізація обробітку ґрунту має для утримання у ґрунті вуглецю, який є основою для формування гумусу та створює основу родючості. Зміст органічної речовини є динамічним показником і реагує на зміну методів обробітку ґрунтів.

Застосування мінімальної технології обробітку зернових культур у поєднанні з використанням азотних добрив позитивно впливає на азотний режим ґрунту. Підвищується маса органіки, що легко розкладається, з високим вмістом

випаровування вологи, усуває небезпеку водної та вітрової ерозії. При цьому експлуатаційні витрати (насамперед витрати на паливо) скорочуються, родючість ґрунту підвищується, його структура покращується. Створюються сприятливі умови у розвиток ґрунтової фауни. У тому числі зазначено, що нульова обробка ґрунту (No-Till) передбачає прямий посів, який провадиться по необробленому полю з відмовою від усіх видів механічної обробки ґрунту. Рослинні залишки (стерня та подрібнена солома), які зберігаються на поверхні поля, сприяють затриманню снігу, уповільненню ерозійних процесів, покращенню структури ґрунту, захисту озимих культур від низьких температур, накопиченню поживних речовин. Значно збільшується популяція дощових черв'яків та ґрунтових мікроорганізмів. Істотно знижуються виробничі витрати, зокрема на паливо, зберігається довкільля. Зокрема, скорочення непродуктивних втрат води може призвести до того, що на супіщаних ґрунтах рослинам на рік буде доступно на 80-90 мм вологи більше.

Найважливіше значення мінімізація обробітку ґрунту має для утримання у ґрунті вуглецю, який є основою для формування гумусу та створює основу родючості. Зміст органічної речовини є динамічним показником і реагує на зміну методів обробітку ґрунтів.

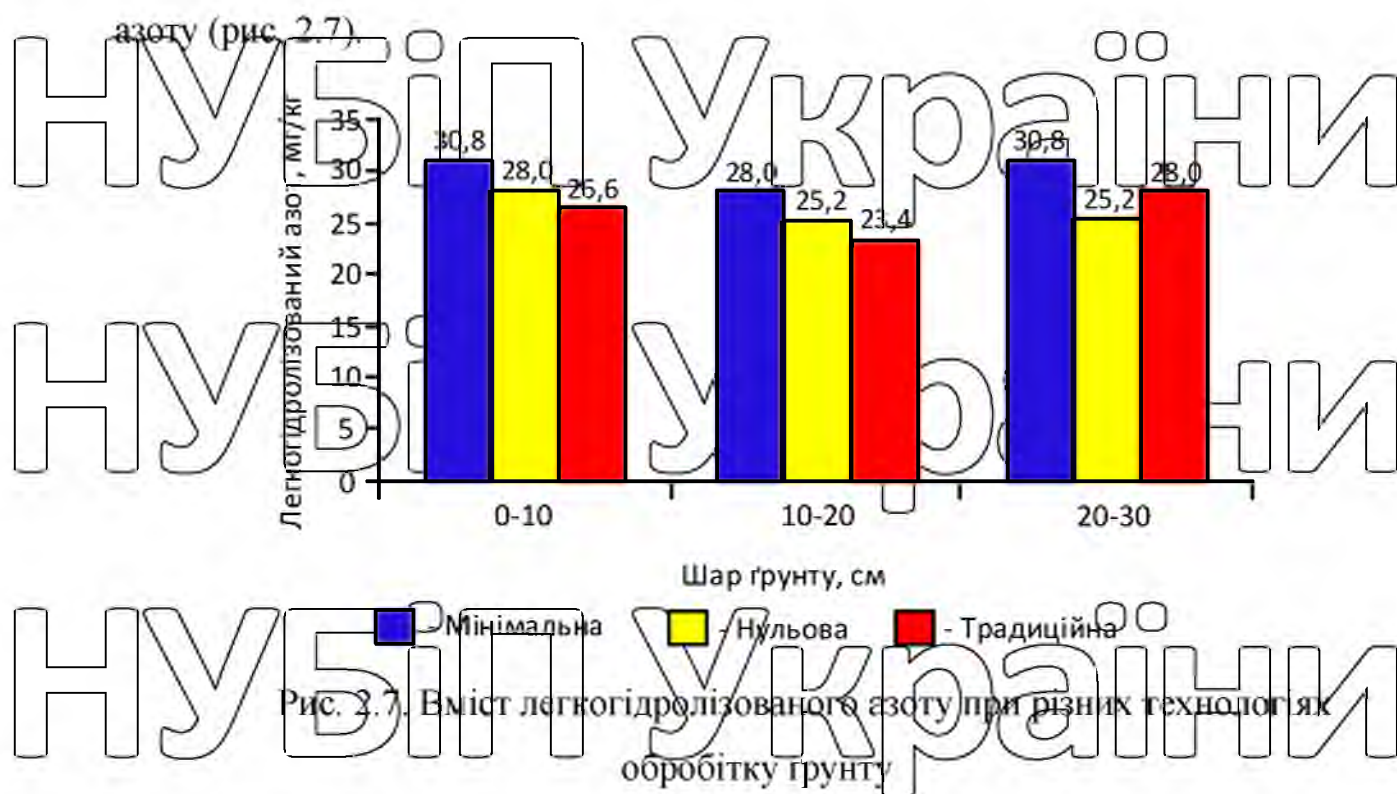
Застосування мінімальної технології обробітку зернових культур у поєднанні з використанням азотних добрив позитивно впливає на азотний режим ґрунту. Підвищується маса органіки, що легко розкладається, з високим вмістом

випаровування вологи, усуває небезпеку водної та вітрової ерозії. При цьому експлуатаційні витрати (насамперед витрати на паливо) скорочуються, родючість ґрунту підвищується, його структура покращується. Створюються сприятливі умови у розвиток ґрунтової фауни. У тому числі зазначено, що нульова обробка ґрунту (No-Till) передбачає прямий посів, який провадиться по необробленому полю з відмовою від усіх видів механічної обробки ґрунту. Рослинні залишки (стерня та подрібнена солома), які зберігаються на поверхні поля, сприяють затриманню снігу, уповільненню ерозійних процесів, покращенню структури ґрунту, захисту озимих культур від низьких температур, накопиченню поживних речовин. Значно збільшується популяція дощових черв'яків та ґрунтових мікроорганізмів. Істотно знижуються виробничі витрати, зокрема на паливо, зберігається довкільля. Зокрема, скорочення непродуктивних втрат води може призвести до того, що на супіщаних ґрунтах рослинам на рік буде доступно на 80-90 мм вологи більше.

Найважливіше значення мінімізація обробітку ґрунту має для утримання у ґрунті вуглецю, який є основою для формування гумусу та створює основу родючості. Зміст органічної речовини є динамічним показником і реагує на зміну методів обробітку ґрунтів.

Застосування мінімальної технології обробітку зернових культур у поєднанні з використанням азотних добрив позитивно впливає на азотний режим ґрунту. Підвищується маса органіки, що легко розкладається, з високим вмістом

випаровування вологи, усуває небезпеку водної та вітрової ерозії. При цьому експлуатаційні витрати (насамперед витрати на паливо) скорочуються, родючість ґрунту підвищується, його структура покращується. Створюються сприятливі умови у розвиток ґрунтової фауни. У тому числі зазначено, що нульова обробка ґрунту (No-Till) передбачає прямий посів, який провадиться по необробленому полю з відмовою від усіх видів механічної обробки ґрунту. Рослинні залишки (стерня та подрібнена солома), які зберігаються на поверхні поля, сприяють затриманню снігу, уповільненню ерозійних процесів, покращенню структури ґрунту, захисту озимих культур від низьких температур, накопиченню поживних речовин. Значно збільшується популяція дощових черв'яків та ґрунтових мікроорганізмів. Істотно знижуються виробничі витрати, зокрема на паливо, зберігається довкільля. Зокрема, скорочення непродуктивних втрат води може призвести до того, що на супіщаних ґрунтах рослинам на рік буде доступно на 80-90 мм вологи більше.



Встановлено також, що застосування енергозберігаючих технологій створює оптимальний структурно-агрегатний стан ґрунту. У порівнянні з постійним оранням збільшується кількість глибистих фракцій (діаметром більше 10 мм) і в 2-2,5 рази зменшується кількість пилуватих, ерозійно-небезпечних частинок (діаметром менше 0,25 мм).

Застосування енергозберігаючого рослинництва доцільно вести комплексно з технологіями точного (прецизійного) землеробства.

«Точне землеробство» - це стратегія управління, яка використовує інформаційні технології, витягуючи дані з багатьох джерел для прийняття правильних рішень щодо управління сільськогосподарським підприємством.

У «точному землеробстві» використовуються комп'ютеризована техніка, геоінформаційні системи та навігаційні прилади, які дозволяють точно керувати розвитком рослин через супутники та локальні сенсори.

Технології «точного землеробства» дозволяють знизити витрати та мінімізувати вплив на довкілля. Вони базуються на картографічних програмах, що дозволяють обробляти просторові дані та здійснювати картографію меж полів, картування врожайності за допомогою навігаційних приймачів глобальної системи позиціонування проводити визначення родючості ґрунтів та

диференційоване внесення добрив, а також спостереження за посівами у процесі розвитку.

Технології «точного землеробства» розглядають кожне сільськогосподарське поле як неоднорідне за рельєфом, ґрунтовим покривом,

агрохімічним змістом і мають на увазі диференційоване застосування на кожній ділянці поля різних доз добрив та засобів захисту рослин. Схема структури

«точного землеробства» представлена на рис. 1.21. Оскільки всі технологічні операції на сільськогосподарському полі диференційовані у часі та просторі, то

враховувати різноманітність ґрунтових, кліматичних особливостей кожної ділянки при обробці ґрунту є вкрай необхідним. Отже, доцільність розробки

систем «точного землеробства» за умов реальної мікрокліматичної неоднорідності ландшафтних агроекологічних систем України очевидна.



Рис. 2.8. Структура зв'язків «точного землеробства»

За наявності якісного адекватного програмного забезпечення можна регулювати інтенсивність технологічних операцій по ходу руху агрегату по полю

(зміна норм висіву, норм внесення добрив, продуктивності при обробці ґрунту, кількості засобів захисту рослин, що використовуються). Вирішальну роль

цьому процесі грає вдосконалення інформаційних розробок і особливо методів прийняття рішень - статичних і динамічних моделей, баз даних, баз знань.

експертних систем. Виникає необхідність створення принципово нових програмних комплексів, які можуть інтегрувати знання та досвід багатьох фахівців у галузі агрономії, біології, агрохімії, агроінженерії, економіки та інших суміжних сфер діяльності.

Застосування системи заощаджуючого землеробства дозволяє здійснювати аналіз та грамотний менеджмент діяльності підприємства, що дає можливість економити матеріальні, трудові, фінансові ресурси та підвищує рентабельність. Загалом впровадження системи енергозберігаючого рослинництва дає очевидні переваги: підвищує ефективність роботи всього підприємства, його конкурентоспроможність, робить аграрне виробництво ефективнішим та екологічнішим, що є надзвичайно актуальним нині.

Ще більшого ефекту можна досягти, якщо застосовувати високопродуктивні комбіновані ґрунтообробні - посівні агрегати, які дозволяють за один прохід по полю виконати всі операції передпосівної обробки ґрунту та посіву, що забезпечує підвищення продуктивності праці до 60% та зниження витрати палива на 1,5-2 кг./га при застосуванні одноопераційних агрегатів.

Крім того, техніка, що застосовується в рамках мінімальної та нульової технології обробітку сільськогосподарських культур, відповідає вимогам енергоресурсозбереження, скорочує потребу в тракторах, паливо - мастильних матеріалах, дозволяє на 7-10 днів раніше звичайних агротехнічних термінів проводити посівні роботи, а сільськогосподарським підприємствам у 2 рази знизити навантаження використання техніки.

Заміна оранки полів, чистих від багаторічних бур'янів, на дискування, плоскорізну обробку та чизелювання дозволяє значно (до 5 кг/га) знизити витрати палива на основну обробку. При безвідвальній обробці не витрачається енергія на підйом та оберт пласта.

Витрата палива на дискування на 28-36% менше, ніж плужну обробку.

Обробка ґрунту чизельними культиваторами або плугами, а також розпушувачами-щілинниками зі стрілочастими розпушувачими лапами дозволяє в 1,3-1,5 рази зменшити загальні енерговитрати, а також покращує агрофізичні

властивості ґрунту та підвищує врожайність культур. В даний час розроблені безвідвальні ґрунтозахисні технології, що включають лущення стерні на глибину 8-10 см і розпушування на глибину 20-25 см в поєднанні з передпосівної обробкою ґрунту в різних варіантах. Загалом застосування безвідвальних технологій дозволяє знизити витрату палива на 13,4-27,8 кг/га, металу - на 11,6-12,9 кг/га та витрат праці - на 0,9-1,33 люд.-год./га.

Виконання операцій одним комбінованим агрегатом при підготовці ґрунту до сівби замість застосування набору одноопераційних машин є перспективним напрямом, що дозволяє зменшити витрати енергії, палива, праці та зберегти родючість ґрунту. За даними вчених, застосування комбінованих агрегатів дозволяє знизити витрату дизельного палива: при суміщенні оранки та прикочування - на 12-16%, культивування, боронування та прикочування - на 15-20%. При цьому значно підвищується і продуктивність праці.

Важливим аспектом енергозбереження при обробці ґрунту є зниження впливу просторових факторів на енергетичну ефективність процесів. Правильна організація робіт, вибір способу руху, розбивка поля на заїмки повинні звести до мінімуму витрати пального на поворотах та переїздах ґрунтообробних агрегатів, які іноді перевищують 20% від загальної витрати.

З огляду сучасних досліджень у галузі обробки ґрунту, можна резюмувати, що резервом зниження собівартості (у тому числі витрат енергії) є мінімізація загальних витрат на розпушування ґрунту, мінімізація витрат на компенсацію ерозійних втрат ґрунту, мінімізація максимально допустимого розміру збитків від зриву агротермінів.

Крім сказаного резервом зниження собівартості є збереження родючості, що забезпечується внесенням добрив.

Екологи виявили, що внаслідок тривалого впливу людини на чорноземі Київщини (інтенсивної їх оранки, насичення сівозмін просапними та зерновими культурами), спостерігаються значні втрати гумусу та негативний баланс азоту - 56 кг/га між виносом (176 кг/га) та приходом (120 кг/га), фосфору - 11 (53,42) кг/га та калію - 86 (152,66) кг/га відповідно, а при інтенсифікації землеробства

приріст 50% (половини) урожаю досягається за рахунок добрив, 25% за рахунок покращення технологій обробітку, та ще 25% дає використання нових сортів гібридів. Тому стратегією енергозбереження має бути комплекс принципів, факторів, методів, заходів, що забезпечують неухильне зниження витрати сукупних витрат енергії у сільському господарстві на одиницю аграрного продукту за умови забезпечення та збереження екосистеми.

Логіка предикатів починається з аналізу будов висловлювання, які виражають той факт, що об'єкти мають деякі властивості, або знаходяться між собою в деяких відносинах. Позначення логічних змінних та основні параметри процесу обробітку ґрунту [10, 16] представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри суцільної обробки ґрунту

№-п/п	Найменування параметрів	Позначення логічних змінних
1	Глибина обробки	x_1
2	Ширина корпусу (лапи робочого органу)	x_2
3	Маса плуга	x_3
4	Продуктивність	x_4
5	Витрати на обробіток ґрунту (розпушування)	x_5
6	Витрати на компенсацію втрат урожаю через ерозію ґрунту	x_6
7	Витрати на компенсацію втрат урожаю через зрив агротехнічних термінів обробки	x_7
8	Витрати на додаткові обробки, пов'язані із закладенням не зернової частини врожаю та водозбереження (боронування, культивування, дискування, коткування тощо)	x_8
11	Загальні витрати на обробіток ґрунту	x_9

Логічне програмування почнемо з встановлення предметних змінних x_1, x_2, \dots, x_9 , що приймають значення з деякої предметної області [7] предметних констант a_1, a_2, \dots, a_m для x_1 ; позначимо предметні константи наступними літерами інших змінних відповідно b до $x_2, c - x_3, d - x_4, e - x_5, k - x_6, l - x_7, m - x_8, n - x_9$.

Як предикат візьмемо «мінімум загальних витрат на обробіток ґрунту» $A(x_1 \dots x_9)$. Таким чином, даний багатомісний предикат з додатковими функціональними зв'язками змінних буде виглядати так:

$$A(x_1 \dots x_9): x_5 = f(x_1 \dots x_4), x_9 = x_5 + x_6 + x_7 + x_8, \quad (2.2.)$$

В результаті підстановки замість змінних предметних констант виходять висловлювання. Поряд із утворенням з предикатів висловлювань внаслідок таких підстановок у логіці предикатів розглядаються ще й операції, які перетворюють предикат у висловлювання. Ці операції називаються операціями квантифікації (чи зв'язуванням кванторами, чи навішуванням кванторів).

Проведемо навішування квантора «існування», існує таке ґрунтообробне знаряддя або мобільний енергозасіб, які призводять до мінімальних загальних витрат: $\exists x_9 \cdot A(x_1 \dots x_9)$.

Змінна x_9 є пов'язаною, інші ж змінні - вільними. Отриманий вираз також можна подати у такому вигляді:

$$\exists x_9 \cdot A(x_1 \dots x_9) \equiv A(a_1, b_1, \dots, p_1) \vee A(a_2, b_2, \dots, p_2) \vee \dots \vee A(a_w, b_w, \dots, p_w). \quad (2.3.)$$

Другим багатомісним предикатом може стати мінімум витрат енергоресурсів на обробіток ґрунту при розпушуванні $B(x_1 \dots x_9)$. Відповідно до квантором існування можна одержати вираз - існує таке ґрунтообробне знаряддя і мобільний енергозасіб, які призводять до мінімальних витрат за обробку ґрунту при розпушуванні: $\exists x_5 \cdot B(x_1 \dots x_9)$.

Існування такого агрегату, що включає ґрунтообробне знаряддя та тягову машину, які мають одночасно мінімальні витрати при розпушуванні та наводять мінімуму загальних витрат можна представити у вигляді:

$$\exists x_9 \cdot A(x_1 \dots x_9) \wedge \exists x_5 \cdot B(x_1 \dots x_9) \rightarrow \exists x_9 \exists x_5 C(x_1 \dots x_9). \quad (2.4.)$$

Таким чином з'являється новий предикат C , який говорить, що на даній області визначення є агрегати з мінімальними загальними витратами та витратами на розпушування. Цей вислів набуває значення «істина», лише за тих значеннях змінних у яких кожен із предикатів A і B набували значення «істина».

Таким чином, не факт, що області визначення предикатів перетнуться.

Усі роботи землі необхідно поводити з мінімальними впливами на екологію. Для цього виду робіт можна висловити предикатом «мінімум витрат за компенсацію ерозійних втрат ґрунту» - $D(x_1 \dots x_9)$. Відповідно до операції

квантування можна отримати такий вираз - існує такий ґрунтообробний агрегат,

що призводить до мінімуму ерозійних втрат ґрунту: $\exists x_6 \cdot D(x_1 \dots x_9)$. Наявність такого ґрунтообробного агрегату, який має одночасно мінімальні загальні витрати і що призводить до мінімальних витрат на ерозійні втрати, виразимо

наступним чином:

$$\exists x_9 \cdot A(x_1 \dots x_9) \wedge \exists x_6 \cdot D(x_1 \dots x_9) \rightarrow \exists x_9 \exists x_6 E(x_1 \dots x_9). \quad (2.4)$$

Безліч всіх елементів $x_1 \dots x_9 \in M$, у яких предикати приймають значення «істина» (1), називається безліччю (областю) істинності предикату, наприклад

безліч істинності предиката $A(x)$ - це безліч $\Psi = \{x_1 \dots x_9: x_1 \dots x_9 \in M, A(x) =$

1}.

Наведений підхід до аналізу ефективності роботи агрегатів призводить до необхідності досліджень спочатку по кожному виду витрат і кожному агрегату.

Зазначені вище характеристики ґрунтообробних знарядь добре систематизовані, разом із тяговими агрегатами, у збірнику [22, 32]. В результаті автори

представили нормативну інформацію для всієї сільськогосподарської техніки, що виробляється в Україні, країнах СНД, а також норми та нормативи на роботи,

які виконує сільськогосподарська техніка виробництва фірм країн далекого зарубіжжя. У цьому збірнику зазначаються норми вироблення та витрати

паливного на основні види механізованих польових та тракторно-транспортних робіт, що виконуються машинно-технологічними станціями (МТС). На

механізовані польові роботи вони диференційовані за класами основних показників технологічних властивостей угідь (довжина гону, кут схилу,

порізаність перешкодами, складність конфігурації, опір ґрунтообробної техніки); технологічних факторів (вимог) виконання польових і транспортних

операцій (глибина ґрунтообробки, норми висіву насіння, внесення добрив, витрати отрутохімкатів; врожайність та машинно-тракторних агрегатів (марка

та кількість машин, ширина захвату). Представлені норми виробітку (продуктивність механізованого агрегату в зміну) являють собою добуток робочої ширини захоплення (B_p), робочої швидкості руху (U_p) та чистого часу роботи (T_p).

Таким чином, ключовими показниками ефективності роботи машини є дві характеристики - норма виробітку (продуктивність) та витрата палива, які, у свою чергу, залежать від складності робіт, глибини обробки та складу машини (тип трактора та плуга). Вибір найбільш оптимального складу ґрунтообробного агрегату для роботи в конкретному господарстві дуже скрутний через багато

детермінованих та випадкових факторів. Якщо приймати як критерій мінімальну кількість палива, то це може виявитися не найкращим варіантом, оскільки є велика ймовірність отримати малопродуктивний агрегат. У зв'язку з цим

необхідно отримати цільову функцію з двома критеріями оптимізації: витрата палива та норма виробітку (продуктивність). Продуктивність агрегатів впливає

їх кількість під час виконання польових робіт, оскільки існують певні нормативні агротехнічні терміни. Агротехнічні терміни притаманні всім видам робіт і залежить від культури, попередника і району виконання польових робіт.

Перевищення таких агротехнічних термінів призводить до зниження врожайності культур. У збірнику [92] наведено показники інтенсивності втрат

урожаю при відхиленні строків виконання польових робіт від агротехнічних. Чим більше працюватиме агрегатів, тим у стислі терміни закінчиться даний вид

робіт. Слід зазначити, що собівартість виробництва зернових культур включає видатки на паливо. Як правило, паливо закупається заздалегідь та після

реалізації врожаю господарства компенсують витрати на енергоресурси. Якщо обробіток ґрунту проводитиметься малопродуктивними агрегатами, то

спостерігатиметься збиток від зниження врожайності та відповідно недоотримання фінансових коштів, які могли б піти на компенсацію

енергетичних витрат. Якщо на підприємстві немає значних коштів на заміну парку для високопродуктивного проведення ґрунтообробки і воно має

обмеження щодо кількості тракторів та сільгоспруд, а також воно готове йти на

зниження врожайності через зрив агротехнічних термінів польових робіт, то максимально допустимий розмір збитків, що може дозволити собі господарство, дорівнюватиме витратам на паливо. Таке підприємство шукатиме інші джерела

фінансування компенсації витрат на паливо або недоотримає частину прибутку від врожаю. Отже, можна сформулювати наступну цільову функцію щодо оптимізації кількості агрегатів для ґрунтообробки:

$$\Phi = Z_{\text{ПММ}} - Y_{\text{АТ}} \Rightarrow 0. \quad (2.5.)$$

де $Z_{\text{ПММ}}$ - витрати на ПММ, грн.;

$Y_{\text{АТ}}$ - збитки від зриву агротермінів, грн.

Використовуючи відомі залежності вхідних параметрів, можна також записати:

$$\Phi = C_{\text{T}} \cdot q_{\text{а}} \cdot S_{\text{П}} \in y_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}} \cdot k_{\text{и}} \cdot S_{\text{П}} \cdot \Delta n_{\text{дн}} \Rightarrow 0. \quad (2.6.)$$

де C_{T} - питома вартість палива, грн./л;

$q_{\text{а}}$ - питома витрата палива конкретного агрегату, л/га;

$S_{\text{П}}$ - площа орної ділянки, га;

$y_{\text{к}}$ - врожайність культури, ц/га

$C_{\text{к}}$ - вартість реалізації цієї зернової культури, грн./ц;

$k_{\text{и}}$ - коефіцієнт інтенсивності втрат урожаю при відхиленні термінів виконання польових робіт від агротехнічних;

$\Delta n_{\text{дн}}$ - кількість днів або змін, що перевищують нормативне значення.

Переведемо цільову функцію на питомий вигляд, розділивши обидві частини на площу орної ділянки $S_{\text{П}}$. Кількість днів або змін, що перевищують нормативне значення, можна визначити за формулою:

$$\Delta n_{\text{дн}} = n_{\text{факт}} - n_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{П}}}{Q_{\text{а}} \cdot N_{\text{а}}} - n_{\text{норм}} \quad (2.7.)$$

де $n_{\text{факт}}$ - фактична кількість днів або змін необхідне для обробітку даним агрегатом;

$n_{\text{норм}}$ - нормативна кількість днів або змін для обробітку ділянки;

$Q_{\text{а}}$ - змінна норма виробітку даного агрегату, га/зміну;

$N_{\text{а}}$ - кількість працюючих агрегатів.

З урахуванням нових виразів цільова функція (грн./га) набуде вигляду:

$$\Phi = \text{Ц}_T \cdot q_a - \text{У}_k \cdot \text{Ц}_K \cdot k_u \cdot \left(\frac{S_{\text{ПВ}}}{Q_a \cdot N_a} - n_{\text{норм}} \right) \Rightarrow 0 \quad (2.8.)$$

Як критерій оптимізації приймаємо кількість агрегатів. Як зазначалося, багаторазові проходи по полю призводять до надмірного ущільнення і погіршення фізичних властивостей ґрунту й у результаті зниження врожаю. Різні тягові машини мають різний тиск на ґрунт, і отже, виробляють різний ступінь ущільнення ґрунту. Проводилося багато досліджень [27, 32, 49, 62] щодо визначення параметрів та їх значення, що впливають на ущільнення ґрунту. Всі вони добре узгоджуються із встановленим у літературному джерелі [92] таким визначенням: підвищення густини на $0,1 \text{ г/см}^3$ призводить до недобору 6-8% врожаю. Статистична обробка таблиць досліджень [92], що пов'язують ступінь ущільнення ґрунту в залежності від його вихідної вологості та щільності, а також від тиску агрегату, показала: при одноразовому проході агрегату з тиском близько 80 кПа (гусеничні трактори), у середньому щільність підвищується на $0,106 \text{ г/см}^3$ при стандартному відхиленні $0,008 \text{ г/см}^3$; при одноразовому проході агрегату з тиском близько 180 кПа (колісні трактори), у середньому щільність підвищується на $0,205 \text{ г/см}^3$ при стандартному відхиленні $0,024 \text{ г/см}^3$.

За даними літератури [92] за вісім проходів техніки полем можна припустити, що вся поверхня ґрунту піддається одноразовому впливу сільськогосподарського агрегату. Отже, одноразовий прохід агрегату з підвищенням щільності ґрунту по проході на $0,1 \text{ г/см}^3$ знижує загальну врожайність з поля на 0,8-1%. Уточнимо цільову функцію (4) з урахуванням ущільнення ґрунту одним агрегатом:

$$\Phi = \text{Ц}_T \cdot q_a - \text{У}_k \cdot \text{Ц}_K \cdot \left[k_u \cdot \left(\frac{S_{\text{ПВ}}}{Q_a \cdot N_a} - n_{\text{норм}} \right) + k_y \cdot (0,008 - 0,01) \right] \Rightarrow 0 \quad (2.9.)$$

де k_y - коефіцієнт ущільнення ґрунту.

Коефіцієнт ущільнення ґрунту k_y розраховується так:

$$k_y = \frac{\Delta \rho_{\text{факт}}}{0,1} \quad (2.10.)$$

де $\Delta \rho_{\text{факт}}$ - фактичне збільшення щільності ґрунту, г/см^3

при кількості агрегатів рівне 6. Якщо агрегат буде працювати в більш економічному режимі або забезпечений більш економічним тягловим пристроєм, то 6 (маркер «квадрат») перейде в точку 9 (маркер «ромб»). Оптимальна кількість таких агрегатів дорівнюватиме 9. При цьому сумарні витрати на енергоресурс і компенсацію збитків (від зриву агротехнічних термінів та ущільнення ґрунту) будуть набагато меншими. Це пов'язано з тим, що зменшуються обидві складові витрат - на паливо та компенсацію збитків. Однак збільшується кількість ґрунтообробних агрегатів.

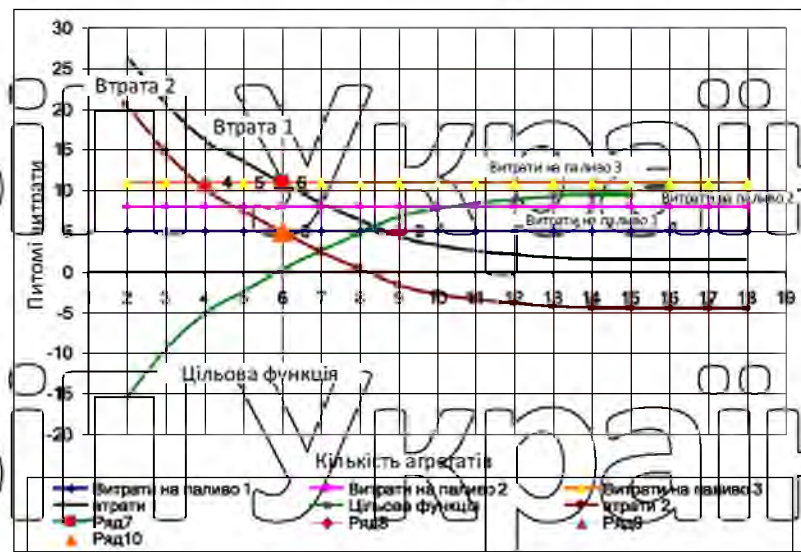


Рис. 2.10. Вид цільової функції та її складових при зміні кількості агрегатів

Якщо буде використовуватися новий агрегат, який має більшу продуктивність та (або) менший тиск на ґрунт, то точка 6 «квадрат» перейде в точку 4 «трикутник», на криву «збиток 2». Таким чином, можна буде використовувати 4 агрегати за тих же значень збитків. Якщо працюватиме інший агрегат, що має більшу продуктивність з меншою витратою палива, точка оптимуму буде 6 «трикутник». Це буде найефективніша реалізація, оскільки одночасно зменшуються всі витрати та кількість агрегатів. Таким чином, при пошуку оптимуму необхідно прагнути до меншої кількості агрегатів і мати мінімальні витрати на паливо та компенсацію збитків, що можна представити таким виразом:

$$\begin{cases} \Phi = Z_{\text{ПММ}} + Y_{\text{ЗАГ}} \rightarrow 0 \\ Z_{\text{ПММ}} + Y_{\text{ЗАГ}} \rightarrow \text{min} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{або} \\ \Phi = \Psi_T \cdot (a_n \cdot H + b_n \cdot Q_{an} + c_n \cdot \Gamma_T) - \Psi_K \cdot \Psi_K \cdot [k_u \cdot (\frac{S_n}{Q_a \cdot N_a} - n_{\text{норм}}) + \Delta \rho_{\text{факт}} \cdot k_{cy}] = 0 \quad (2.14.) \\ \Psi_T \cdot (a_n \cdot H + b_n \cdot Q_{an} + c_n \cdot \Gamma_T) + \Psi_K \cdot \Psi_K \cdot [k_u \cdot (\frac{S_n}{Q_a \cdot N_a} - n_{\text{норм}}) + \Delta \rho_{\text{факт}} \cdot k_{cy}] \Rightarrow \min \end{aligned}$$

Складність подальших досліджень з цільової функції полягає в наявності великої кількості вхідних параметрів, що змінюються (найчастіше випадково) з об'єктивних та суб'єктивних причин.

Таким чином, ми маємо багатовимірну випадкову величину з функцією розподілу $F(x_1, x_2 \dots x_n)$ і існує функція щільності $f(x_1, x_2 \dots x_n)$ така, що

$$F(x_1 \dots x_n) = \int_{-\infty}^{x_1} \dots \int_{-\infty}^{x_n} f(x_1, x_2 \dots x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n, \quad (2.15.)$$

N -мірна щільність розподілу $f(x_1, x_2 \dots x_n)$, яка є похідною від функції розподілу:

$$f(x) = \frac{d^n F(x_1, x_2 \dots x_n)}{dx_1 dx_2 \dots dx_n}; \quad F = (x_1, x_2 \dots x_n) = \int_{-\infty}^{x_1} \int_{-\infty}^{x_2} \dots \int_{-\infty}^{x_n} f(x_1 \dots x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n \quad (2.16.)$$

Імовірність того, що випадковий вектор прийме значення, що лежить в області N -мірного простору, дорівнює інтегралу по цій області від n -мірної щільності розподілу. Імовірність влучення випадкової точки з координатами $x_1, x_2 \dots x_n$ в область D зазвичай виражається інтегралом:

$$P[(x_1, x_2 \dots x_n) \in D] = \int \int_D \dots \int f(x_1, x_2 \dots x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n. \quad (2.17.)$$

Подальший аналітичний аналіз пов'язані з дослідженням громіздких формул й у разі подальший аналіз цільової функції необхідно вести лише з допомогою імітаційного моделювання [18-23, 44]. Серед математичних моделей

поряд з аналітичними, стохастичними, матричними, багатовимірними, оптимізаційними, еволюційними виділяється особливий тип - імітаційні моделі,

пов'язані з використанням ПК. Зазвичай під імітаційною моделлю розуміють програму, що у її реалізації на ПК дозволяє імітувати поведінка реальної системи за різних умов. Існує визначення: імітаційна модель - логікоматематичний опис

системи, який може бути досліджено в ході перевірочних експериментів на

цифровій ПК і може вважатися лабораторною версією системи [4]. Імітаційні

моделі є найбільш гнучкий метод моделювання систем будь-якої складності, лінійних і нелінійних, зі зворотним зв'язком і мережами управління. Для

побудови імітаційних моделей часто використовують стохастичний та автоматний способи математичного опису. Стохастичні моделі досліджують складну поведінку випадкових величин для розрахунків використовують формули прийнятих законів розподілу. Об'єктами налаштування у таких моделях виступають параметри розподілів – середні, дисперсії, обсяги вибірок.

Автоматні моделі, що відображають дискретні події та поведінку, повинні містити логічні функції, насамперед функцію аркуша Excel =ЯКЩО. Ця функція визначає зміну станів моделюється системи відповідно до зовнішніх умов, що змінилися. При цьому динаміка стану весняних впливів може бути описана

моделями алгебри. Мета автоматного моделювання полягає у визначенні критичних рівнів змінних. У нашому випадку використовується стохастичне та автоматне моделювання.

У таблиці 2.2 наведено перелік змінних, закони розподілу випадкових величин з основними статистичними характеристиками для випадку, коли агрофон є пластом багаторічних трав.

Таблиця 2.2

Список змінних цільової функції та її характеристики

Змінна, од. вимірювання	Група за складом агрегату, склад агрегату, значення коефіцієнтів рівняння регресії				
	Вид	Закон розподілу	Діапазон зміни	Середнє	Ст. відхилення
1	2	3	4	5	6
Ц _т , грн./л. ціна палива)	Стохастична	Рівномірний	24,5-29,8	-	-
H, см. (глибини на оранки)	Стохастична	Рівномірний	25-27	-	-
Q _{оп} , га/змину, норма виробітку)	Стохастична	Нормальний	8-14	11	1
Г _т (Група складності)	Стохастична	Рівномірний	1-4	-	-
У _к , ц/га, (урожайність культури)	Стохастична	Нормальний	42-72	57	5
Ц _к , грн./ц	Стохастична	Рівномірний	610-675	-	-

$K_{\text{вт}}$ (коефіцієнт інтенсивності втрат урожаю відхиленні агротермінів)	Дискретна			0,0011	
N_a (кількість агрегатів)	Дискретна			2-19	
$n_{\text{норм}}$ (нормативна кількість змін)	Дискретна			5-15	
$\Delta \rho_{\text{факт}}$ (фактичне збільшення щільності ґрунту)	Стохастична	Нормальний	0,133-0,277	0,205	0,024
$k_{\text{су}}$ (коефіцієнт зниження врожайності з урахуванням ущільнення ґрунту)	Стохастична	Рівномірний	0,08-0,1	0,09	

Значення змінних (діапазон, середнє, стандартне відхилення) приймаються в залежності від складу агрегату, статистичних даних щодо врожайності в конкретному регіоні та ринкових цін, що склалися на паливо і зерно. Розрахунки ведуться на площу ріллі 1000 га.

Таким чином, у нас є 11 змінних параметрів. Подальше імітаційне моделювання будемо вести за методом Монте-Карло (Monte-Carlo Simulation),

яке дозволяє побудувати математичну модель з невизначеними значеннями параметрів, і, знаючи ймовірні їх розподіли, а також зв'язок між змінами параметрів (кореляцію) отримати ймовірні значення потрібного параметра. Укрупнена блок-схема імітаційного моделювання з допомогою методу Монте-

Карло представлено рис. 2.2. Основою всієї схеми моделювання є блок «Імітаційні прогнози». Алгоритм роботи цього блоку виглядає так (рис. 2.3.). На існуючу модель з випадковими параметрами подаються вхідні сигнали від генератора випадкових чисел ГВЧ через перетворювач закону випадкових чисел ПЗВЧ.

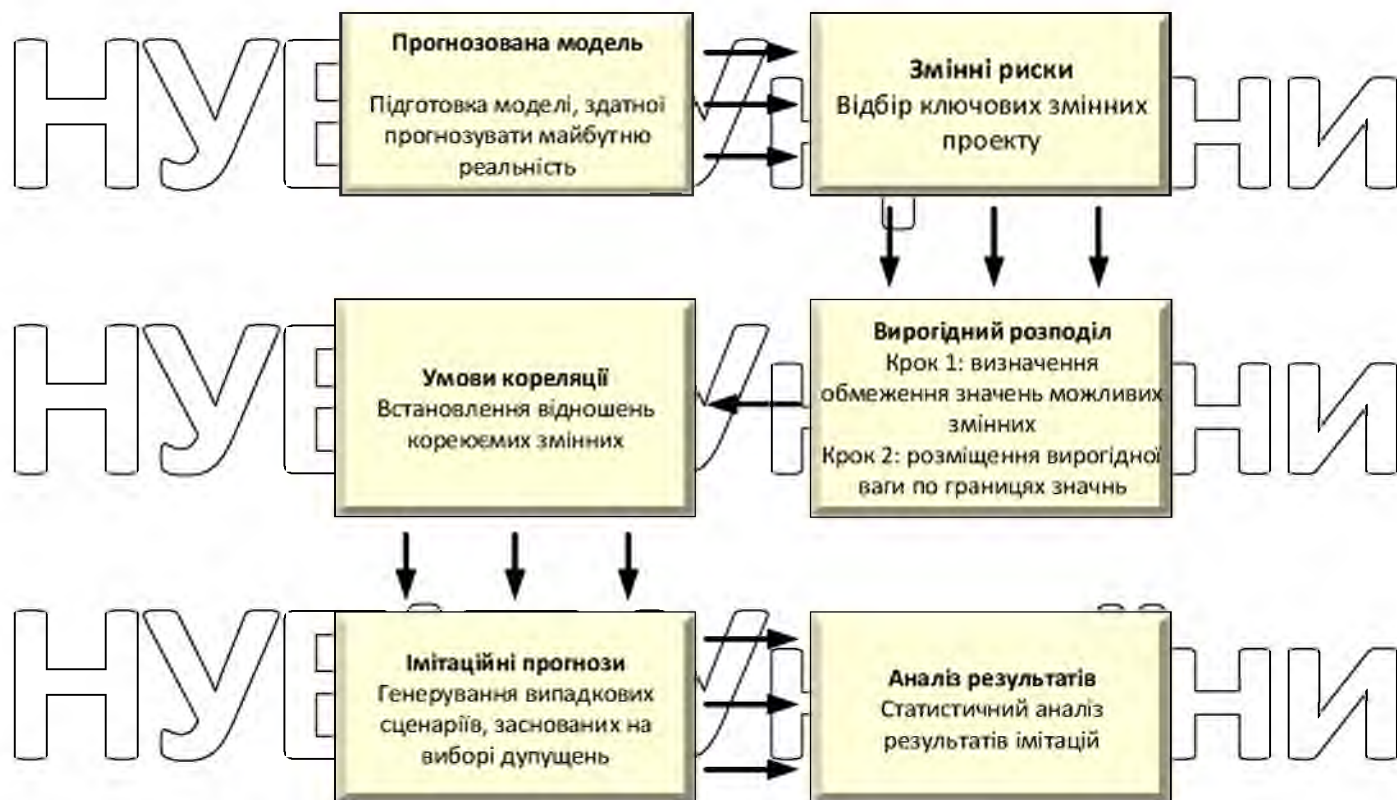


Рис. 2.11. Укрупнена блок-схема імітаційного моделювання

Модель відпрацьовує вхідний сигнал x за деяким законом $y = \varphi(x)$ і видає вихідний сигнал y , який також є випадковим. Природно, якщо вхідних сигналів кілька, кожен сигнал відпрацьовується і формується у загальний вихід.

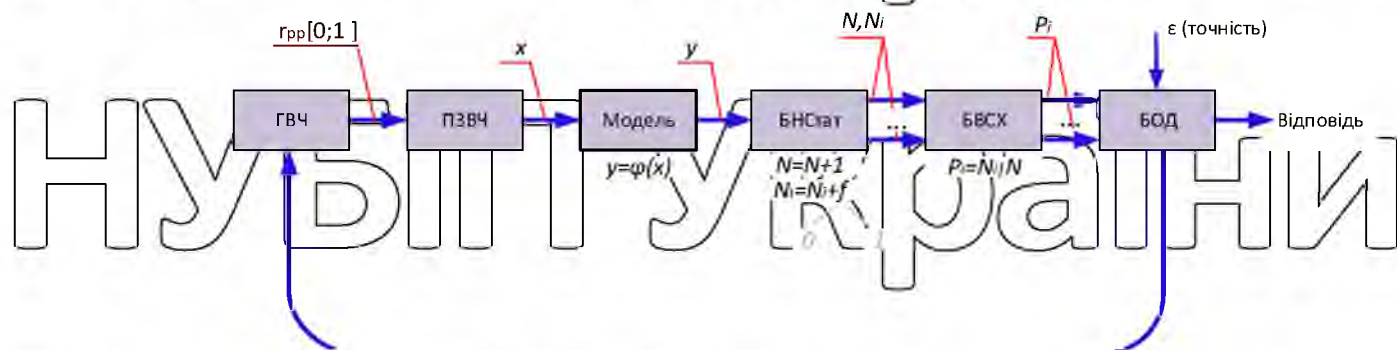


Рис. 2.12. Блок-схема роботи «Імітаційні прогнози».

Вихідний сигнал моделі надходить на блок накопичення статистики БНСат, де проводиться рахунок кількості експериментів та сортування накопичених даних. Тут також перевіряється умова реалізації подій: якщо умова реалізувалася, то лічильник події збільшується на 1. При кількох подіях встановлюється кілька лічильників N_i . Далі розраховується відношення N_i до N

блоку обчислення статистичних характеристик БОСХ з використанням методу Монте-Карло і оцінюється ймовірність p_i появи події ξ , тобто визначається на частоті його випадання в серії з дослідів N . За великої кількості дослідів N частота появи події, отримана експериментальним шляхом за допомогою ПК,

прагне значення теоретичної ймовірності появи події. У блоці оцінки достовірності (БД) аналізують ступінь достовірності статистичних експериментальних даних, знятих з моделі (точність результату ε , задану користувачем) і визначають необхідну кількість статистичних випробувань.

Якщо коливання значень частоти появи подій щодо теоретичної ймовірності менше заданої точності, то експериментальну частоту приймають як відповідь, якщо ні - генерацію випадкових входних впливів продовжують, і процес моделювання повторюється.

Розроблений повний алгоритм імовірнісної моделі цільової функції визначення складу орного агрегату та його технологічних параметрів представлений рис. 2.4.

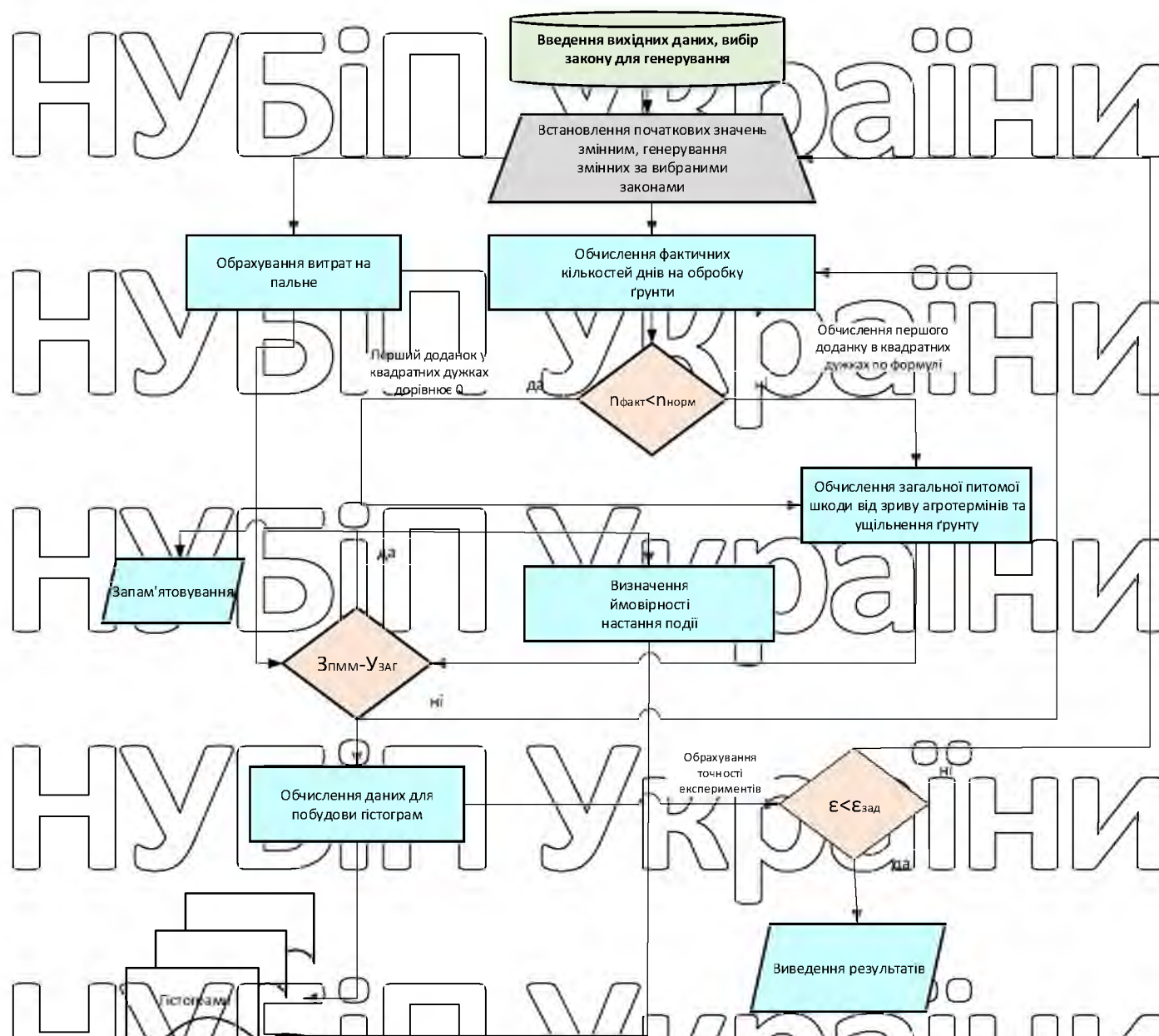
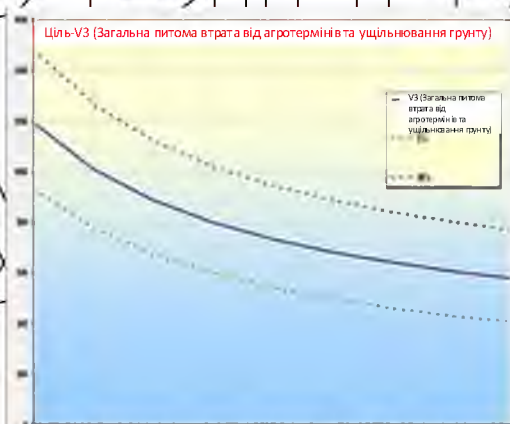


Рис. 2.13. Алгоритм імовірнісної моделі цільової функції визначення складу орного агрегату та його технологічних параметрів

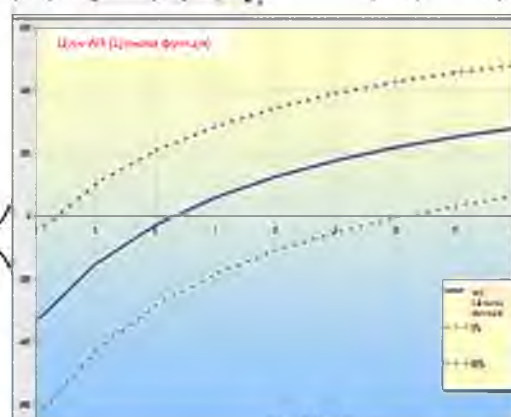
Робота імовірнісної моделі за даним алгоритмом починається з 1-го оператора «Введення вихідних даних, вибір закону для генерування», при цьому вводяться 1 змінних та приймаються закони розподілу випадкових величин згідно з даними таблиці 2.2. Оператор «Встановлення початкових значень змінних, генерування змінних за обраними законами» здійснює підстановки початкових значень, зокрема, приймається кількість агрегатів (N_a) рівну 2 та мінімальне необхідне значення кількості днів на обробку ґрунту ($n_{\text{норм}}$) рівне 5. Після цього оператор «Обчислення витрат на паливо» здійснює визначення

витрат на паливо (формула 2.13), а оператор «Обчислення фактичної кількості днів на обробку ґрунту» встановлює необхідну фактичну кількість днів на обробку ґрунту даним складом цього агрегату. Далі, на наступному кроці проводиться порівняння фактичної кількості днів на обробку з нормативним, і якщо це значення менше нормативного, то перший доданок у квадратних дужках (цільової функції) приймається рівне 0, якщо більше - проводиться подальше обчислення за відповідною формулою та перехід до наступного оператора. Наступний оператор «Обчислення загальної питомої шкоди від зриву агротермінів та ущільнення ґрунту» визначає загальну питому шкоду за формулою цільової функції. На наступному операторі проводиться порівняння отриманої загальної питомої шкоди з питомими витратами палива. Якщо вони рівні, то фіксується досягнення оптимуму, якщо ні - то обчислюються дані для побудови гістограми та перехід на початок алгоритму та встановлення наступних значень змінних.

Реалізацію моделювання за методом Монте-Карло будемо проводити за допомогою спеціальної надбудови в Excel. Окремі підсумки моделювання з 1-ї групи агрегатів (Джон Дір*+ПТК9-35) представлені рис. 2.5. Перший графік (рис. 2.5, а) показує залежність загальної питомої шкоди від зриву агротермінів та ущільнення ґрунту від кількості агрегатів. Також всіх графіків наноситься імовірнісний 95% рівень значень.



а)



б)

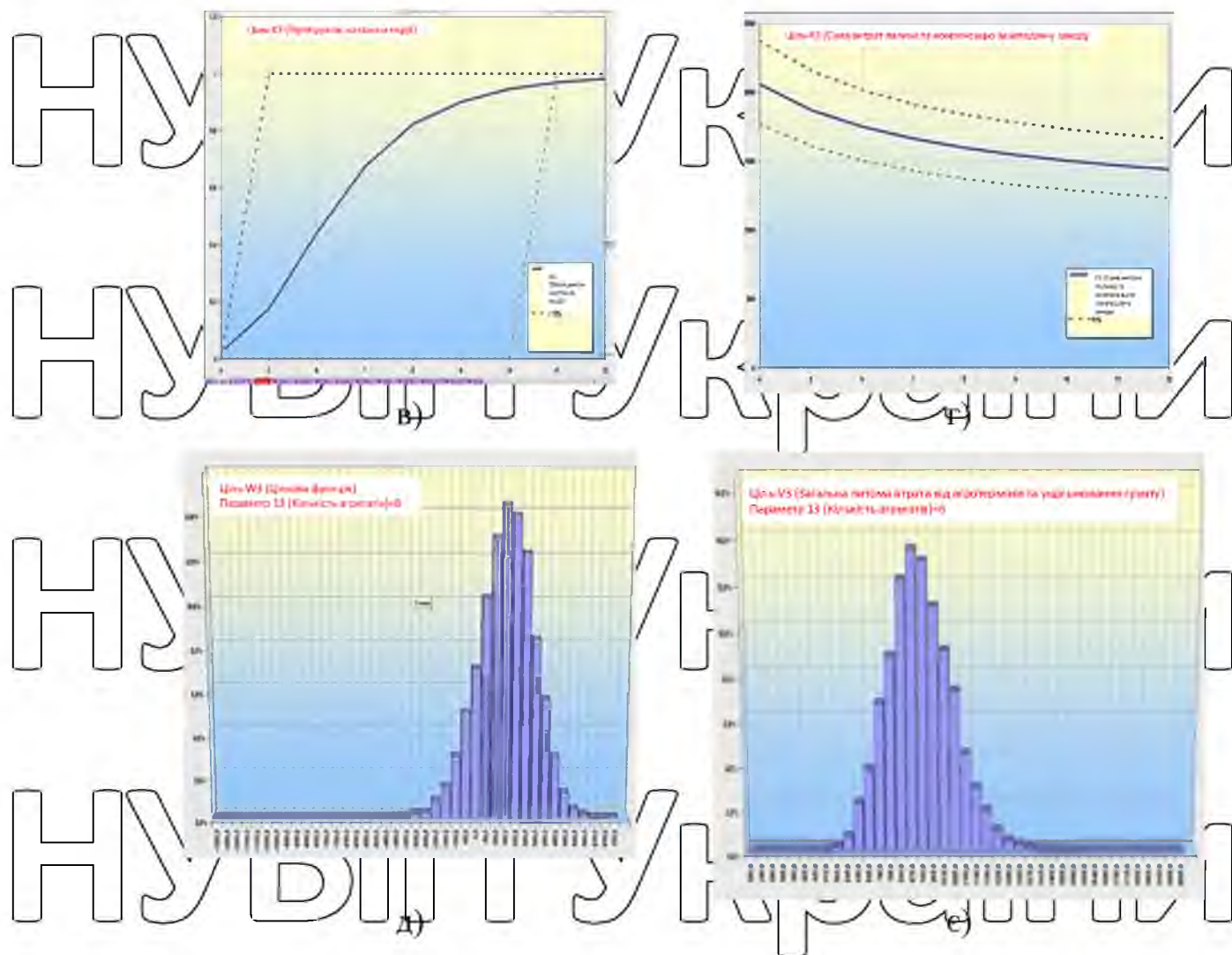


Рис. 2.15. Зображення результатів моделювання за 1-ою групою агрегатів

(Джон Дір+ПТК9-35)

На другому графіку (рис. 2.5 б) показана цільова функція і точка перетину з віссю абсцис (оптимальне значення кількості агрегатів). Третій графік (рис. 2.5 в) показує ймовірність настання події цільової функції із зоною довірчої ймовірності. Четверте зображення (рис. 2.5, г) представляє як змінюються витрати на паливо та загальні збитки кількості агрегатів. Програма також дозволяє виводити гістограми моделювання за кожною змінною, так наприклад, на зображеннях (рис. 2.5, д, е) показані види зміни цільової функції та загальної питомої шкоди від зриву агротермінів та ущільнення ґрунту в залежності від кількості агрегатів. Крім того, всі дані виводяться в табличній формі, як показано в прикладі, із зазначенням кількості експериментів (зазвичай 10 тис. шт.)

По кожному агрегату проводилося моделювання для трьох нормативних

значень агротермінів 5, 10, 15 днів та окремих агрофонів. У таблиці наведено дані за результатами моделювання першої групи (ДЖОН ДІР+ПТК9-35) та агрофону – пласт багаторічних трав.

З таблиці 2.3 можна отримати інформацію щодо оптимального значення кількості агрегатів при різних нормативних агротермінах за відповідних збитків, а також термінах, що перевищують дані нормативи. Такі дані отримані по всіх 16 групах і зведені в таблицю.

На основі зведених даних моделювання отримано геометричне місце оптимальної кількості агрегатів з відповідними загальними питомими витратами (для нормованого значення агротермінів дорівнює п'яти дням), для всіх 16 груп (рис. 2.6). Аналогічні графіки можна і для іншого значення агротермінів.

З цього графіка можна визначити найбільш ефективну групу агрегатів за значенням кількості агрегатів та значенням питомих витрат. Ефективність слід визначати, починаючи з мінімального значення питомих витрат. Так за графіком видно, що найбільш ефективною буде 15, потім група 13 і так далі. Розташування ефективності порядку спадання представлено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.3.

Дані за результатами моделювання цільової функції за першою групою агрегатів та агрофону - пласт багаторічних трав

Змінні, од. вимірювання	Група за складом агрегату, склад агрегату, значення коефіцієнтів рівняння регресії								
	1; ДЖОН ДІР+ПТК9-35; a=1,07; b=0,0082; z = 1,93								
Вхідні	Діапазон зміни			Середнє			ст. відхилення		
$Q_{опт}$ га/зміну	8-14			11			1		
$\Delta\rho_{факт}$, г/см ³	0,133-0,277			0,205			0,024		
$\rho_{норм}$	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Вихідні									
$Z_{ПММ}$, грн./га	684-1053	684-1053	684-1053	862	862	862	68	68	68
$У$, грн./га	462-1415	487-1420	390-1351	883	890	810	128	127	130
$Z_{ПММ} + У$	1294-2376	1256-2332	1198-2306	1745	1752	1673	139	144	147
$N_{a\text{ опт}}(Z_{ПММ} + У)$				9	6	5			
				(1745)	(1752)	(1673)			

$N_{a \min} (3 \text{ ГММ} + Y)$								6 (1950)	4 (2060)	4 (1858)					
$N_{a \max} (3 \text{ ГММ} + Y)$								16 (1566)	10 (1505)	6 (1250)					
$N_{\text{факт}}$								10, 15, 6	15, 23, 9	18, 13, 15					

Таблиця 2.4.

Ранжування груп агрегатів за оптимальною кількістю агрегатів та рівнем питомих витрат

Група	15	13	4	16	5	7	6	8	9	11	10	14	2	12	3	1
місце	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

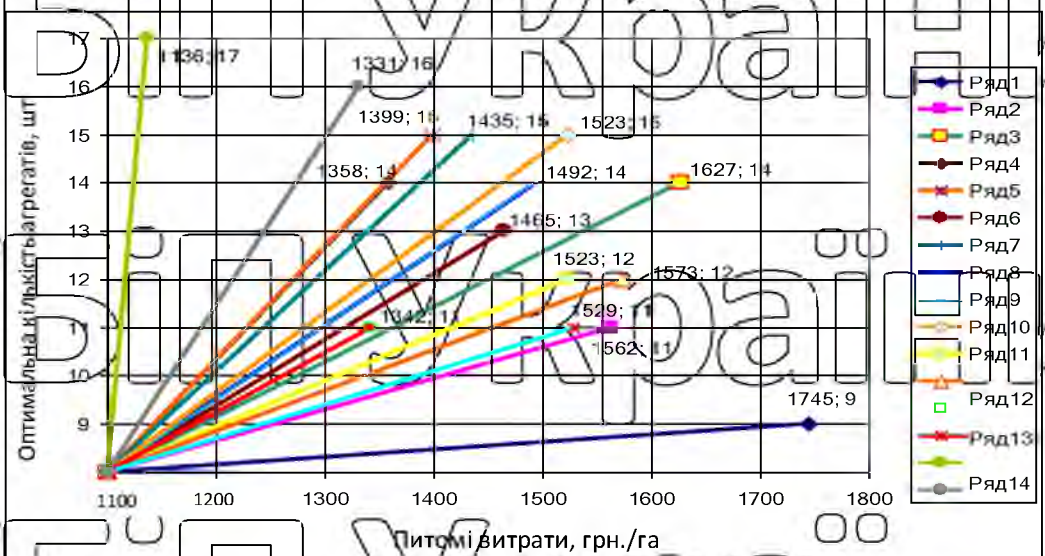


Рис. 2.16. Геометричне місце оптимального значення кількості агрегатів та відповідні загальні питомі витрати

Проте спостерігаючи графіки можна побачити, що з малих витратах іноді спостерігається високе значення кількості агрегатів. Тому краще порівнювати графіки залежностей кількості агрегатів від витрат за кожною групою (рис. 2.17)

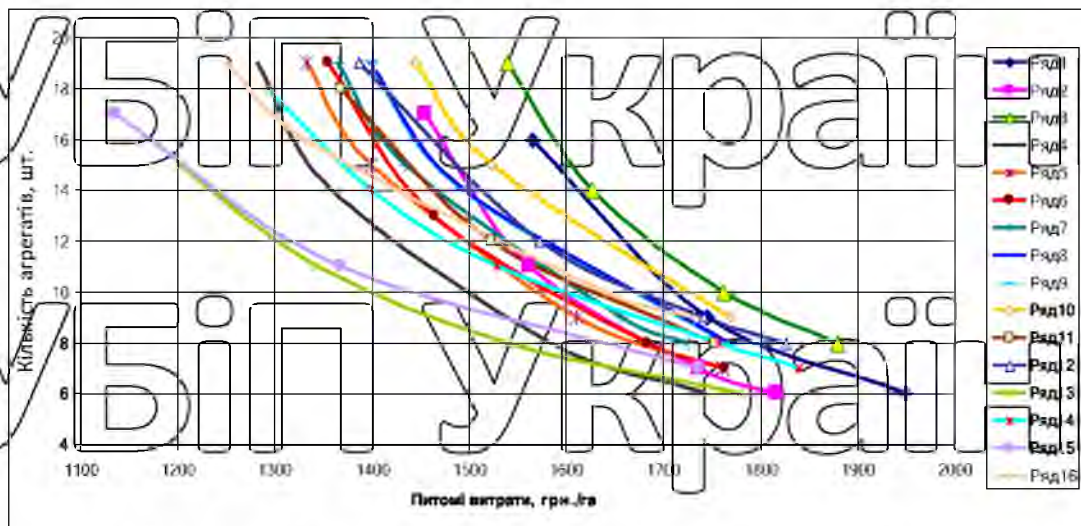


Рис. 2.17. Графіки залежностей кількості агрегатів від витрат за кожну групою

2.3. Визначення цільової функції для боронування та імітаційне моделювання основних витрат на виконання операції

Наступною технологічною операцією, за традиційної технології обробітку, є боронування. Цю операцію зазвичай проводять 2 - 3 рази - залежно від ґрунту та кліматичних умов. Модернізуємо цільову функцію для даної технологічної операції:

$$\begin{cases} \Phi = C_T \cdot (a_n \cdot m_b + b_n \cdot Q_{an} + c_n \cdot \Gamma_T) \cdot n_{пр} - y_k \cdot C_K \cdot k_u \cdot \left(\frac{S_{п}}{Q_a \cdot N_a} - n_{норм} \right) \cdot n_{пр} \Rightarrow 0 \\ C_T \cdot (a_n \cdot m_b + b_n \cdot Q_{an} + c_n \cdot \Gamma_T) \cdot n_{пр} + y_k \cdot C_K \cdot \left[k_u \cdot \left(\frac{S_{п}}{Q_a \cdot N_a} - n_{норм} \right) + \Delta \rho_{факт} \cdot k_{ср} \cdot n_{пр} \right] \Rightarrow \min \end{cases} \quad (2.18.)$$

де m_b - кількість борін;

$n_{пр}$ - кількість проходів під час боронування.

Основні характеристики тракторів та робочих органів приймаємо за довідковими даними, наведеними в [92]. Діапазони зміни змінних задаються на підставі статистичних даних та залежно від поданої інформації у довіднику [92]. Закони розподілу встановлюються відповідно до типу змінної та наявної інформації у технічній літературі. Список вхідних змінних для цільової функції та їх діапазони зміни наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8.

Список змінних цільової функції для боронування та відповідні характеристики

Змінна, од. вимірювання	Група за складом агрегату				
	1-10				
	Вид	Закон розподілу	Діапазон зміни	Середнє	Ст. відхилення
C_r , грн./л. (ціна палива)	Стохастична	Рівномірний	24,5-29,8	-	-
n_b , шт. (кількість борін)	Дискретна	-	12-30	-	-
$n_{пр}$, шт. (кількість проходів)	Дискретна	-	1-3	-	-
$Q_{вп}$, га/зміну (норма виробітку)	Стохастична	Нормальний	Залежно від складу агрегату	Залежно від складу агрегату	Залежно від складу агрегату
I_r , о. група складності	Стохастична	Рівномірний	1-4	-	-
U_k , ц/га, врожайність)	Стохастична	Нормальний	42-72	57	5
C_k , грн./ц	Стохастична	Рівномірний	610-675	-	-
k_u , (Коефіцієнт інтенсивності втрат урожаю при відхиленні агротермінів)	Дискретна	-	-	0,001	-
k_a , (кількість агрегатів)	Дискретна	-	-	1-6	-
$n_{норм}$, (нормативна кількість змін)	Постійна	-	-	-	-
$\Delta\rho_{факт}$, г/см ³ , (фактичне збільшення щільності ґрунту)	Стохастична	Нормальний	0,133-0,277	0,205	0,024
$k_{су}$, см ³ /г (коефіцієнт зниження врожайності з урахуванням ущільнення ґрунту)	Стохастична	Рівномірний	0,08-0,1	0,09	-

Моделювання зі змінами значень дванадцяти змінних проводилося за допомогою надбудови Монте-Карло. Результати моделювання для кількості борін від 12 до 30 наведено у таблиці П 2.9 (Додаток 2). Як приклад представлена таблиця 2.9. з двох агрегатів.

Таблиця 2.9.

Дані за результатами моделювання цільової функції з агрегатами ДЖОН ДІР та Т-4А з боронами БЗТС-1,0 та +БЗСС-1,0

Змінні, од. вимірювання	Група за складом агрегату, склад агрегату, значення коефіцієнтів рівняння регресії								
	1; ДЖОН ДІР + БЗТС-1,0; $a=-0,044$; $b=0,023$; $z=0,544$								
Вхідні	Діапазон зміни			Середнє			Ст. відхилення		
Q_{opt} га/зміну	56-114			82			11		
$\Delta Q_{факт}$, г/см ³	0,133-0,277			0,205			0,024		
$n_{пр}$	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вихідні									
$Z_{ПММ}$, грн./га	33-83	65-165	100-250	57	115	173	15	31	46
$У$ агротермінів, грн./га	20-80	487-1420	390-1351	46	130	130	24	39	39
$У$ загальний, грн./га	550-900	753-2500		722	1479	2156	116	231	342
$Z_{ПММ} + У$	600-950	856-2616	1198-2306	780	1595	2329	115	231	147
$N_{a\ opt}(Z_{ПММ} + У)$				3 (780)	2 (1595)	2 (2329)			
$N_{a\ min}(Z_{ПММ} + У)$				2 (864)	1 (1660)	1 (2313)			
$N_{a\ max}(Z_{ПММ} + У)$				4 (743)	3 (1511)	3 (2245)			
2; ДЖОН ДІР+ БЗСС-1,0; $a=0,65$; $b=0,46$; $z=2,55$									
Вхідні	Діапазон зміни			Середнє			Ст. відхилення		
Q_{opt} га/зміну	68-120			89			11		
$\Delta Q_{факт}$, г/см ³	0,133-0,277			0,205			0,024		
$n_{пр}$	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вихідні									
$Z_{ПММ}$, грн./га	28-78	55-165	75-225	52	103	156	15	30	44
$У$ агротермінів, грн./га	0-150	31-305	39-319	33	109	109	20	32	39
$У$ загальний, грн./га	358-1226	635-2391	1152-3766	709	1461	2136	115	228	342
$Z_{ПММ} + У$	413-1271	800-2550	1234-2291	761	1564	2291	115	228	337
$N_{a\ opt}(Z_{ПММ} + У)$				3 (761)	2 (1564)	2 (2291)			
$N_{a\ min}(Z_{ПММ} + У)$				2 (835)	1 (1724)	1 (2521)			
$N_{a\ max}(Z_{ПММ} + У)$				4 (731)	3 (1359)	3 (2215)			

10 Т4-А + БЗТС-1,0; $a=-0,095$; $=0,04$; $z = 0,592$									
Вхідні	Діапазон зміни			Середнє			ст. відхилення		
$Q_{ан}$, га/зміну	48-92			70			7		
$\Delta\rho_{факт}$, г/см ³	0,082-0,13			0,106			0,008		
$n_{пр}$	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вихідні									
$Z_{ПММ}$, грн./га	20-80	40-160	60-225	50	98	147	18	35	53
$У$ агротермінів, грн./га	0-132	20-224	71-374	27	76	174	16	22	36
$У$ загальний, грн./га	212-619	452-1176	687-1856	376	773	1221	52	102	157
$Z_{ПММ} + У$	259-662	528-1278	783-1983	426	1142	1368	53	105	161
$N_{a_{opt}}(Z_{ПММ} + У)$				4 (426)	3 (872)	2 (1368)			
$N_{a_{min}}(Z_{ПММ} + У)$				3 (475)	2 (970)	2 (1368)			
$N_{a_{max}}(Z_{ПММ} + У)$				5 (403)	4 (823)	4 (1221)			
11 Т4-А + БЗСС-1,0; ; $a=-0,0996$; $=0,04$; $z = 0,619$									
Вхідні	Діапазон зміни			Середнє			ст. відхилення		
$Q_{ан}$, га/зміну	48-92			70			7		
$\Delta\rho_{факт}$, г/см ³	0,082-0,13			0,106			0,008		
$n_{пр}$	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вихідні									
$Z_{ПММ}$, грн./га	33-90	65-180	100-275	62	123	184	18	35	53
$У$ агротермінів, грн./га	21-188	20-224	71-374	76	76	174	22	22	35
$У$ загальний, грн./га	212-619	452-1176	687-1856	424	775	1224	57	101	157
$Z_{ПММ} + У$	259-662	528-1278	886-2100	486	898	1409	52	105	162
$N_{a_{opt}}(Z_{ПММ} + У)$				3(486)	3(898)	2(1409)			
$N_{a_{min}}(Z_{ПММ} + У)$				3(486)	2(997)	2(1409)			
$N_{a_{max}}(Z_{ПММ} + У)$				4(437)	4(849)	3(1310)			

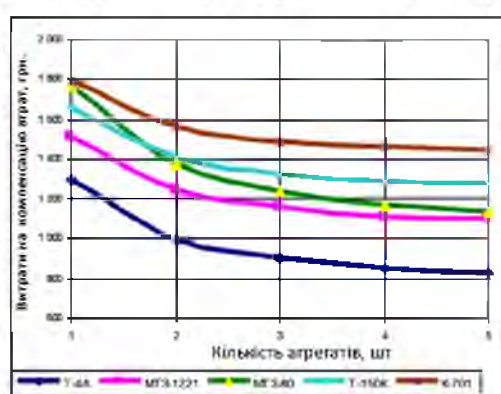
Як показав аналіз таблиць П.2.9 та 2.9, зміна тилу борін мало впливає на ефективність агрегатів, більший вплив надає кількість проходів. Усі агрегати можна умовно розбити на 5 груп ефективності залежно від витрат на паливо та компенсацію загальної шкоди (таблиця 2.10.). У даній таблиці дано відомості по однаковій оптимальній кількості агрегатів (2), 2-х типах борін і 2-3-кратному проході по полю.

Таблиця 2.10.

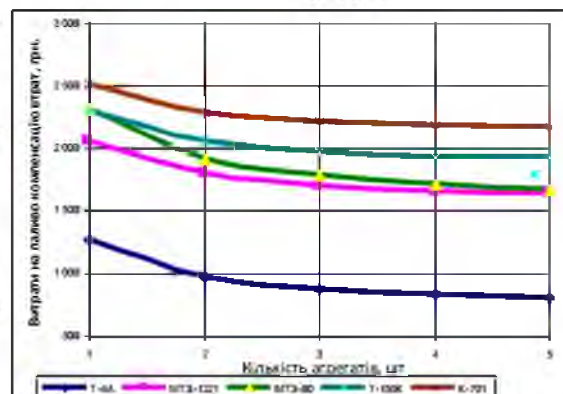
Дані щодо агрегатів та їх загальних витрат на паливо та компенсацію збитків із формуванням груп ефективності

Група ефективності	Витрати	Тип трактора	Кількість проходів	
			2	3
1	Загальні збитки та витрати на паливо, грн.	T-150	977-983	1382-1391
		T-4A	970-997	1368-1402
		DT-75M	800-807	1376-1406
	Загальний інтервал витрат за паливо і компенсацію збитків за групою, грн.		800-977	1368-1406
2	Загальні збитки та витрати на паливо, грн.	MT3-1221	1230-1250	1780-1799
3	Загальні збитки та витрати на паливо, грн.	MT3-80	1268-1297	1874-1916
4	Загальні збитки та витрати на паливо, грн.	T-150K	1402-1407	2040-2050
5	Загальні збитки та витрати на паливо, грн.	K-701	1564-1595	2291-2329
		K-700	1568-1584	2292-2311

Аналіз отриманих даних (на основі моделювання) також показав, що оптимальна кількість агрегатів коливається у невеликих межах та для всіх агрегатів становить 2-3 шт. Побудовано також графіки залежності загальних витрат від кількості агрегатів за основними представниками груп ефективності (рис. 2.14.), з яких видно більш різку залежність загальних витрат від кількості агрегатів лише до 3 штук.



а) - 2 проходи по полю



б) - 3 проходи по полю

Рис. 2.14. Залежність загальних витрат на паливо та компенсацію збитків

від кількості агрегатів

Також побудовано графіки залежностей витрат на компенсацію збитків через зрив агротермінів від кількості агрегатів (рис. 2.15) та залежність витрат

через ущільнення ґрунту від кількості проходів по полю (рис. 2.16.).

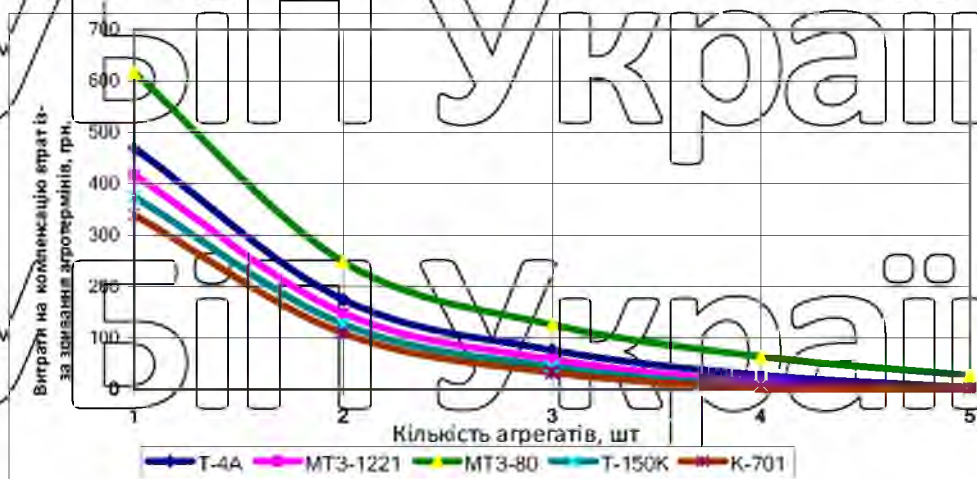


Рис. 2.15. Залежність витрат на компенсацію збитків через зриви агротермінів від кількості агрегатів



Рис. 2.16. Залежність витрат на компенсацію збитків через ущільнення ґрунту від кількості проходів агрегату

З рис. 2.15, випливає, що найбільший вплив на шкоду від зриву агротермінів має агрегат із трактором типу МТЗ-80, а найменший - К-701 (через різну продуктивність). У той же час залежність шкоди через ущільнення ґрунту від проходів агрегату спостерігається зворотний вигляд: найбільше - К-701 та найменше - МТЗ-80 (рис. 2.16.) (через витрати на паливо та ущільнення ґрунту).

2.4. Визначення цільової функції для дискування та імітаційне моделювання основних витрат на виконання операції

Важливою технологічною операцією, за традиційної технології обробітку,

є дискування. Цю операцію зазвичай проводять 1 - 2 рази - залежно від ґрунту, кліматичних умов та агрофону. Необхідні дані для апроксимації основних виразів визначення витрати палива приймаємо з довідкових даних [22, 92].

Модернізуємо цільову функцію для даної технологічної операції при агрофоні - цілина, пласт багаторічних трав та поклад у два проходи - обробка дернини з глибиною обробки близько 10 см:

$$\begin{cases} \Phi = C_T \cdot (b_n \cdot Q_{an} + c_n \cdot \Gamma_T) - y_k \cdot C_K \cdot k_u \cdot \left(\frac{S_{II}}{Q_a \cdot N_a} - n_{норм} \right) \Rightarrow 0 \\ C_T \cdot (b_n \cdot Q_{an} + c_n \cdot \Gamma_T) + y_k \cdot C_K \cdot \left[k_u \cdot \left(\frac{S_{II}}{Q_a \cdot N_a} - n_{норм} \right) + \Delta \rho_{факт} \cdot k_{cy} \right] \Rightarrow \min \end{cases} \quad (2.19.)$$

Список вхідних змінних для цільової функції та їх діапазони зміни наведено в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Список змінних цільової функції для дискування та відповідні характеристики

Змінна, од. вимірювання	Група за складом агрегату				
	Вид	Закон розподілу	Діапазон зміни	Середнє	Стандартне відхилення
C_T , грн./л. (ціна палива)	Стохастична	Рівномірний	24,5-29,8	-	-
Q_{an} , га/зміну, (норма виробітку)	Стохастична	Нормальний	Залежно від складу агрегату	Залежно від складу агрегату	Залежно від складу агрегату
Γ_T , о. (група складності)	Стохастична	Рівномірний	1-4	0	-
y_k , ц/га. (урожайність культури)	Стохастична	Нормальний	42-72	57	5
C_K , грн./ц	Стохастична	Рівномірний	610-675	-	-
k_u , (Коефіцієнт інтенсивності втрат урожаю при відхиленні агротермінів)	Дискретна			0,0011	
N_a , (кількість агрегатів)	Дискретна			4-6	
$n_{норм}$, (нормативна кількість змін)	Дискретна			4-12	
$\Delta \rho_{факт}$, г/см ³ , (фактичне збільшення щільності ґрунту)	Стохастична	Нормальний	0,133-0,277	0,205 0,178 0,106	0,024 0,022 0,008
k_{cy} , см ³ /г (коефіцієнт зниження врожайності з урахуванням ущільнення ґрунту)	Стохастична	Рівномірний	0,08-0,1	0,09	

Моделювання зі змінами значень дев'яти змінних проводилося за допомогою надбудови Монте-Карло. Результати моделювання для агрофону -

цідина, пласт багаторічних трав та поклад у два проходи. Результати визначення оптимальної кількості агрегатів представлено в таблиці 2.13.

На основі даних моделювання отримано графіки залежності витрат на паливо та компенсацію збитків від кількості агрегатів та нормативного значення змін. На рис. 2.21 представлені такі графіки для нормативного значення змін 4 для 12 комплектів агрегатів.

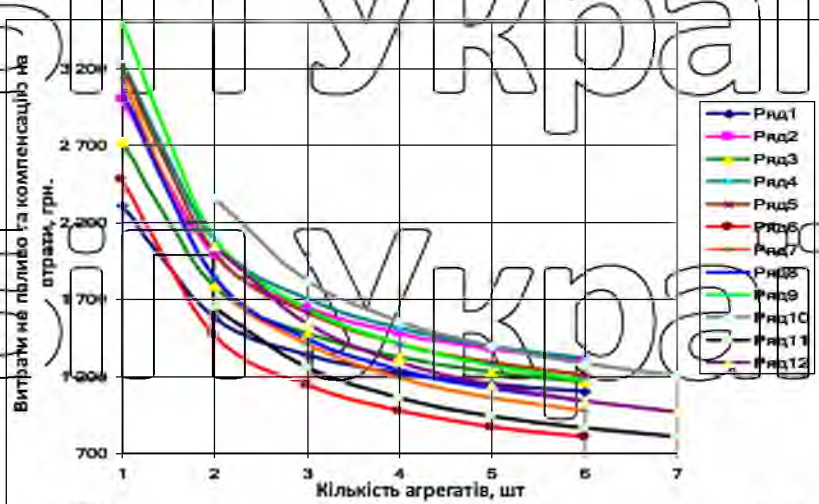


Рис. 2.21. Залежності витрат на паливо та компенсацію збитків від кількості агрегатів та нормативного значення змін рівного 4.

2.7. Висновки з другого розділу

1. З використанням логіки предикатів та кванторної алгебри визначено предметні змінні та їх сфери існування для логічного програмування з суцільної обробки ґрунту. Виділено три багатомісні предикати і після квантифікації отримано логічні рівняння, що дозволяють визначити напрями подальших досліджень.

2. Отримано загальну цільову функцію щодо ґрунтообробки для оптимізації кількості працюючих агрегатів та отримання мінімуму витрат на паливо та компенсацію збитків через зрив агротермінів та від ущільнення ґрунту після руху агрегатів по полю.

3. На основі загальної цільової функції з ґрунтообробки розроблені приватні - для окремих технологічних операцій: оранка, боронування, суцільна культивування, дискування, коткування. Такі цільові функції можуть бути використані для подальшого аналізу будь-якими аналітичними або

експериментальними методами.

4. Наявність у цільових функціях 9-12 змінних призвело до необхідності використання імітаційних моделей, які у процесі реалізації на ПК дозволяють імітувати поведінку реальної системи за різних умов. Розроблено повний алгоритм ймовірнісної імітаційної моделі цільової функції щодо визначення складу одного агрегату та його технологічних параметрів. Реалізацію моделювання за методом Монте-Карло запропоновано проводити за допомогою спеціальної надбудови в Excel. Виконувалась перевірка адекватності результатів моделювання даним статистичних спостережень, відносна помилка моделювання не перевищила 5%, тобто модель дає результати, адекватні натурним експериментам.

5. В результаті імітаційного моделювання з оранки вдалося отримати інформацію щодо оптимального значення кількості агрегатів при різних нормативних агротермінах при відповідних збитках, а також термінах, що перевищують дані нормативи. Також на основі зведених даних моделювання одержано геометричне місце оптимальної кількості агрегатів з відповідними загальними питомими витратами. Запропоновано всі агрегати ефективності розділити умовно на 4 групи.

6. Розрахована також ефективність агрегатів при зміні типу трактора при роботі з одним і тим же ґрунтообробним знаряддям та результати показують низьку залежність ефективності від заміни тягового агрегату - в межах 10%.

7. Моделювання інших агрофонів (2- староорні землі, стерня зернових-кокосових та однорічних трав, 3- поле після коренебурбоблодів та переорювання) проводилося тільки для окремих представників від кожної групи і показало, що для 1-ї та 2-ї груп ефективності на другому агрофоні практично не змінилося значення загальних питомих витрат; на третьому агрофоні - для всіх категорій питомі витрати нижчі. Таким чином, можна сказати, що вдосконалення знарядь ґрунтообробки призведе до підвищення ефективності даних агрегатів, так і найбільш ефективних таких як «Джон Дір», «Нью Холланд» та ін.

8. Для полетшеного режиму роботи низькоєфективна група для рівня

«норма» має більше значення оптимальної кількості агрегатів: для жорстких вимог до агротермінів - на 14 шт., для нормальних - на 6 шт., для м'яких - на 5 шт. У той самий час, перевищення загальних витрат низькоефективної групи

проти висоефективної, перебуває у інтервалі від 1,3 до 1,4 тис. грн./га (на 37-40%). Перевищення рівня витрат за паливо для низькоефективної групи

становить від 0,23 до 0,38 тис. грн./га (на 29-45%). Слід зазначити, що витрати на паливо, у всіх випадках, перебувають на рівні 30-35% від загальних витрат на паливо та компенсацію збитків від впливу на ґрунти та через зрив агротермінів.

9. При мінімальному обробітку ґрунту різниця за загальними витратами

між групами ефективності складала: висоефективна перевищує низькоефективну у важкому режимі роботи в середньому на 1,5 тис. грн./га (на 37%), у легкому на 1 тис. грн./га (на 26%). Також висоефективна група має найменші витрати на паливо, в середньому на 33%.

10. Порівняно із загальноприйнятою технологією при мінімальній обробці та важкому режимі роботи, загальні витрати для висоефективної групи знизилися на 1,6-2,1 тис. грн./га (на 40-45%), для низькоефективної групи - на 1,73-1,8 тис. грн./га (на 31%); для полегшеного режиму роботи: для висоефективної групи витрати знизилися на 50%, а низькоефективної - на 23%.

Витрати на паливо при мінімальній обробці та важкому режимі роботи вдвічі нижчі, а для полегшеного режиму менше на 32%. Також скоротилася загальна оптимальна кількість працюючих агрегатів на 10-17%.

РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗОВАНИХ ПРИЙОМІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

3.1. Основні технологічні операції обробки ґрунту, що забезпечують енергозбереження та збереження вологості

Для визначення ефективності удосконалення робочих органів агрегатів повернемося до логічного програмування. На підставі виразу (2.1.) представимо формалізовану логічну модель для технологічного процесу обробки ґрунту з коефіцієнтами для кожної операції:

$$A(x_1 \dots x_9): x_5 = f(x_1 \dots x_4), x_9 = k_1 x_5 + k_6 x_6 + k_7 x_7 + k_8 x_8 \quad (3.1.)$$

Вхідні в цей вираз коефіцієнти приймають значення 1 для базового складу агрегатів. Створимо два базові склади агрегатів (високо та низькоефективні групи) для середнього рівня робіт з усіх операцій за традиційною технологією обробки ґрунту (Таблиці В.1, 3.2).

Таблиця 3.1

Зведені дані щодо базового комплексу високоефективних агрегатів

Склад агрегату	Найменування характеристики	Рівень вимог до агростроків								
		жорсткий			норма			м'який		
		мін	ном	мак	мін	ном	мак	мін	ном	мак
Оранка 2-й агрофон Трактор 1 + ПН6-35	Кількість агрегатів, прим.	12	17	22	8	12	16	6	9	12
	Витрати загальні, тис. грн.	1,33	1,15	1,05	1,44	1,13	0,98	1,53	1,13	0,93
	Витрати наливо, тис. грн.	0,46	0,58	0,70	0,46	0,58	0,70	0,46	0,58	0,70
Борошування 2 проходи (норма) Трактор 2-БЗТС-1,0	Кількість агрегатів, прим.	2	3	4	2	3	4	2	3	4
	Витрати загальні, тис. грн.	0,98	0,89	0,84	0,98	0,89	0,84	0,98	0,89	0,84
	Витрати паливо, тис. грн.	0,07	0,12	0,18	0,07	0,12	0,18	0,07	0,12	0,18

Дискування 2-й агрофон										
Трактор 3+БД-10	Кількість агрегатів, прим.	4	4	5	2	3	3	2	2	2
	Витрати загальні, тис. грн.	0,56	0,56	0,5	0,65	0,49	0,49	0,52	0,52	0,52
	Витрати паливо, тис. грн.	0,08	0,11	0,14	0,08	0,11	0,14	0,08	0,11	0,14
Культивація без борошування										
Трактор 4 + КШУ-18-1	Кількість агрегатів, прим.	4	5	6	3	3	3	2	2	3
	Витрати загальні, тис. грн.	0,94	0,83	0,77	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,76
	Витрати паливо, тис. грн.	0,06	0,08	0,11	0,06	0,08	0,11	0,06	0,08	0,11
Прикочування										
Трактор 5-ЗКК-6	Кількість агрегатів, прим.	6	7	8	4	4	5	3	3	3
	Витрати загальні, тис. грн.	0,51	0,44	0,40	0,42	0,42	0,39	0,40	0,40	0,40
	Витрати паливо, тис. грн.	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05
РАЗОМ										
	Кількість агрегатів, прим.	28	36	45	19	25	31	15	19	24
	Витрати загальні, тис. грн.	4,32	3,87	3,56	4,27	3,71	3,48	4,22	3,73	3,45
	Витрати паливо, тис. грн.	0,7	0,93	1,18	0,7	0,93	1,18	0,7	0,93	1,18

Зробимо заміну плуга для відвальної обробки на культиватор КПЕ-3,8, плуг ППЗ-100, або ППЧН-3,2 для безвідвальної обробки. Після моделювання та аналізу встановлено, що це призведе в оранці до зниження загальних витрат у два рази, а паливних ресурсів у 3,5 рази (також за рахунок невеликої глибини обробки), що скорочує у загальній ґрунтообробці загальні витрати на 17% та витрати на паливо в два рази.

Для забезпечення енергозбереження необхідно, щоб питомі витрати енергії нових запропонованих варіантів конструктивно-технологічних засобів були меншими за питомі витрати енергії базових варіантів.

Згідно з даними відомо, що при обробі ґрунту плугами з чизельними робочими органами (рис. 3.1.), оснащених прямими стійками та долотами з шириною $b = 4 - 5$ см, при куті підйому $\alpha = 25 - 45^\circ$ критична глибина

різання $h_{гр} = (2,5/4)b$ та площина сколювання має форму трапеції.

Ширина смуги деформації на поверхні ґрунту (B , м) при глибині обробки (α , м), вугіллі підйому (α), вугіллі тертя ($\varphi = 26,5^\circ$) та вугіллі сколювання ($\theta = 50^\circ$) дорівнює

$$B = b + \frac{2\alpha \cdot \operatorname{tg}(\theta/2)}{\cos(\alpha + \varphi)} \quad (3.2.)$$

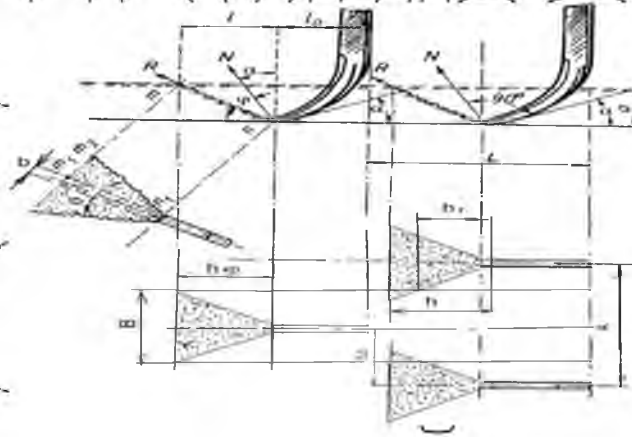


Рис. 3.1. Схема обробки ґрунту чизельним плугом

Відстань між стійками встановлюється залежно від висоти гребенів $h_{гр}$, що визначаються агрономіями. Для зниження небезпеки забивання стійок ґрунтом та рослинними залишками їх розташовують у кілька рядів. У цьому випадку відстані між стійками збільшують у 2 рази, а тяговий опір ґрунту другому ряду робочих органів на 17-20% менше, ніж першому рахунок блокованого різання (різання без виділення стружки). Таким чином навантаження сприймаються лапами культиватора першого ряду приблизно в 2 рази більше за навантаження лап 2-го ряду за рахунок блокованого різання.

У зв'язку з чим висуваємо наступну гіпотезу: застосування прийому блокованого різання при конструюванні лапи має знизити опір ґрунту деформації або відриву пласта ($R_{кх}$) приблизно на 20%. Для цього змінимо конструкцію плоскорізної лапи, і запропонуємо її, наприклад,

1. Плоска стріласта лапа шириною 0,5 м, складена з 7-ми плоских частин шириною 0,07 м, виходячи з розмірів одержуваних грудок рівних 0,04-0,07 м за один прохід. Тоді для цієї форми лапи $R_{кх}$ визначиться згідно з новою математичною залежністю.

$$R_{\text{КХ1}} = c \cdot (\alpha \cdot d_k / 7) + 2c_1 / 7 (\alpha_1 \cdot d_k + \alpha_2 \cdot d_k + \alpha_3 \cdot d_k), \quad (3.3.)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - глибина різання (товщина шару, що зрізається) 1-го, 2-го і 3-го ступенем лапи;

c - коефіцієнт питомого опору ґрунту долота, $c = 50 - 150 \text{ кН/м}^2$;

$$c_1 - \text{новий коефіцієнт питомого опору ґрунту для 1-го, 2-го і 3-го ступенів лап, } c_1 = 0,8c.$$

Плоска стрілочаста лапа шириною 0,5 м з розміщенням в середній частині

долота, тоді для цієї форми буде нове $R_{\text{КХ2}}$, яке визначиться згідно з новою закономірністю:

$$R_{\text{КХ2}} = c \cdot (\alpha_d \cdot b_d) + 2 \cdot c_2 \cdot \alpha_l \cdot (b_l - b_d), \quad (3.4.)$$

де α_d, α_l - товщина зрізаного шару долотом і лапою;

$$b_d - \text{ширина долота;}$$

$$c_2 - \text{новий коефіцієнт питомого опору ґрунту лап, } c_2 = 0,8c.$$

2. Плоский стрілочасті лапи розміщеної кілька ярусів, оскільки, забезпечення водопроникності необхідно збільшення глибини обробки ґрунту.

Але при цьому пропорційно зростанню глибини зростає тяговий опір, так як площа скелювання пласта має форму трапеції через наявність кута

сколювання $\theta_c = 50^\circ [10, 15]$ (кута між стороною і висотою трапеції), тому

збільшуються перетин пласта і відповідно ширина смуги деформації на

поверхні ґрунту та розміри ґрунтових агрегатів. Витрати енергії на обробку

збільшаться. Крім цього при передпосівній обробці для отримання у

верхньому шарі ґрунтових агрегатів розміром 1-10 мм потрібно два, а то й три

додаткові проходи передпосівних машин, які також збільшать витрати енергії.

При застосуванні ярусного розміщення лап, нове $R_{\text{КХ3}}$ визначиться тоді

з математичної закономірності:

$$R_{\text{КХ3}} = c \cdot (\alpha_{1\text{яр}} \cdot d_{\text{к1яр}}) + c_{2\text{яр}} \cdot \alpha_{2\text{яр}} \cdot d_{2\text{яр}}, \quad (3.5.)$$

де $c_{2яр}$ - новий коефіцієнт питомого опору ґрунту лапи другого ярусу ($c_{2яр} = (c + c_1)/2$), а c_3 - коефіцієнт питомого опору ґрунту лапи при обробці легких ґрунтів.

$\alpha_{1яр}, \alpha_{2яр} \cdot d_{2яр}$ - глибина обробки лап 1-го та 2-го ярусів.

Нова математична закономірність для визначення поздовжньої складової сили тяги для плоскорізнних стрілочастих лап має вигляд

$$P_{Xj} = 0,3 \cdot G_M/n + R_{KXi} + G \cdot \operatorname{tg}(\beta \mp \varphi) + \alpha \cdot b_L \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \operatorname{tg}(\beta + \varphi) \text{ або}$$

$$P_{Xj} = 2,94 \cdot m/n + R_{KXi} + 25688,25 \cdot \alpha \cdot b_L \cdot l + 16382,81 \cdot \alpha \cdot b_L.$$

(3.6.)

де R_{KXi} - опір ґрунту деформації або відриву пласта двогранним клином: плоскою лапою, плоскою складовою лапою, плоскою лапою з долотом, плоскими ярусними лапами ($R_{KX}, R_{KX1}, R_{KX2}, R_{KX3}$);

n - кількість робочих органів.

Отримаємо нові закономірності визначення тягового зусилля P_{TK} (Н), враховуючи блокованого різання:

$$P_{TK} = 0,8 \cdot B \cdot P_{Xj}/b_L + \mu \cdot m \cdot g/2, \quad (3.7.)$$

Зниження витрат енергії можна досягти також регулюванням нахилу лап у момент роботи (рис. 3.2.), впливаючи на процеси утворення елементної стружки та стружки відриву, які також залежать від сили R_K .

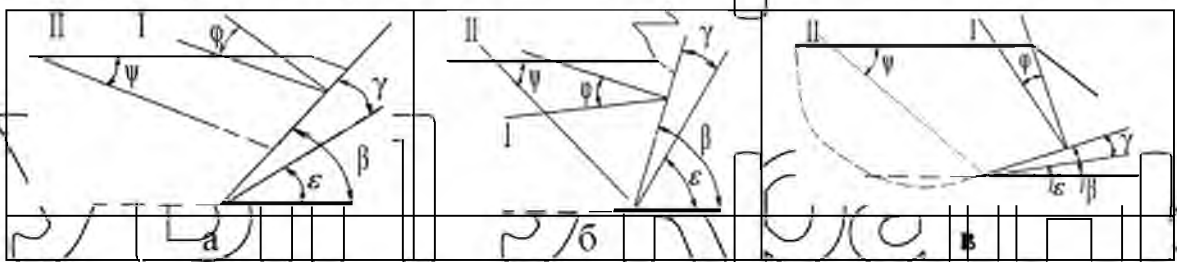


Рис.3.2. Схема утворення елементної ґрунтової стружки та стружки

відриву

Відомо, що перед лезом можливе утворення випереджальної тріщини та стружки відриву при співвідношенні.

$$\psi \leq \frac{\pi}{2} - (\beta + \varphi), \quad (3.8.)$$

де ψ - кут між напрямком поверхні відділення ґрунтової стружки та поверхнею поля;

φ - кут тертя (кут між результуючою силою різання та нормаллю до передньої частини леза робочого органу);

β - кут різання (рис. 3.2. а).

$$\text{У разі } \psi > \frac{\pi}{2} - (\beta + \varphi), \quad (3.9.)$$

на поверхні площини відділення елементів стружки виникають нормальні напруги, що сприяють з'єднанню елементів стружки ґрунтової, тобто. відбувається завантаження (рис. 3.2 б), а енерговитрати будуть максимальні.

$$\text{У разі } \psi = \frac{\pi}{2} - \frac{(\beta + \varphi)}{2} \quad (3.10.)$$

пласт зрізається суцільною стрічкою (рис. 3.2.) При цьому енерговитрати будуть мінімальними. Дані процеси застосовується при розпушуванні поверхневого шару, наприклад, при збереженні вологи або передпосівної обробки ґрунту.

Зниження опору ґрунту та підвищення якості обробки ґрунту можна досягти [21] також установкою на напієлапи зворушувачів у вигляді дисків (рис. 3.3.), які на відміну від зворушувачів клиноподібної форми мають нижчий опір, т.к. сила тертя кочення має менше значення проти силою тертя ковзання.

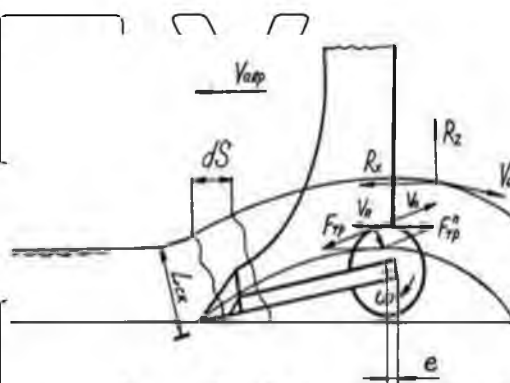


Рис. 3.3. Схема руху пласта під час роботи плоскорізальної лапи з

дисковими зворушниками

Для досягнення необхідної якості обробітку ґрунту необхідно визначити положення додаткових пристроїв (зворушників) щодо основного робочого органу. У момент сходу пласта з леза лапи частинки здійснюватимуть вільний рух до зустрічі з диском. Процес підрізання та відкидання ґрунтового пласта плоскорізалвними напівлапами характеризується дальністю L_x його польоту та висотою L_z підйому над дном борозни, які визначаються відомими законами криволінійного руху матеріальної точки, кинуті під кутом до горизонту.

Рівняння руху частинок пласта матиме вигляд:

$$\begin{aligned} x &= V_x \cdot t_n = V_a \cdot \cos\alpha \cdot t_n, \\ z &= V_z \cdot t_n = V_a \cdot \sin\alpha \cdot t_n - \frac{gt_n^2}{2}, \end{aligned} \quad (3.11.)$$

Після перетворень визначимо дальність польоту:

$$x = L_x = \frac{v_a^2 \cos\alpha}{g} \left[\operatorname{tg}\alpha + \sqrt{\operatorname{tg}^2\alpha + \frac{2gB \cdot \sin\alpha}{v_a^2 \cos^2\alpha}} \right] \quad (3.12.)$$

Висота підйому пласта:

$$L_z = \frac{v_a^2 \sin^2\alpha}{2g} + B \sin\alpha \quad (3.13.)$$

Аналізуючи вирази (3.12. та 3.13.), можна побачити наступне:

➤ дальність польоту та висота підйому частинок пласта характеризується рівняннями з урахуванням геометричних параметрів робочого органу;

➤ при спільній роботі лапи та дискового зворушника необхідно враховувати відстань їх між собою, відстань e , а також діаметр D диска;

➤ мінімальна відстань і мінімальний діаметр дискового зворушника обумовлюється моментом зустрічі частинок, що рухаються, з диском, що сприяє кращому розпушенню ґрунту;

➤ при віддаленні дисків від зони польоту частинок ґрунту при своєму сході з лапи подальшому падінні на дно борозни спочатку ущільнюватиметься, а потім піддаватиметься впливу дисків, виробляючи остаточне розпушення.

Це буде викликати додаткову витрату енергії. З урахуванням сказаного, відстань між зворушником і лапою має бути меншою за горизонтальне переміщення пласта (дальності польоту $l < l_x$). Під час руху пласта по поверхні лапи і після сходу з неї частки мають динамічні сили (сили інерції).

Якщо диск розташований від лапи на відстані більшій, ніж дальність сходу пласта, ці сили не будуть позитивно впливати на роботу диска і навпаки при невеликій відстані між зворушником і лапою пласт, що рухається, знаходиться на диск, і ці сили сприятимуть кращому обертанню диска. Кришення ґрунту в цьому випадку буде ефективнішим. Особливо це позначається, якщо робочий

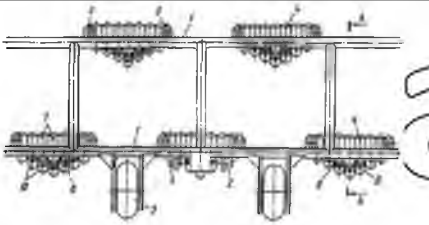
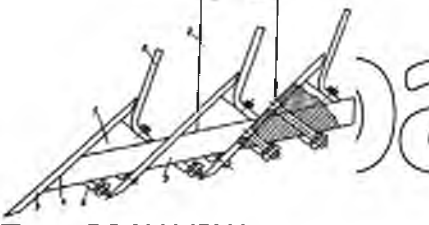
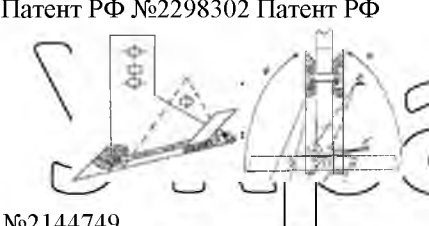
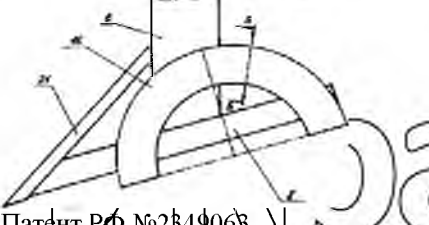
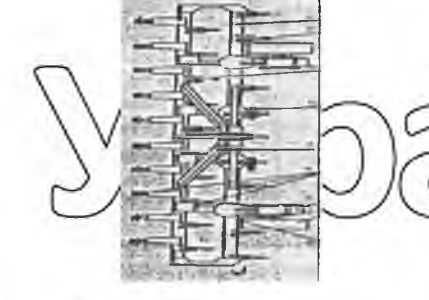
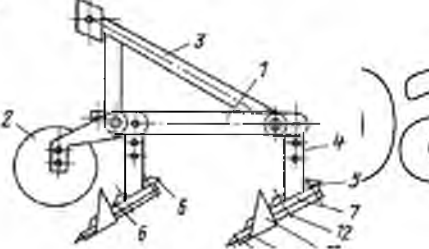
процес складає підвищених швидкостях. При цьому окружне зусилля стає невеликим за рахунок зменшення сил тертя. У зв'язку з цим питомі витрати енергії нового пристрою з дисковими зворушниками повинні відрізнитись від базового плуга. Згідно з прийнятою гіпотезою блокованого різання,

багатоваріантності застосовуваних технічних засобів, агроландшафтної екології нами проведено пошукові [94, 95] та патентні дослідження. На підставі проведених досліджень нами розроблено та запропоновано наступні нові конструктивно-технологічні рішення (КТР) (таблиця 3.3.), їх характеристики та значення коефіцієнтів у рівнянні 3.1.

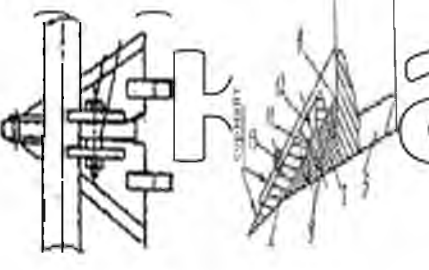
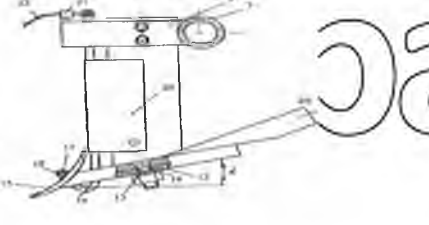
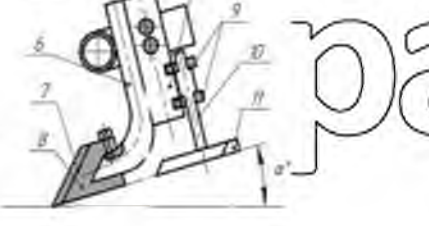
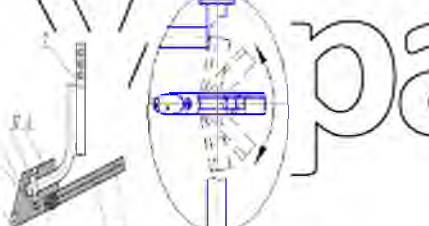
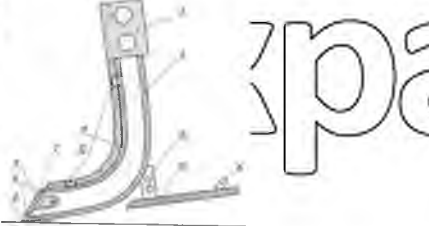
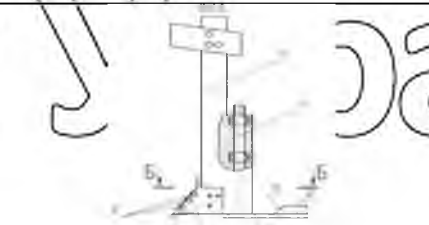
Таблиця 3.3.

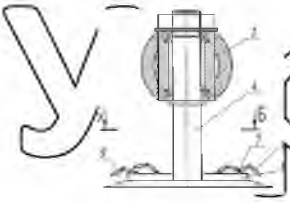
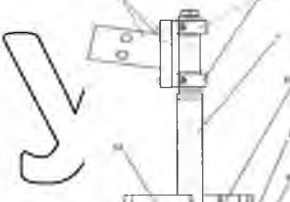
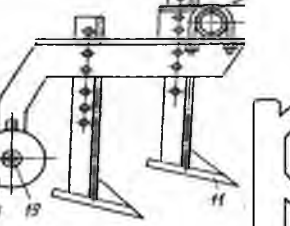
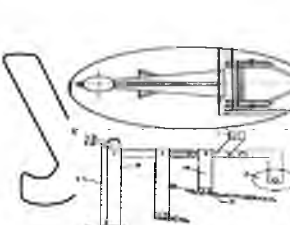
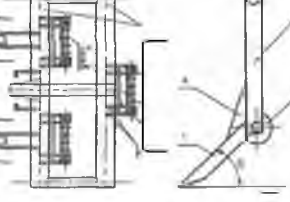
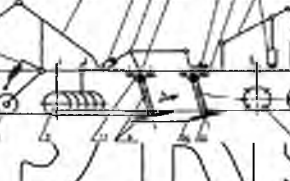
Технічні характеристики конструктивно-технологічних рішень з новими робочими органами та показники якості

Технічні характеристики	Схема робочих органів, загального виду машини	Показники якості
<p>Плоскорізна лапа з двома шарірними зворушниками</p> <ul style="list-style-type: none"> - a^* - до 20 см; - V_p - 9-12 км/год; - b_d - 500 мм; 		<p>3</p> <ul style="list-style-type: none"> - Комковатість згідно з агрометриями - 80%; - Необхідно додатково - 3/проходи дисковою боронаю;


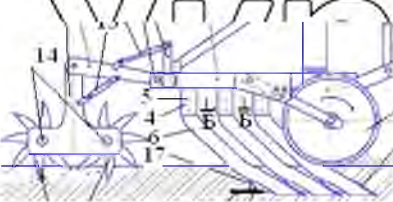
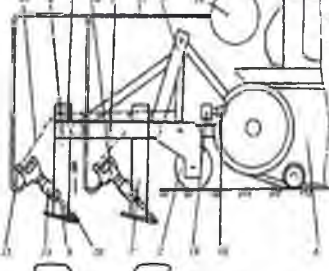

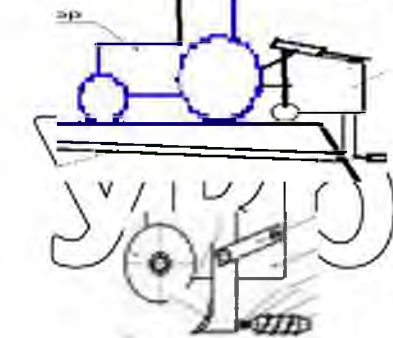
<p>2. Плоскорізна лапа складна з 7-ми круглих елементів:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - До 15-30 см (0,2 м); - b_d - 490 мм; - b_c - 70 мм; 	 <p>Патент РФ №2214076</p>	<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 75%; - Необхідно додатково - 1 прохід;
<p>3. Плоскорізна лапа складна з 7-ми плоских елементів:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 15-30 см; - V_p - 9-12 км/год; - b_d - 490 мм; - b_c - 70 мм; 	 <p>Патент РФ №2267893</p>	<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 75%; - Необхідно додатково - 1 прохід;
<p>4. Плоскорізна лапа з 2-х трикутних напівдисків, що складається:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 15-60 см; - V_p - 9-12 км/год; - b_d - 500 мм; - b_c - 70 мм; 	 <p>Патент РФ №2298302 Патент РФ №2144749</p>	<ul style="list-style-type: none"> - комковатість - 30%; - Необхідно додатково 3-4 проходи; - операції - 2: розпушування напівдисків та чизелювання (руйнує плужну підшву)
<p>5.</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 15-60 см; - V_p - 9-15 км/год; - b_d - 500 мм; - b_c - 70 мм; 	 <p>Патент РФ №2149063</p>	<ul style="list-style-type: none"> - комковатість - 50%; - Необхідно додатково 1-2 проходи; - операції - 2: розпушування напівдисків та чизелювання (руйнує плужну підшву)
<p>6. Конструктивно-технологічні рішення (згрупована)</p>		
<p>6.1. Лушитель ЛЧ-4,2 з чизельними лапами:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Агр. стор. - кл. 2; - V_p - 7,5-9 км/год; - b_d - 50-70 мм; - B_n - 4,2 м; - P - 2,5 т/год; - α - до 20 см; - m - 825 кг; 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 70%; - Витрата палива - 13,8 кг/га; - Необхідно додаткове розпушування 2 проходи;
<p>6.2. Плоскорізна лапа із зносостійким долом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - до 20 см; - V_p - 9 км/год (2,5 м/с); - b_d - 500 мм; - b_c - 70 мм; 	 <p>Патент України №2202159</p>	<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 30%; - Необхідно додатково - 2-3 проходи; - працездатність без заточування - 2000 га

НУБІП України

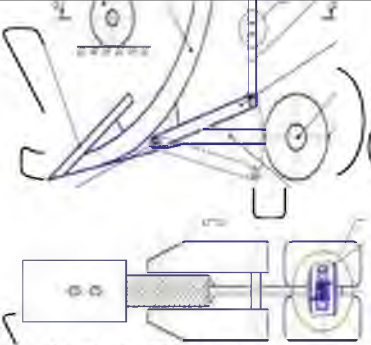
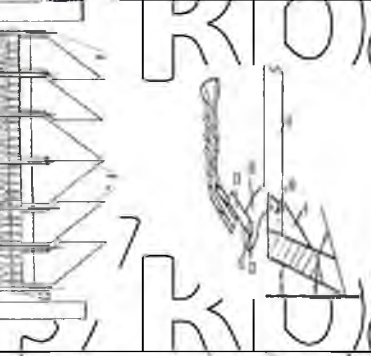
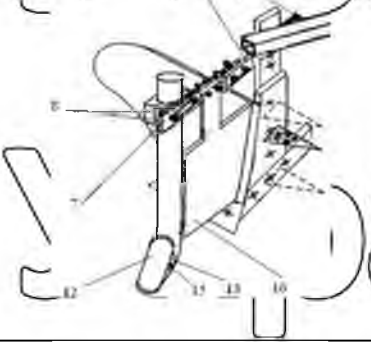
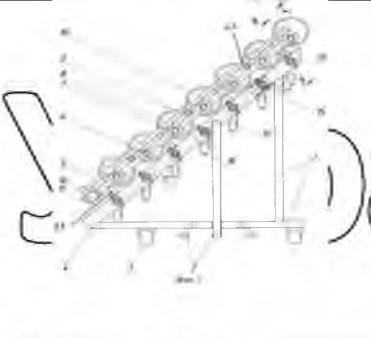
<p>6.3. Плоскорізна лапа із зносостійким долотом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α- до 20 см. - V_p- 9 км/год (2,5 м/с); - B_d- 3,2 м. - b_d- 500 мм. - b_d- 50-70 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агрономіями – 30%. - Необхідно додатково 2-3 проходи; - пружність без заміни лопат – 2000 і більше га
<p>6.4. Плоскорізна лапа з пасивно-активним долотом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α- до 20 см. - V_p- 9 км/год. - b_d- 500 мм. - b_d- 50-70 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агрономіями – 30%. - Необхідне додаткове розпушування – 2-3 проходи;
<p>6.5. Плоскорізна трикутна лапа що повертається з круглим долотом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α- 15-50 см. - V_p- 9-12 км/год. - b_d- 500 мм. - b_d- 70 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агрономіями – 30%. - Необхідно додатково – 3-4 ін.; - розпушує плужну підшушта і відволить надлишки вологи; - операцій - 2;
<p>6.6. Плоскорізна змінною шириною лапа з круглим долотом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α До 20 см. - V_p- 9-12 км/год. - b_d- 300-600 мм. - b_d- 90 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно агрономіями – 30 %. - Необхідно додатково – 3-4 ін.;
<p>6.7. Плоскорізна змінна напівкругла лапа з грубою смішкою із загнутим кінцем</p> <ul style="list-style-type: none"> - α 15-50 см. - V_p- 9-12 км/год. - b_d- 500 мм. - b_d- 90 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агрономіями – 30%. - Необхідно додатково – 2-3 ін.; - розпушує плужну підшушта і відволить надлишки вологи;
<p>6.8. Плоскорізна напівкругла лапа що повертається із зносостійким долотом.</p> <ul style="list-style-type: none"> - α- до 20 см. - V_p- 12 км/год. - b_d- 500 мм. - b_d- 70 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агрономіями – 30%. - Необхідно додатково – 2-3 ін.; - пружність долота – 2000 га

<p>6.9. Плоскорізна шарнірна дискова з ребрами лапа</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - до 20 см; - V_p - 12 км/год; - D_d - 500 мм; - b_p - 70 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 30%; - Необхідно додатково - 2-3 ін.; - працездатність диска - 2000 га
<p>6.10. Плоскорізна шарнірна дискова з ребрами лапа</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - до 20 см; - V_p - 12 км/год; - D_d - 500 мм; - b_p - 70 мм 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 30%; - Необхідно додатково - 2-3 ін.; - працездатність диска - 2000 га
<p>7. Плоскорізні двоярусні лапи</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 30-60 см; - V_p - 9 км/год; - b_d - 500 мм; - b_n - 14 см 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 50%; - Необхідно додатково - 1 прохід; - розушлює плужну підпошу
<p>8. Плоскорізні триярусні лапи</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 15-75 см; - V_p - 9 км/год; - b_d - 500 мм; - b_{d2} - 270 мм; - b_{d3} - 70 мм; - активна 3-я стійка 		<ul style="list-style-type: none"> - Кімковатість згідно агро вимог - 70 - Необхідно додатково - 1 прохід; - розушлює плужну підпошу та виводить надлишки борн; - операцій - 1
<p>9. Плоскорізна прямокутна лапа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Агр. Стор. - кл 2; - α - 6-15 см; - V_p - 9 км/год (3,5 м/с); - b_d - 0,5 м; - n_b - 6 шт 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами - 100%; - Дно - рівне, щільне, у кожен операцій - 1 перепосільне розмушуння;
<p>10. Агрегат ґрунтообробний-комбінований з дисковими лапами з активним управлінням</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 6-8 8-16; 4-6 см; - V_p - 11 км/год - B_n - 3,5 м; - m - 2750 кг; 		<ul style="list-style-type: none"> - вирівнювання, підрізання бур'янів, вибісування бур'янів, подрібнення поживних, дроблення брил, коткування, мульчування; - комковатість - 100%;

НУБІП України

<p>11. Агрегат із шарнірними дисковими лапами та масивним долотом та пружинним шлейфом:</p> <p>катком:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - До 20 см; - V_p - 12 км/год; - b_d - 0,5 м; 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами – 80%; - Необхідно додатково – 1-2 прокоди; - Підвищує надійність шлейф-ковзани
<p>12. Агрегат комбінований з трубними стійками та змішаними лапами, кільчастим катком:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 16-25 см; - V_p - 7-10 км/год; - b_d - 0,5 м 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість – 96%; - Вирівнювання, підрізування та випісування бур'янів, подрібнення поживних, коткування, мульчування;
<p>13. Агрегат з активним долотом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - до 20 см; - V_p - 9 км/год (3,5 м/с); - B_m - 3,2 м; - b_d - 0,5 м; - кільк. роб. орг. - 7; - m - 960 кг; 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість згідно з агро вимогами – 30%; - Витрати палива - можливість безвідвального розпушування пересушеного ґрунту;
<p>14. Лушпальник з дисковим органом модифікований (БДФМ з 2П):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Агр. стор. - кл 3; - V_p - 12-20 км/год; - Діам. диска - 0,45 м; - Кут атаки - 15-35° - B_m - 3 м; - П - 3,2-5,7 га/год; - α - 8 до 18 см; - кільк. роб. орг. - 24; - m - 1255 кг; 		<ul style="list-style-type: none"> - комковатість – 100%; - працездатність без гнх до 3000 і більше гектарів;
<p>15. Дренування ґрунту для відведення зайвої вологи:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Агр. стор. - кл 0,6; - α - 65-25 см; - V_p - 12 км/год; - П - 0,6 га/год; - B_m - 0,09 м; 		<ul style="list-style-type: none"> - нарізує щілини та дрени Ø90 мм та з ухилом 0,05%; - Витрата палива – 23 – 26 кг/га;

НУБІП України

<p>16. Розпушування зябку та накопичення талих вод</p> <ul style="list-style-type: none"> - Агр стор. - кл 0,6; - α - До 50 см; - V_r - 12 км/год; - П - 0,6 т/га/год; - B_m - 0,5 м; 		<ul style="list-style-type: none"> - Здійснює безвідвальне розпушування зябку з одночасним дренажним котком, що відріє; - збільшено обсяг дрону та щільність її стінок; - Витрата палива – 23 кг/га;
<p>17. Проведення передпосівного обробітку ґрунту з одночасним посівом зернових колосових культур експериментальним засобом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - B_m - 6 м - П - 7,2 га/год - α - 2-3 см - ємність бункера - 1200 дм³; 		<ul style="list-style-type: none"> - Міжряддя – 12,5 см; - норма висіву - 350 кг/га; - Витрата палива – 20,1 кг/год або 2,8 кг/га; - Можливість сівби по стерні. Сходи на 6 – 7 днів раніше; - збільшення врожаю на 3,06 ц/га; - по ґрунту не працює;
<p>18. Чизельний передплужник, щиток, відвальний корпус з плоскорізальною бритвою</p> <ul style="list-style-type: none"> - α_n - 25 до 45 см; - $D_{п1}$ - до 10 см; - $\alpha_{в1}$ - 25 см; - кут розчину бритви - 5-45°; - $b_{щ}$ - 35 см; 		<ul style="list-style-type: none"> - Чизельна обробка на глибину 35-40 см руйнує «плужну підшову»; - Комкуватість - 60% - Необхідно додатково - 1-2 ін.; - Закриває бур'яни
<p>19. Чизельний передплужник з дисковою для плоскорізної та відвальної гладкої оранки лапа</p> <ul style="list-style-type: none"> - α - 16-25 см - $D_{п1}$ - до 10 см - $(D_{д1}, D_{д2})$ - 0,5 м; - V_r - 7,5-9 км/год; 		<ul style="list-style-type: none"> - комкуватість - 50%; - закриває бур'яни при відвальній оранки; - захищає стерню при плоскорізній обробці; - Необхідно додатково – 2 проходи.

* - α - глибина обробки; V_r - робоча швидкість; b_d - ширина лапи; $b_{д1}$ - ширина долота; П - продуктивність; B_m - ширина машини; $D_{п1}$ - діаметр передплужника; $D_{д1}$ - діаметр дискової лапи; m - маса

1. «Пристрій для безвідвальної оранки» [121] з дисковими зворушниками $k_5 = 0,9$ - (через зниження тягового опору).

2. «Пристрій для безотвального оранки» [12, 14], робочі органи якого виконані складовими з круглих елементів лапами на прямокутних стійках $k_8 = 0,88$ - (за рахунок вдвічі скорочення кількості проходів бороною).

3. Пристрій для здійснення «Спосіб безвідвального обробітку ґрунту» [146] з робочим органом у вигляді плоскої складової лапи $k_8 = 0,88$ - (за рахунок вдвічі скорочення кількості проходів бороною).

4. «Пристрій для обробки ґрунту» з складальними лапами, прототипом, якого є також розроблений нами «Плуг навісний» [18]. Зазначені пристрої мають розширені технологічні (функціональні) можливості та представляють універсальні знаряддя для безвідвальної обробки ґрунту. У той же час через наявність долота, що покращує заглиблення робочого органу «Пристрій для обробки ґрунту», краще «Плуга навісного» і забезпечує розпушування, як на богарі, так і в садах. Плуг зі складальними лапами використовується для розпушування підшви при глибині обробки 0,6 м, ширині робочого органу 0,1 м. При цьому середній тяговий опір глибокорозпушувача та плоскоріза, рівні відповідно 10,5 кН/м та 6 кН/м. Таким чином, за рахунок зменшення загального тягового зусилля коефіцієнт $k_5 = 0,85$.

5. «Пристрій для обробки ґрунту» [15], яке має такі нові елементи, як: складальні напівлапи, у вигляді напівкілець з заточками зовні і всередині, що фіксуються в розкладеному і в складеному положенні; повзун, що переміщається і фіксується на необхідній глибині обробки ґрунту. Нові елементи дозволять проводити передпосівну, пошарову обробку ґрунту, з підвищеною глибиною (чизелювання) та коефіцієнт $k_5 = 0,85$.

6. Нові конструктивно-технологічні рішення такі як: для безвідвального обробітку ґрунту» [18] відповідають моделі базового варіанту, але мають також такі відмінності:

– «Лушитель чизельний навісний» [33] призначений для лушення бур'янів та поверхневого розпушування ґрунту, а також для закриття вологи відразу після збирання має змінні робочі органи

– «Зброя для безвідвального обробітку ґрунту» [41], робочі органи яких мають підвищену експлуатаційну надійність. Застосування цих робочих органів дозволить підвищити якість обробітку ґрунту, тобто. зменшити комковатість, повніше зрізати кореневища бур'янів, зменшити гребнистість

дна, і навіть підвищити експлуатаційну надійність, т.к. за рахунок знімних з підвищеною твердістю платівок термін служби долота збільшується.

«Пристрій для безвідвального обробітку ґрунту» [45] оснащений долотами, які можна висувати, легко знімати та заточувати.

– «Зброя для безвідвального обробітку ґрунту» [49], з активними органами з рухомим долотом та знімними напівлапами.

«Пристрій для безвідвальної обробки ґрунту» [16] – це універсальний засіб для безвідвальної обробки ґрунту з циліндричними

долотами і лапами, що повертаються [56], який призначений для кращого (з меншими витратами енергії) впровадження долота в ґрунт, а також для

підвищення експлуатаційної надійності і розширення технологічної спроможності.

– «Пристрій для безвідвального обробітку ґрунту» завдяки можливості зміни ширини захоплення робочого органу за допомогою напівлап

з'являється здатність виконувати наступні роботи: чизелювання з кротуванням, чизелювання з невеликим розкриттям напівлап та плієкорізню обробку ґрунту.

– «Пристрій для безвідвального обробітку ґрунту» завдяки тому, що лапа виконана напівкруглою, з верхнім заточенням і має зворощувачі у вигляді

смужок металу, вирізаних частково в торці задньої частини лапи і відігнутих на кут 40-50° забезпечується зниження металоемності, простота в

виготовлення, а також забезпечується зниження витрат енергії та експлуатаційна надійність.

«Зброя для безвідвальної обробки ґрунту», у якого коливальний рух Г-подібної напівлапи забезпечує краще фарбування ґрунту і винесення

верхньої полицею зі скосом органічних залишків на поверхню поля, а нижня полиця за рахунок заточування забезпечує підрізання кореневої системи.

– «Пристрій для безвідвального обробітку ґрунту», має диски оснащені знімними, накладними, дугоподібними, зварними, що мають профіль прямокутної трапеції лопатями. Лопаті зафіксовані до ножів за

допомогою різьбових кронштейнів, з зворушувачами у вигляді шматків якірного ланцюга. Таке конструктивне виконання дозволить розширити технологічні можливості, зменшити витрати енергії.

– «Пристрій для безвідвальної обробки ґрунту». Установа зворушувачів посередині проходів і орієнтуються у бік руху пласта забезпечує підвищення якості розпушення ґрунту. Пластинчаста форма лопаті забезпечує спрощення конструкції робочого органу.

Всі ці запропоновані вдосконалені органи цієї операції скорочують паливні витрати лише з цієї технологічної операції і тому $k_8 = 0,97$.

7. «Плуг навісний» з двоярусним розміщенням лап з однаковою шириною захвату. Дані плуги для безвідвальної обробки ґрунту зі збільшеною глибиною орного шару забезпечують проникність вологи на велику глибину та створення якісного ступеня розпушеності ґрунту та коефіцієнт $k_5 = 0,9$.

8 «Пристрій для основного обробки ґрунту» з триярусним розміщенням лап з різною шириною захвату, забезпечує потарове розпушування та коефіцієнт $k_5 = 0,9$.

9. «Розпушувач чизельний». Розпушувач є засобом для безвідвальної передпосівної обробки ґрунту. Він призначений для забезпечення отримання рівного насінневого ложа, за рахунок прямокутної лапи з нижньою заточкою (двогранного клина), а також для розпушення ґрунтових структур верхнього горизонту завдяки нерухомим прямокутним або обертовим дисковим зворушникам.

3.2. Прийоми суміщення ґрунтообробки та внесення добрив

Ми припускаємо, що застосування даного розпушувача підвищить якість обробки ґрунту, що полягає в розпушенні ґрунтового пласта на глибину до 0,08 м, у підготовці насінневого ложа та в отриманні дрібнокомкуватої структури на поверхні при питомій масі розпушувача 362,5 кг/м, відсутності додаткових проходів. При середньому тяговому опорі плоскоріза для глибини 0,08 м рівним 2 кН/м [44]. Так як ця операція

проводиться в режимі культивуації, то з одного боку це призводить до підвищення врожайності на 5-10%, а з іншого $K_8 = 0,88$ (за рахунок вдвічі скорочення кількості проходів).

Головне завдання передпосівного обробітку ґрунту - ретельне закриття та збереження вологи через створення верхньої мульчованої поверхні, знищення бур'янів та створення сприятливих умов для проростання насіння з біологічно оптимальної глибини їх загортання. Передпосівна обробка ґрунту ведеться на глибину закладення насіння. Зворушувачі розпушувачів не завжди

якісно ділять пласт ґрунту, особливо якщо ґрунт засмикнув або сухий, тому грудки мають великі розміри (150 мм і більше). Стійки та розвікачі беруть участь у стисканні ґрунту, у відриванні та розділенні пласта ґрунту на дві смуги. Низька якість розпушення ґрунтових структур верхнього горизонту не забезпечує умов ефективного накопичення та використання ґрунтової вологи,

не сприяє одержанню гарантованих урожаїв зернових культур в умовах ризикованого посушливого землеробства. «Агрегат комбінований ґрунтообробний» [54]. Призначений для підготовки ґрунту до сівби за один прохід. При його використанні скорочується кількість технологічних операцій

- виключається дискування, боронування та коткування. Отже, коефіцієнт

$$K_8 = 0,25.$$

10. «Агрегат для обробки ґрунту», складений за допомогою «Пристрої для безвідвального обробітку ґрунту» з комбінованим робочим органом, що

складається з циліндричного долота та двох плоских дисків, розташованих в одній похилій площині. Долото прикріплено до похилої стійки, диски - до двох паралельних валів, встановлених на підшипниках кочення. Агрегат складений також за допомогою пружинної катки або «Шлейф-катка спірального» для розбивання великих ґрунтових агрегатів, для вирівнювання поверхні поля та прикочування поверхневого шару. При створенні робочого органу враховано,

що щільність ґрунту, а, отже, і сила опору руху дисків та осей у ґрунті та сили тертя дисків та осей об ґрунт, - змінні. Комбінації цих навантажень створюють умови для поворотів та обертання дисків та осей щодо їх загальних осей. Більш

щільні ділянки ґрунту певною мірою обкатуватимуть їх, знизяться динамічні навантаження на деталі та вузли робочого органу, збільшиться ступінь кришіння, а, отже, і якість обробки ґрунту, створюються умови для самоочищення дисків від рослинних решток, які обволікають їх. Тоді коефіцієнт $k_5 = 0,9$.

11. «Агрегат для безвідвальної обробки ґрунту» призначений для підготовки ґрунту до посіву. Містить безвідвальний плуг і кільчасто-зубчасті двосекційні котки. Робочі органи плуга представлені зігнутими трубчастими стійками з чизелями і знімними плоскорізними лапами. Аналогічно прикладу

10 скорочується кількість технологічних операцій та $k_8 = 0,25$

13. «Агрегат для безвідвальної оранки», який являє собою засіб для безвідвального обробки ґрунту активними робочими органами та призначений для обробки пересушеного ґрунту. Іноді в період збирання зернових на Україні стоїть спека, що висушує ґрунт, при північно-східному вітрі, через що верхній шар ґрунту зневоднюється. У такий твердий пласт, що злежався, ще й ущільнений після збирання, утруднено заглиблення робочих органів і чизельне розпушування. Пристрій призначений також для кращого (з меншими витратами енергії) впровадження долота в ґрунт, у тому числі підвищення експлуатаційної надійності та розширення технологічної можливості. Спосіб розпушування активним долотом є альтернативою іншим способам, наприклад, дискового лушення, яке не ефективно $k_7 = 0,75$.

14. «Борона дискова» має підвищену експлуатаційну надійність підшипникових вузлів, призначена для розпушування та підготовки ґрунту під зернові та технічні культури, а також для подрібнення та загортання рослинних залишків попередньої культури та знищення бур'янів. Аналогами є БД-10Б, БДТ-7А, БДМ-7×2 та ін. Питомі витрати енергії відповідають базовим варіантам (аналогам) і тому має базове значення коефіцієнтів.

15. Засоби для відведення зайвої вологи «Пристрій для щілини ґрунту [166], призначені для виконання щілин, що дрениують, з ухилом до збірного каналу і пов'язане з додатковим проведенням технологічної операції у разі

такої необхідності.

16. Засіб накопичення вологи в ґрунті та пристрій для його здійснення призначений для накопичення та збереження вологи призначене для збору талих вод у підготовлених для цього горизонтальних щілинах, що сприяє підвищенню врожаю. При визначенні питомих витрат енергії для засобів 15 та 16 необхідно враховувати витрати на виготовлення дрен. Також є додатковою операцією.

17. «Посівний агрегат», представляє комбінований конструктивно-технологічний засіб для одночасного проведення передпосівної обробки ґрунту та посіву зернових колосових культур. «Посівний агрегат» забезпечить підвищення якості посіву за рахунок зменшення вивітрювання шарів ґрунту на поверхню та відкидання пласта, що підрізається, в сторону та отримання рівного ложа, а також зниження витрат енергії за рахунок суміщення операцій ґрунтообробки з посівом.

18. «Удосконалений конструктивно-технологічний засіб для основного обробітку ґрунту», в якому передплужник виконаний у вигляді чизеля.

19. «Багатофункціональний плуг для основного обробітку ґрунту» [26] може бути застосований для ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту, оскільки може виконувати кілька операцій: чизельну (глибоку) обробку ґрунту; безвідвальне розпушування (плоскорізню обробку ґрунту); відвальну (гладку) обробку ґрунту. При обробці ґрунту експериментальним плугом забезпечується гладкий і рівний рельєф без загортання стерні. Еліптична форма ріжучої кромки сприяє безвідмовному впровадженню долота у ґрунт.

Заміна в базових комплексах робочих органів для безвідвальної обробки типу КПЕ-3,8, ПЧН-3,2 на нові, зазначені у таблиці 3.3 під номерами 1, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 14, 18, 19 призводить до зниження загальних витрат на цій операції, в середньому на 10%. Більшість розроблених та вдосконалених знарядь дозволяють скоротити кількість технологічних операцій. Зробимо заміну робочих органів для двох базових комплексів ефективності на вдосконалені машини та визначимо економічну доцільність такої модернізації. І тому

складено таблиці 3.4 - 3.7, де зазначені запропоновані варіанти заміни робочих органів прокуратури та відповідні значення витрат.

Перший варіант - проводить такі технологічні операції та має робочі органи: оранка - один із органів 4, 5, 6,2-6,5, лушення -11; культивуація - 9. У цьому варіанті комплекту робочих машин можливе виконання оранки також робочими органами 2 та 3.

Другий варіант - можливий при більш важких ґрунтах: оранка - один із органів 4, 5, 6,2-6,, лушення -11; боронування (один прохід) - 14; культивуація - 9; збереження вологи (один прохід, дає збільшення врожаю 10-15%) - 16.

Аналіз даних при другому варіанті комплексу машин показує, що це витрати досягають випадку традиційної обробки. Однак, якщо збільшення врожаю буде 10%, то додатковий прибуток (близько 3,5 тис. руб./га) перекриє навіть загальні витрати на компенсацію збитків та паливо. Результати порівняння всіх витрат за базовим комплексом машин та новим представлені графічно на малюнках 3.4.-3.9.

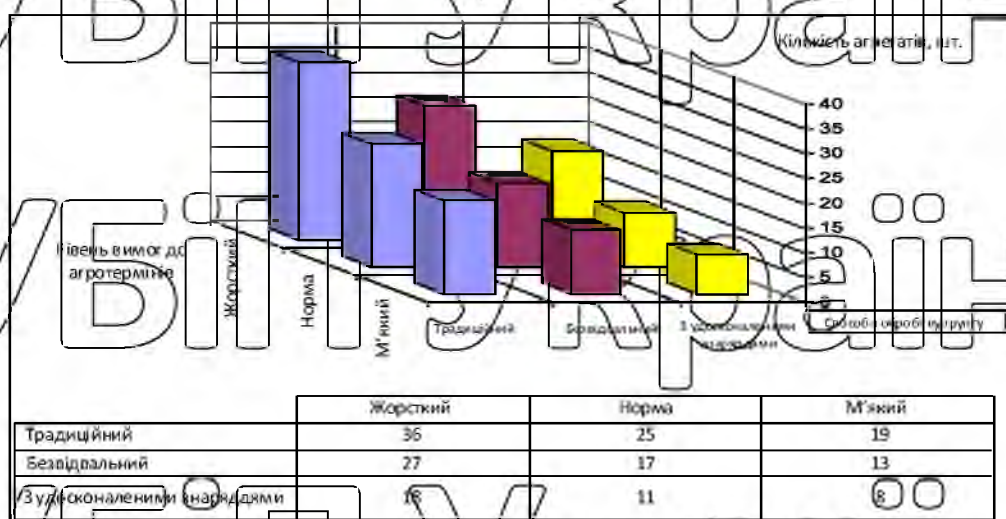


Рис. 3.4. Діаграма залежностей кількості агрегатів від способу обробки ґрунту та рівня вимог до агротермінів, для високоефективних агрегатів.

Так, з рис. 3.4 видно, що для високоефективних комплексів машин безвідвальна технологія дозволяє скоротити оптимальну кількість агрегатів на 25-32% (залежно від рівня вимог до агротермінів). У той же час впровадження

нових ґрунтообробних машин, за рахунок знижених опорів та поєднання технологічних операцій, дозволить скоротити кількість працюючих агрегатів на 50-58% (майже вдвічі). Аналогічно - для низькоефективних комплексів машин (рис. 3.5), безвідвальна технологія призводить до скорочення агрегатів також на 11-14%, а новий комплекс машин - на 14-27%.

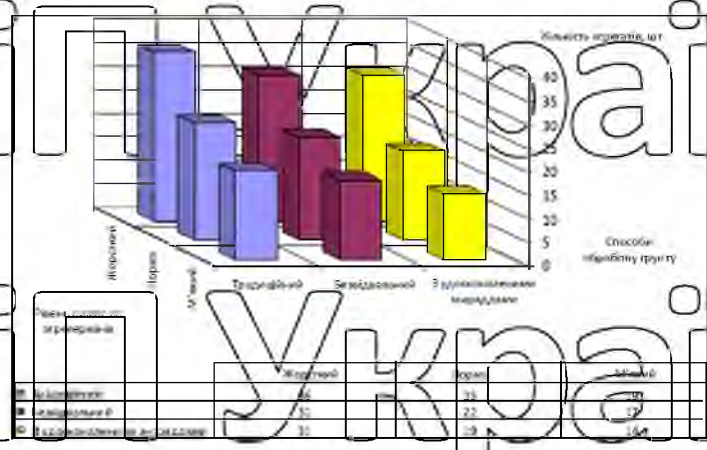


Рис. 3.5. Діаграма залежностей кількості агрегатів від способу обробки ґрунту та рівня вимог до агротермінів для низькоефективних агрегатів.

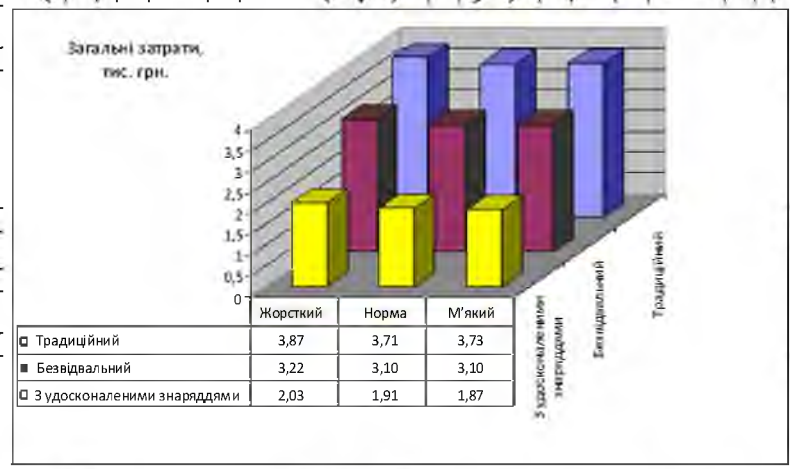


Рис. 3.6. Діаграма залежностей загальних витрат від способу обробки ґрунту та рівня вимог до агротермінів для високоефективних агрегатів

Таким чином, зміна технології обробки ґрунту для низькоефективних комплексів надає менший вплив на оптимальну кількість агрегатів. Зміна способу обробки ґрунту призводить і до зміни витрат. При переході на безвідвальну обробку високоефективних агрегатів і зменшуються загальні витрати на 27% (рис. 3.6) але в новий комплекс машин - на 48-50%. Для

низькоефективних машин аналогічно, для безвідвальної обробки на 12%, а нових машин — на 55% (рис. 3.7). Впровадження нових робочих органів для низькоефективних агрегатів вплинуло на загальні витрати, ніж для високоефективних.

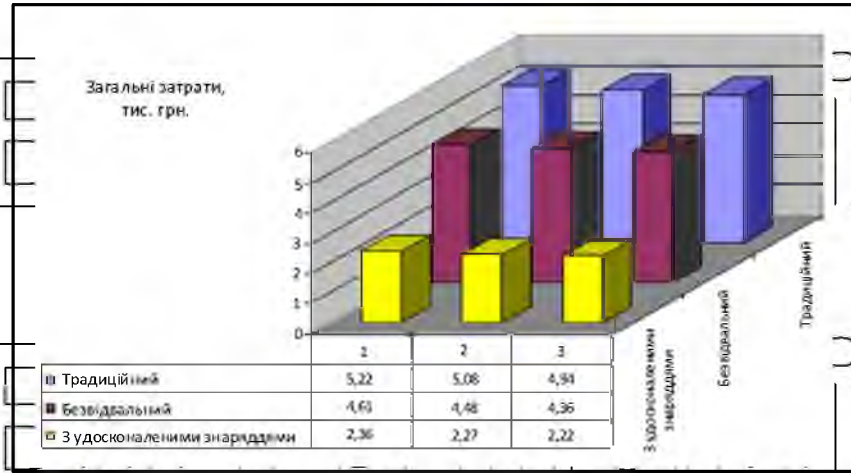


Рис. 3.7. Діаграма залежностей загальних витрат від способу обробки ґрунту та рівня вимог до агротермінів для низькоефективних агрегатів.

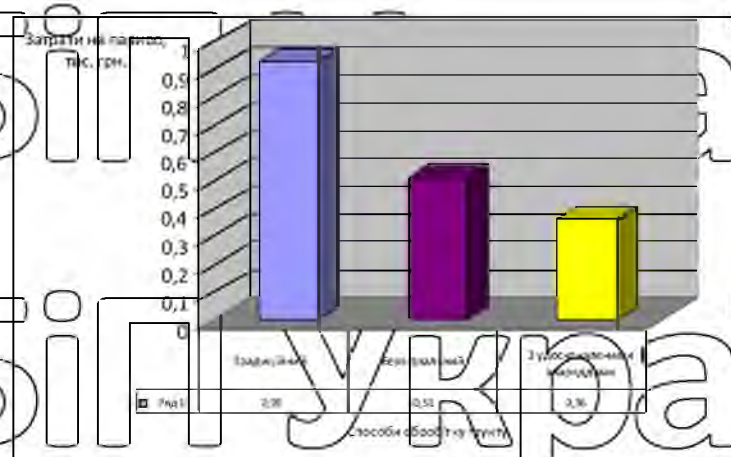


Рис. 3.8. Діаграма залежностей витрат на паливо від способу обробки ґрунту для високоефективних агрегатів.

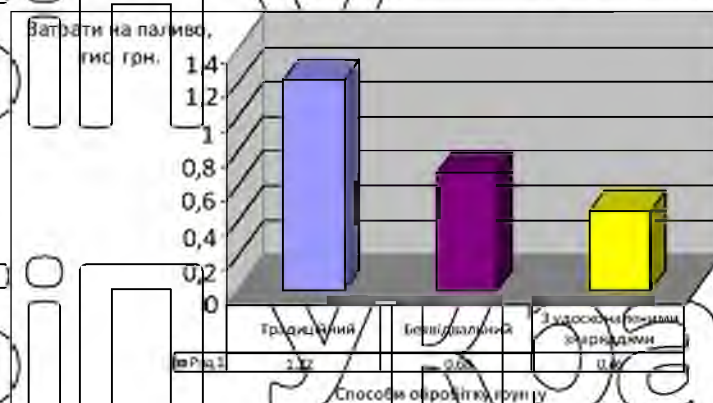


Рис. 3.9. Діаграма залежностей витрат на паливо від способу обробітку ґрунту для низькоефективних агрегатів.

Аналіз графіків за витратами палива (рис. 3.8.-3.9.) показує, що перехід на безвідвальну технологію як висоефективних агрегатів і низькоефективних, призведе до економії цього ресурсу на 45%, а використання нових знарядь знизить споживання палива на 61-64%.

3.3. Висновки з третього розділу

1. Запропоновано аналітичні вирази для розрахунків енергозберігаючих параметрів процесів, розроблено нові аналітичні вирази для розрахунку тягових сил засобів ґрунтообробки зі стрілчастими лапами, зі складальними лапами, з прямокутними лапами, з двоярусними лапами, зі складальними лапами.

2. Запропоновано два варіанти безвідвального обробітку ґрунту на основі комплексів агрегатів різної ефективності: із заміною знарядь на новостворені, що дозволяють зменшити не тільки тягові опори, а й поєднувати кілька технологічних операцій; з додатковою технологічною операцією для важких та посушливих ґрунтів.

3. Аналіз економічної оцінки другого варіанта комплексу машин показує, що загальні витрати рівні витратам при традиційному способі обробітку ґрунту, але при отриманні додаткового прибутку від 10%-го збільшення врожаю, за рахунок збереження вологи, велика частина витрат окупається за один рік.

4. Порівняння традиційної технології обробітку ґрунту з першим запропонованим варіантом комплексу машин призвело до висновку, що для висоефективних комплексів машин безвідвальна технологія дозволяє скоротити оптимальну кількість агрегатів на 25-32% (залежно від рівня вимог до агротермінів), а також зменшити загальні витрати на 27%. У той же час впровадження нових ґрунтообробних машин, за рахунок знижених опорів та суміщення технологічних операцій, дозволить скоротити кількість працюючих агрегатів на 50-58% та зменшити загальні витрати на 48 - 50%.

5. Порівняння традиційної технології обробітку ґрунту для низькоефективних машин показав, що безвідвальна технологія призводить до скорочення агрегатів на 11-14%, загальних витрат – на 12%, а новий комплекс машин скоротить кількість працюючих агрегатів на 14 - 27% та загальних витрат - на 55%.

6. Аналіз витрат на паливо показав, що перехід на безвідвальну технологію як високоефективних агрегатів і низькоефективних, призведе до економії цього ресурсу на 45%, а використання нових знарядь знизить споживання палива на 61-64%.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Визначення раціональних параметрів засобів обробки ґрунту

з двоярусними плоскорізальними лапами.

До програми експериментальних досліджень включені такі питання: конструювання обладнання та виготовлення дослідних зразків, вибір методів, а також розробка методик для експериментальних досліджень;

→ оптимізація основних геометричних параметрів робочих органів ґрунтообробних засобів та збирання гною з використанням методів планування експериментів;

→ проведення виробничих випробувань роботи робочих органів (перевірки в польових умовах), модернізація ґрунтообробних та інших засобів (доопрацювання або усунення недоліків);

→ здійснення комплексної оцінки машин для безвідвального обробки ґрунту.

Для даної роботи, оскільки дослідження охоплюють механізовані процеси у сільському господарстві у галузі землеробської механіки, механізації тваринництва, переробки гною та створення мікроклімату, а також екології, нами розроблено приватні методики

Як приладове (вимірювальне) забезпечення до обладнання для експериментів нами застосовані мірювальні стрічки, лінійки, щупи, секундоміри, кінокамера, фотоапаратура та ін. Експериментальні дослідження проведені з використанням сучасної вимірювальної апаратури та з обробкою даних на ПК та інших засобах даного призначення.

Для визначення сили опору ґрунту, що виникає при впливі на нього робочим органом плуга в процесі роботи, а також для підвищення швидкості та точності обробки даних, у тому числі для виключення дорогого тензометричного обладнання нами розроблено «Польову установку для випробувань ґрунтообробних робочих органів» [18, 19, 164] (рис. 4.1.).

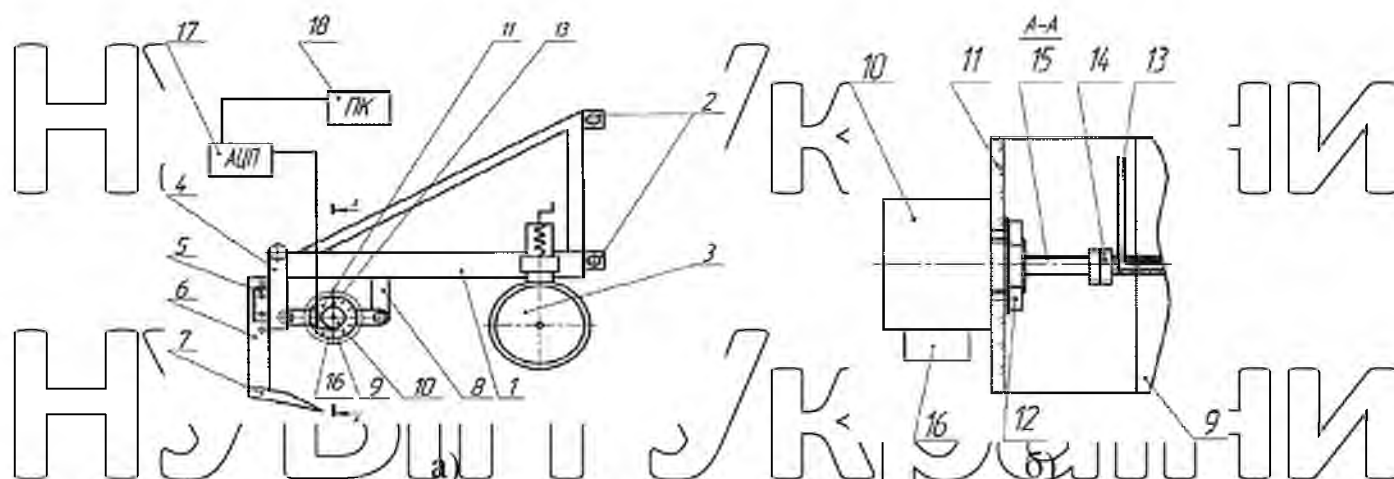


Рис. 4.1. Схема польової установки для випробувань ґрунтообробних робочих органів.

а – вид збоку, б – переріз А-А;

1 - рама; 2 - навішування; 3 - опорне колесо; 4 - сферична пластина; 5 - кронштейни; 6 - стійка; 7 - лапа; 8 - упор; 9 - динамометр; 10 - потенціометр;

11 - скло динамометра; 12 - гайка; 13 - стрілка; 14 - муфта; 15 - регулятор опору потенціометра; 16 - магніторезистивний вихід; 17 - аналого-цифровий перетворювач; 18 - персональний комп'ютер

Новизною пристрою є можливість візуально та в автоматичному режимі фіксувати силу опору під час роботи, а також за допомогою персонального комп'ютера проводити графічний аналіз, визначати значущість та оптимальні величини параметрів.

Для досліджень щодо визначення раціональних параметрів робочих органів та при проведенні польових випробувань були розроблені приватні методики для наступних нових конструктивно-технологічних рішень безвідвального обробітку ґрунту:

- з двоярусними плоскорізальними лапами;
- з чизельною лапою з нижньою заточкою;
- із складальною чизельною лапою;
- з циліндричними повертаючими долотами і лапами;
- зі складальними лапами.

Дослідження щодо визначення раціональних параметрів робочих

органів та лабораторно-польові дослідження проводилися в СФ «Хлібодар».

Визначення раціональних параметрів засобу безвідвальної обробки ґрунту з двоярусними плоскорізальними лапами (рис. 4.2.) [18] виконано з використанням методу планування експериментів за симетричним композиційним планом B_k типу (зоряні точки рівні ± 1), методу крутого сходження при аналізі отриманих рівнянь регресії, який поєднує в собі переваги трьох методів Гаусса - Зейделя - методу Градієнта та методу повного факторного експерименту, як засобу математичної моделі, згідно з розробленими нами програмами для ПК у системі Mathcad [20, 21] та методу математичної статистики (для виключення помилок в остаточних результатах, для обробки та аналізу результатів).

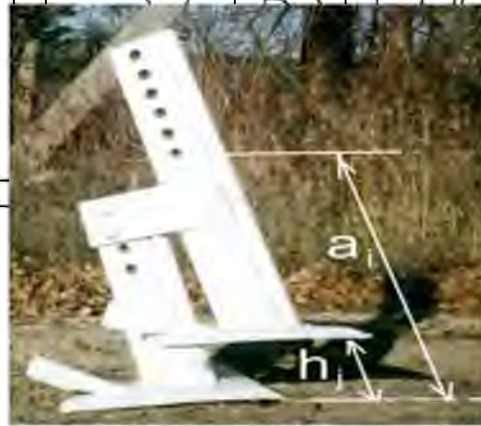


Рис. 4.2. Двоярусний робочий орган

a_i - Глибина обробки; h_j - між'ярусна відстань

При цьому при аналізі факторів визначено, що суттєвими (змінними) факторами, що впливають на величину тягового опору, є глибина обробки (a_i , см - технологічні параметри) і між'ярусна відстань (h_j , см - конструктивні параметри робочого органу). При цьому конструктивні параметри лапи залишені ті ж, що у ПЧН, а швидкість обробки була прийнята близькою до первинних вимог до 9 км/год (у нашому випадку становила 8,7 км/год). Інші фактори (польова вологість, повна вологоємність, об'ємна маса ґрунту, питома маса ґрунту, пористість, щільність ґрунту, значення середньої твердості) суттєвих відхилень не мали..

Рівні факторів (табл. 4.1.) обрані «стандартним чином» тобто, так, щоб

їх оптимальні значення потрапляли до центру варіювання.

Таблиця 4.1.

Фактори, інтервали та рівні варіювання

Змінні факто	Кодовані позначення, x_i	Інтервал варіювання, Δ_i	Рівні факторів		
			+1	0	1
Глибина обробки x_1 (a_i), м	x_1	0,1	0,5	0,4	0,3
Між'ярусна відстань x_2 (h_i), м	x_2	0,05	0,2	0,15	0,1

x_1 - кодовані позначення глибини обробки, яка має інтервал варіювання від $a_{min} = 0,3$ м до $a_{max} = 0,5$, а за середину інтервалу прийнята глибина обробки $a_0 = 0,4$ м;

x_2 - кодовані позначення між'ярусної відстані з інтервалом варіювання від $h_{min} = 0,1$ м до $h_{max} = 0,2$, а за середину інтервалу прийнято між'ярусну відстань $h_0 = 0,15$ м.

Переклад значень дійсних у кодовані здійснено за формулою:

$$x_i = \frac{x_i + x_{i0}}{\Delta_i} \quad (4.1.)$$

де: x_i - значення i -го дійсного фактора;

x_{i0} - значення i -го фактора в середині інтервалу;

Δ_i - інтервал варіювання.

Досліди проводилися у триразовій повторності, а середні значення заносилися до таблиці 4.2., в якій представлена матриця планування двофакторного експерименту за програмою типу МНК B_k .

Експеримент проведено рандомізовано у часі, тобто у випадковій послідовності для виключення впливу систематичних помилок, спричинених зовнішніми факторами (наприклад, неточний контроль тощо).

Таблиця 4.2.

Матриця планування двофакторного експерименту з визначення тягового опору двоярусної плоскорізної лапи від глибини обробки (a_i) та між'ярусної відстані (h_j).

п/№	Натуральні значення факторів, x_i		Рівні факторів		Відгук, H
	a_i , м	h_j , м	a_i	h_j	
1	0,5	0,2	+	+	2100

2	0,5	0,1	+	-	3600
3	0,3	0,2	-	+	1900
4	0,3	0,1	+	-	2700
5	0,5	0,15	+	0	2500
6	0,3	0,15	+	0	2600
7	0,4	0,2	0	+	2300
8	0,4	0,1	0	-	3200
9	0,4	0,15	0	0	3000
10	0,3	0,15	0	0	2500
11	0,4	0,15	0	0	3500
12	0,4	0,15	0	0	2900

Після проведення експерименту (згідно з таблицею 4.1) та, в результаті математичної обробки експериментальних даних визначено коефіцієнти, та отримано наступне рівняння регресії в канонічному вигляді

$$Y = 3999,2 + 166,7x_1 - 533,4x_2 - 1346,2x_1^2 - 1150,5x_2^2, \quad (4.2)$$

де Y - величина тягового опору робочого органу Н.

Причому коефіцієнти перевірені за критерієм Стюдента, а рівняння за критерієм Фішера.

Диференціюючи рівняння, за кожною зі змінних і прирівнюючи похідні нулю, отримуємо систему лінійних рівнянь. Вирішивши отриману систему, знаходимо координати центру відгуку: кодованих значеннях $x_1 = 0,062$ і $x_2 = -0,23$, що відповідає в дійсних значеннях $x_1 = 0,41\text{м}$, $x_2 = 0,14\text{м}$.

Знайдені значення підставляємо у вихідне рівняння (4.1.) і знаходимо значення параметра в центрі поверхні відгуку. Значення оптимальної величини тягового опору робочого органу $Y_s = 4066,2\text{ Н}$.

Для аналізу факторів після канонічного перетворення отримуємо рівняння

$$Y - Y_s = -1346,2x_1^2 - 1150,5x_2^2, \quad (4.3.)$$

де Y_s - оптимальна величина тягового опору робочого органу Н.

Відповідно до рівняння (4.3.) поверхня відгуку тягового опору робочого органу від глибини обробки (a_i) та міжярусної відстані (h) та поверхня відгуку в ізолініях мають такі види, представлені графічно на малюнку 4.3.

При фіксованому значенні технологічного параметра x_1 або

конструктивного параметра x_2 (що знаходяться в центрі плану) величина тягового опору робочого органу Y , яка визначається з рівняння (4.3.), максимальна і дорівнює 4066,2 Н, а для між'ярусних відстаней $h_1 = 0,1\text{м}$, $h_2 = 0,2\text{м}$ або глибини обробки $a_1 = 0,35\text{м}$, $4a_2 = 0,45\text{м}$ величини (Y) рівні відповідно 3010,3 Н та 3707,1 Н, що графічно відображено на рис. 4.3.

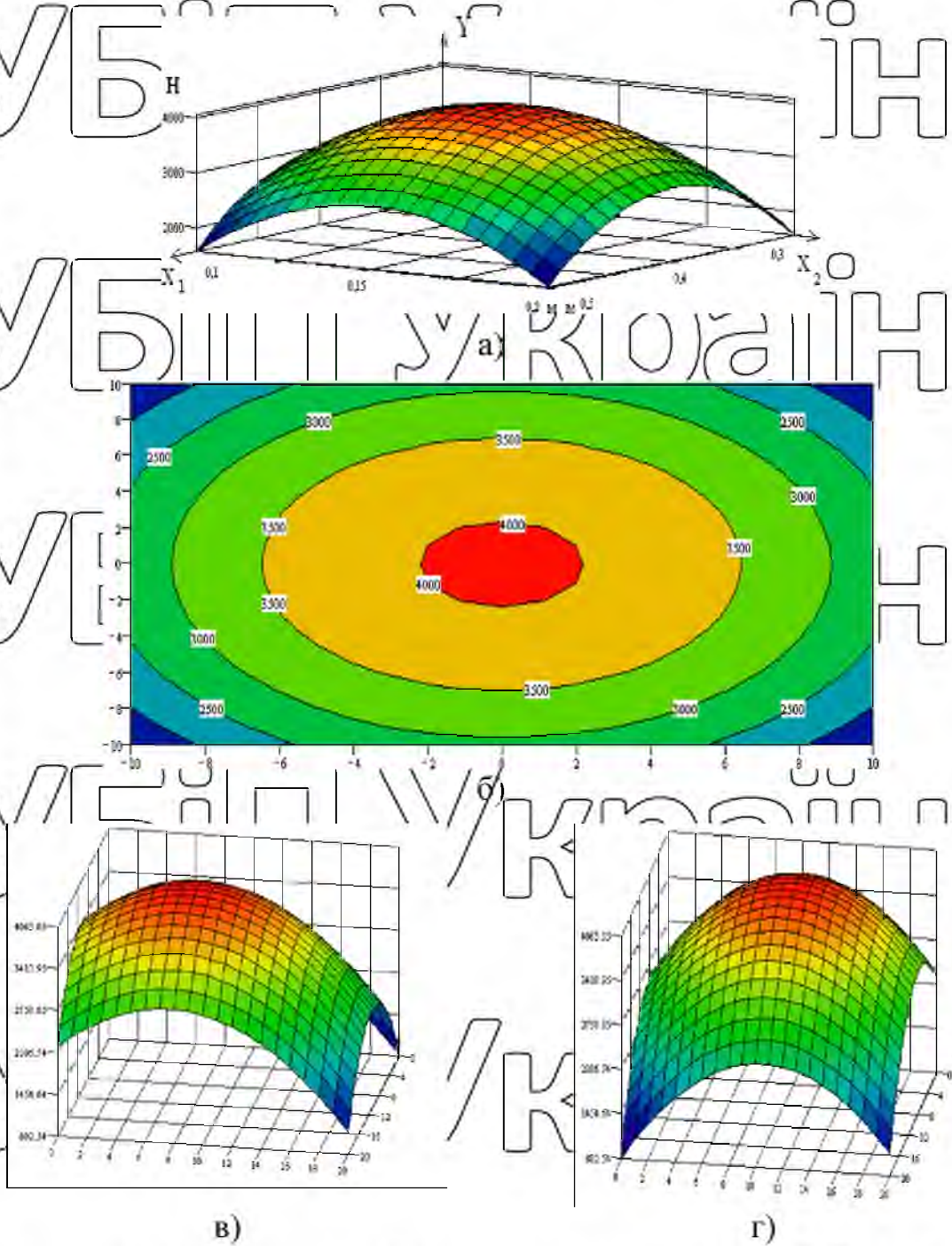


Рис. 4.3. Поверхні залежності тягового опору від глибини обробки та між'ярусної відстані:

а - поверхні відгуку; б - двомірний переріз; в, г - графіки

4.2. Визначення раціональних параметрів засобів обробки ґрунту з чизельною лапою з нижнім заточенням

Полеві дослідження та визначення раціональних параметрів робочих органів конструктивно-технологічних рішень для ґрунтообробки проводились у СФГ «Хлібодар». Визначення раціональних параметрів робочого органу з чизельною лапою з нижньою заточкою (рис. 4.5.) «Розпушувача чизельного» (рис. 4.6.) для безвідвальної структури. На рамі 1 розпушувача, навішеного на трактор 2, на кронштейнах 3 закріплені робочі органи, виконані у вигляді двох прямокутних стійок 4 з похило встановленими до напрямку руху лапами 5, з попереду заточення ріжучою кромкою 6.

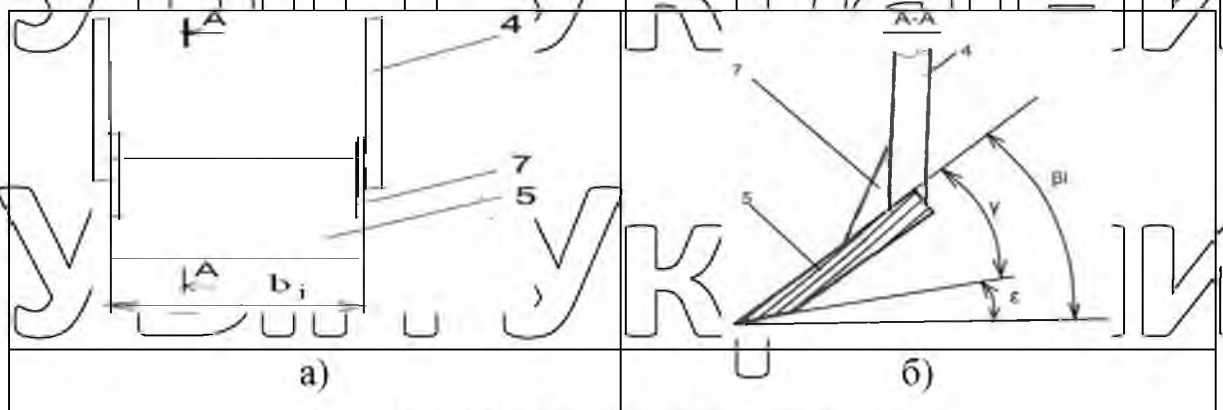


Рис. 4.5. Схема робочих органів

а - вигляд прямо; б - переріз А-А

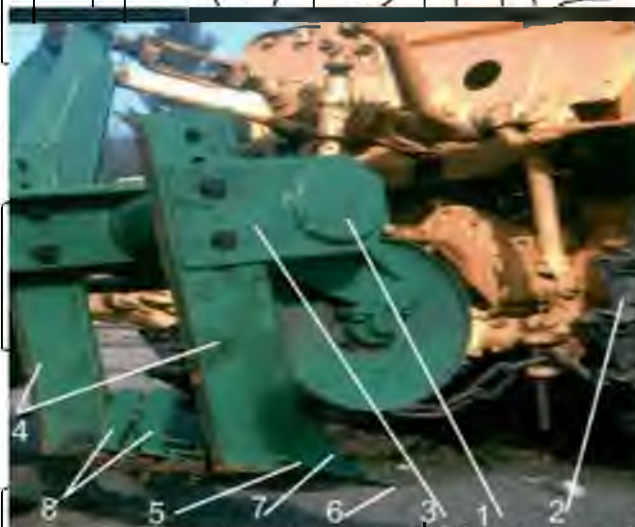


Рис. 4.6. Експериментальний зразок чизельного розпушувача

При цьому кромка 6 утворена нижньою заточкою. Лапи 5 мають

прямокутну форму і закріплені консольно за допомогою косинок 7 до передньої частини стійок 4. Ззаду лапа 5 оснащена змінними розворощувачами 8.

При цьому частина конструктивних параметрів лапи прийняті такими, як у плуга чизельного навісного типу ПЧН (задній кут $\varepsilon = 10 - 13^\circ$, кут заточування $\gamma = 25^\circ$), а технологічні фактори глибина обробки швидкість обробки були прийняті близькими до первинних вимог 15 ± 1 см, до 9 км/год (у нашому випадку становила $8,7$ км/год відповідно. Інші фактори (польова вологість, повна вологоємність, об'ємна маса ґрунту, питома маса ґрунту, пористість, щільність ґрунту, значення середньої твердості) суттєвих відхилень не мали.

Рівні факторів (табл. 4.3.) обрані «стандартним чином» тобто. так, щоб їх оптимальні значення потрапляли до центру варіювання.

Таблиця 4.3.

Фактори, інтервали та рівні варіювання

Змінні фактори	Кодовані позначення, x_i	Інтервал варіювання, Δ_i	Рівні факторів		
			+1	0	-1
Ширина лапи x_1 (b_i), м	x_1	0,215	0,5	0,285	0,07
Кут кришення x_2 (β_i), град.	x_2	5	40	35	30

x_1 - кодовані позначення ширини лапи, яка має інтервал варіювання від $b_{min} = 0,07$ м до $b_{max} = 0,5$, а за середину інтервалу прийнята ширина лапи $b_0 = 0,285$ м;

x_2 - Кодовані позначення кута кришення з інтервалом варіювання від $\beta_{min} = 30^\circ$ до $\beta_{max} = 40^\circ$, а за середину інтервалу прийнятий кут кришення $\beta_0 = 35^\circ$.

Переведення значень дійсних у кодовані значення здійснено згідно з формулою (4.1.).

Досли проводилися у триразовій повторності, а середні значення заносилися до таблиці 4.4, в якій представлено матрицю планування двофакторного експерименту за програмою ММК типу B_k .

Експеримент проведено рандомізовано у часі, тобто у випадковій послідовності для виключення впливу систематичних помилок, спричинених зовнішніми факторами (наприклад, неточний контроль тощо).

Після проведення експерименту (згідно з таблицею 4.3.) та, в результаті математичної обробки експериментальних даних визначено коефіцієнти, та отримано наступне рівняння регресії в канонічному вигляді

$$Y(x) = -62651,20 + 23,99x_1 + 3496,14x_2 - 0,04x_1^2 - 48,68x_2^2, \quad (4.4.)$$

де Y - величина тягового опору робочого органу Н.

Диференціюючи рівняння, за кожною зі змінних і прирівнюючи похідні нулю, отримуємо систему лінійних рівнянь. Вирішивши отриману систему, знаходимо координати центру відгуку: кодованих значеннях $x_1 = 0,24$ і $x_2 = 0,04$, що відповідає в дійсних значеннях $x_1 = 336,4$ мм, $x_2 = 35,2^\circ$. Знайдені

значення підставляємо вихідне рівняння (4.5) і знаходимо значення параметра в центрі поверхні відгуку. Значення оптимальної величини тягового опору робочого органу $Y_s = 4157,06$ Н.

Для аналізу факторів після канонічного перетворення отримуємо рівняння

$$Y - Y_s = -0,04x_1^2 - 48,68x_2^2, \quad (4.5.)$$

де Y_s - оптимальна величина тягового опору робочого органу Н.

Крім цього налипання внутрішніх вологих шарів ґрунту за долотом на стійці по всій глибині обробки (рис. 4.19.) призводить до підвищення тягового опору плуга з розкладеними напівлапами, і особливо при складених напівлапах, так як коефіцієнт тертя ґрунту про ґрунт більше коефіцієнта ґрунту про сталь.



Рис. 4.7 Промисловий зразок універсального плуга, із зазначеною зоною налипання

Для усунення зазначених недоліків виявлених при випробуваннях плуга пропонуємо наступні удосконалення робочих органів у приєднанні для безвідвального обробітку ґрунту [15].

Для чого визначимо ширину долота, а також визначимо радіус вигину фронтальної частини стійки 4. Потім оснастимо стійку 1 знімним паральником 5 оснащеним привареними з боків обтічниками 6 і закріпленими шарнірно за допомогою навісів 7 обтічниками-фіксаторами 8, причому і обтічниками-фіксаторами 8, причому і з шириною, що дорівнює ширині долота 2. Знімні паральники 5 фіксуються гвинтом 9 і обтічниками 6 і виготовляються з прокату з різними профілями: для важких ґрунтів - з кутовим, для середніх - з С-подібним і для легких - з прямокутним профілями. Шарніри-навіси 7 обтічників-фіксаторів 8 мають пружинні елементи. Далі напівлапи 3 оснащені ховаючими зворушувачами 4, і змонтовані у вирізаних вікнах напівлап з можливістю повороту і упору (рис. 4.20).

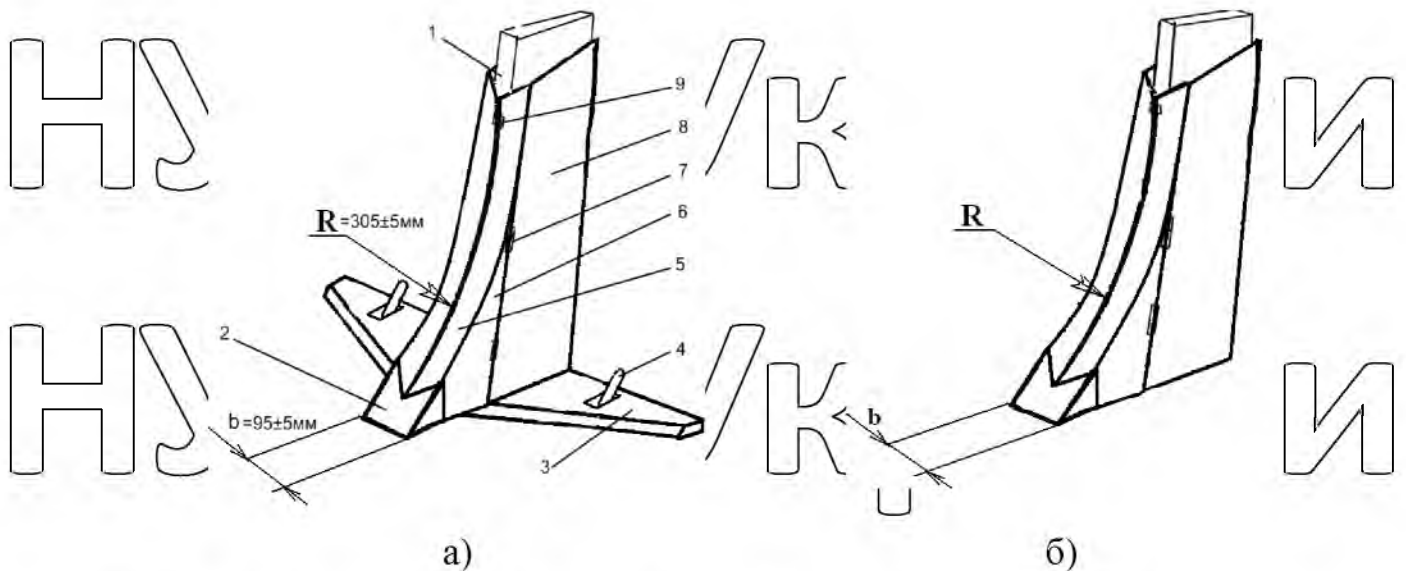


Рис. 4.20. Схема вдосконаленого робочого органу

а - з розкладеними напівлапами; б - зі складеними напівлапами

1 - стійка; 2 - долото; 3 - напівлапа; 4 - зворушувач, що ховається;

5 - наральник; 6 - обтічник, приварений до наральника; 7 - шарнірний

навіс; 8 - обтічник-фіксатор; 9 - фіксатор наральника

Для цього зворушувачі 4, провертають і ховають у вікнах напівлап 3, а обтічники-фіксатори 8 розкриваються за допомогою шарнірних навісів 7. За допомогою трубчастих кронштейнів і осей, увінчених в долото 2, напівлапи 3 складають до стійки 1, а обтічники-фіксатори у вихідне положення, в якому вони утримуються пружними елементами.

Для теоретичного розрахунку опору ґрунту при плоскорізному розпушуванні вдосконаленого універсального плуга зі складальними лапами, можна застосувати поелементний підхід. Для чого встановимо взаємозв'язок, що рухається з постійною швидкістю робочого органу, який може бути виражений формулою, згідно з джерелом [128].

$$P_x = (P_d + 2P_l + P_c + 2P_v), \quad (4.11.)$$

де P_d - опір ґрунту долоту, Н;

P_l - опір ґрунту напівлапі, Н;

P_c - опір ґрунту стійці, Н;

P_v - опір ґрунту ворошителью, Н.

На рис. 4.21. представлені складові опорів робочому органу. Оскільки новими елементами змінюємо складову сили опору стійки у рівнянні (4.14) P_c , яку позначимо як $P_{cн}$.

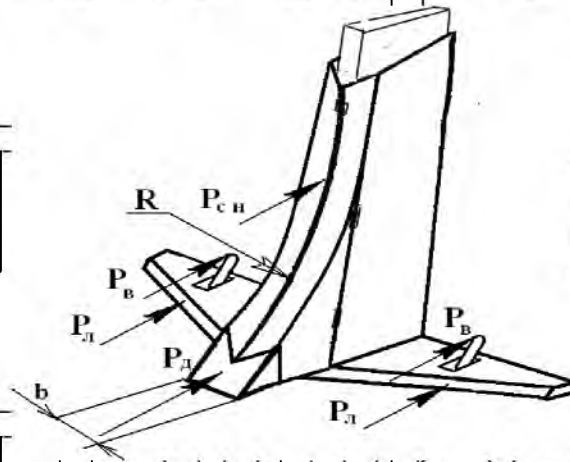


Рис. 4.21. Схема сил опорів робочому органу для безвідвального обробітку ґрунту

4.3. Висновки з четвертого розділу

1. Розроблено програму досліджень, в якій розглядалися питання конструювання та виготовлення дослідних зразків, пристосувань для обробітку ґрунту, а також вибір стандартних методів та розробка приватних методик досліджень.

2. Для визначення сили опору ґрунту, а також для підвищення швидкості та точності обробки даних, у тому числі для виключення дорогого тензометричного обладнання, нами розроблено на рівні світових стандартів «Польова установка для випробувань ґрунтообробних робочих органів».

3. Під час проведення експериментів застосовувалися методи однофакторного дисперсійного аналізу, однофакторного експерименту, і навіть розроблені нами приватні методики експериментальних досліджень, новизна яких виражено у 14 програмах для ПК.

4. Комплексна оцінка машин для безвідвального обробітку ґрунту показала, що високий рівень мають універсальний безвідвальний плуг з циліндричним доломом з верхнім заточенням, з діаметром 95-100 мм, зі стійкою такого ж діаметра, що має загнуту частину з радіусом 300-310 мм, з плоскорізальними лапами, оснащені зворушувачами та універсальний плуг

чизельний навісний, з складальними лапами, а плуги чизельні навісні з
двоюрисними лапами, зі складальними лапами і з прямокутними лапами з
нижнім заточенням мають середній рівень.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

ВИСНОВОК

1. З використанням логіки предикатів та кванторної алгебри визначено предметні змінні та їх сфери існування для логічного програмування з суцільної обробки ґрунту. Виділено три багатомісні предикати, і після операції квантифікації отримано логічні рівняння, що дозволяють визначити напрями досліджень.

2. Отримано загальну цільову функцію щодо ґрунтообробки для оптимізації кількості працюючих агрегатів та визначення мінімуму витрат на паливо та компенсацію збитків через зрив агротермінів та від ущільнення ґрунту після руху агрегатів по полі. На основі загальної цільової функції з ґрунтообробки розроблені приватні - для окремих технологічних операцій: оранка, боронування, суцільна культивуація, дискування, коткування.

3. Розроблено повний алгоритм ймовірнісної імітаційної моделі цільової функції щодо визначення складу орного агрегату та його технологічних параметрів. Реалізацію моделювання за методом Монте-Карло запропоновано проводити за допомогою спеціальної надбудови в Excel. Виконувалась перевірка адекватності результатів моделювання даних статистичних спостережень, відносна помилка моделювання не перевищила 5%.

4. В результаті імітаційного моделювання з оранки сформовано 4 групи ефективності агрегатів та отримано інформацію щодо оптимального значення кількості агрегатів при різних нормативних агротермінах та відповідних збитках, а також термінах, що перевищують дані нормативи. На оранці проведена оцінка ефективності заміни ґрунтообробної зброї на одному тракторі, що дозволило укласти наступне: для трактора Джон Дір найбільш ефективним є знаряддя типу ППТ7-40, і при роботі з ним витрати в середньому на 22% нижче в порівнянні з ПТК9-35 на 32% з ПП8-35; для Ньюхоланд заміна робочого органу типу ПЛН6-35 не має істотного впливу на ефективність: на 3% порівняно з ПЛН5-35 та ПН4-40, на 9% порівняно з ПЛН4-35, на тракторах заміна знарядь ПЛН6-35 на ПН4-35 призводить до зниження витрат на 16%. Таким чином, вид знаряддя впливає на ефективність роботи агрегату, але не

всіх типів тракторів. Розрахована також ефективність агрегатів при зміні типу трактора при роботі з одним і тим самим ґрунтообробним агрегатом, і результати показують низьку залежність ефективності від заміни тягового агрегату - в межах 10%.

5. Моделювання роботи агрегатів при боронуванні показало: зміна типу борін мало впливає на ефективність агрегатів, більший вплив надає кількість проходів; оптимальна кількість агрегатів коливається у невеликих межах та для всіх агрегатів становить 2-3 шт.; всі агрегати умовно розбиті на 5 груп ефективності - залежно від витрат на паливо та компенсацію загальної шкоди.

Аналіз даних боронування говорить про те, що найбільший вплив на шкоду від зриву агротермінів має агрегат з трактором типу МТЗ-80, а найменший - Джон Дір (через різну продуктивність).

6. Зроблено розрахунки щодо ефективності зміни ґрунтообробних знарядь, так, наприклад, для культивуації та агрегування з трактором К-700 дані показали наступне: при 2- змінному нормативному терміні, роботою від 1-5 шт., 3 знаряддям КШУ-18-1 загальні витрати на паливо та компенсацію збитків становитимуть від 2597 до 832 грн./га; перехід на КСП-4-4 призведе до збільшення цього виду витрат на 23 - 17%.

7. При мінімальному обробітку ґрунту різниця за загальними витратами між групами ефективності складала: високоефективна перевищує низькоефективну у важкому режимі роботи в середньому на 1,5 тис. грн./га (на 37%), у легкому - на 1 тис. грн./га (на 26%). Також високоефективна група має найменші витрати на паливо, в середньому на 33%. Порівняно із загальноприйнятою технологією при мінімальній обробці та важкому режимі роботи загальні витрати для високоефективної групи знизилися на 1,6-2,1 тис. грн./га (на 40-45%), для низькоефективної групи - на 1,73-1,8 тис. грн./га (на 31%); для полегшеного режиму роботи: для високоефективної групи витрати знизилися на 50%, а низькоефективної - на 23%. Витрати на паливо при мінімальній обробці та важкому режимі роботи вдвічі нижчі, а для полегшеного режиму менше на 32%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посібник / М. С. Чернілевський, Ю. А. Білявський, Р. В. Кропивницький, Л. І. Ворона. – вид. 2-ге, допов. – Житомир: Вид-во «Житомирський 63 національний агроекологічний університет», 2022. – 84 с. Навчальний посібник розрахований на студентів
2. Апроксимация функции одной переменной : онлайн калькулятор/ електронний ресурс/ код доступу <https://planetcalc.ru/5992/>
3. Бабицкий Л. Ф. Обоснование конструктивных параметров гибкой борона / Л. Ф. Бабицкий, И. В. Соболевский, В. А. Куклин // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти, 2016.
4. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Обоснование оптимальной формы игл почвообрабатывающих игольчатых дисков. Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета
5. Белокопытов А.В. Обоснование рациональных параметров рабочих элементов игольчатых рабочих органов для сплошной обработки почвы в условиях юга Украины. – Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Мелитополь, 2017, с.200.
6. Ветохін В. І. Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту : автореф. дис... д-ра техн. наук / В. І. Ветохін; ННЦ ІМЕСГ. – Глеваха, 2019. - 40 с.
7. Ґрунтообробні агрегати на основі дискових робочих органів: Монографія [П.В.Теслюк, Б.А.Волик, С.П.Сокол, О.М.Кобець, А.М.Сенменота]. – Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент-ІП», 2016. – 144
8. Кем А.А., Чекусов М.С., Черемисин А.И. Ротационная борона для грядковых обработок посадок картофеля. / Сельскохозяйственные машины и технологии. - №3. - 2015 – С.34-37.
9. Кобець А. С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А. С. Кобець, Б. А. Волик, А. М. Пугач. - Дніпропетровськ: Свідлер А.Л., 2021. - 140 с.
10. Малінін М.Ю. Обґрунтування параметрів роботи ротаційної голчастої/64 борони / М.Ю. Малінін – Дипломна робота ступеня магістр за спеціальністю №208 Агроінженерія. – ДДАЕУ, Дніпро, - 2018 – 69 с.

11. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів навчальний посібник / А. С. Кобець, Т. Д. Іщенко, Б. А. Волик, О. А. Демидов. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2019. – 84 с.

12. Основи наукових досліджень в агрономії : Підручник / В.О.Єщенко, П.Г.Копитко, В.П.Опришко, П.В.Костогриз; за ред.. В.О.Єщенко. – К.: Дія. – 2015. – 288 с.

13. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А. Н. Панченко. – Днепропетровск: ДПАУ, 2019. – 140 с.

14. Практикум з використання машин в рослинництві / [Пльченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П та ін]. – Дніпропетровськ : Дніпроп. держ агр. ун-т. – 2022 – 212с.

15. Сиромятников Ю.М. Обґрунтування параметрів процесу комбінованого технічного засобу для поверхневого обробітку ґрунту. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.11 «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (133 - Галузеве машинобудування). – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка МОН України, Харків, 2019

16. Українська радянська енциклопедія : у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан ; редкол.: О. К. Антонов та ін. — 2-ге вид. — К. : Головна редакція УРЕ, 2014–2015.

17. Теслюк Ф.В., Волик Б.А., Теслюк Ю.В. Конструкція ротаційної зубової борони на основі будови тіла біологічного аналогу/ East European Science Journal (Warsaw, Poland) 2019 : Volume 5 10(50) p.47-53

18. Яропуд В. М. Волик Б. А. Обґрунтування конструкції голчастого диска ротаційної борони аналізом будови тіла біологічного аналогу/ Вібрації в техніці та технологіях № 4 (95) 2019, С.56-64.

19. Шевчук В.В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи голчастої борони автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук /В.В. Шевчук – Львів, 2015. – 24с.

20. Лисич М.Н., Шабанов М.Л., Захаров П.В. Обзор конструкций тензометрических установок для изучения силовых параметров рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1-1. — С. 6-6,

21. Закон України «Про охорону праці» Документ 2694-XII, чинний, поточна редакція. Редакція від 16.10.2020, підстава 124-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

22. Про затвердження Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Документ 687-2004-п, чинний, поточна редакція – Редакція від 04.03.2016, підстава 76-2016-п. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2004-п#Text>

23. Wang FD, Chen Z, Wang JY, Wang XW, Chen F. Проектування та експеримент великого прямокутного прес-підбирача 4YF-1300. J. Chin Sok Agr Machine. 2019. Том 40 (11). С. 36–40.

24. Xiong Y, Li H., Zhang S., Chen L., Li S., Han L. Закони руху та принципи проектування механізму очищення в'язлоб'язувача. Journal of Agr Meehan Res., 2015. Том 27 (7). С. 113–118.

25. Karlheinz Koller. Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. DLG – Verlag Frankfurt (Main) / Karlheinz Koller // BLV Verlagsgesellschaft Munchen,

26. Landwirtschaftsverlag Munster – Hiltrup, Osterreichischer Agrarverlag Wien. Bugra Suisse Wabrn. – Bern, 2023. – P. 122.

27. Ripke F. O. Abtrieft beim Einsatz von Feldspri tzergeraten / F. O. Ripke // Land technik. - 2020. - Jg. 45, N5. - S. 144-148.

28. Rogers R. Windproof plot sprays by Barry Rogers / R. Rogers, C. A. Barry // Fruit Se Rep, Skurniewice. - 2018. - Vol. 15, N4. - P. 199-204.

29. Straksas A. Development of a stripper-header for grain harvesting / A. Straksas // Research. - 2016. - N 4. - P. 1

30. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. 2-е вид. К.: Каравела, 2018. 552 с.

31. Воронев А. К. Навколишнє середовище та розвиток. К.: Наукова думка, – 2015.

32. Ґрунтообробна техніка Elvorti URL: <https://elvortishop.com.ua/ua/> (дата звернення: 05.11.2021р.).

33. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. – К.: Нора-принт, 2019. – 280 с.

34. Гугаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: навч. пос. 2016. 292 с.

35. ІСО 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. К.: Держстандарт України, 2018. 42 с.

36. ІСО 3524-97. Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення. К.: Держстандарт України, 2019. 21 с.

37. ДСТУ 3942-2000. Надійність техніки. Плани випробувань для контролю середнього наробітку до відмови (на відмову). К.: Держстандарт України, 2020. 30 с.

38. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин : [у 2 т.] / П.М. Заїка. Харків : ОКО, 2021. – Т. 1, ч. 1 “Машини та знаряддя для обробітку ґрунту”. 443 с.

39. Ковбаса В.П. Механіко-технологічне обґрунтування оптимізації взаємодії робочих органів з ґрунтом: Дис... докт. техн. наук – 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / Національний аграрний університет. К., 2014. 346 с.

40. Кравченко М.С. та ін.. Землеробство: Підручник / М.С. Кравченко, Ю.А. Злобін, О.М. Царенко; За ред. М.С. Кравченка. 496 с.: іл. К.: Либідь, 2014