

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Вдосконалення конструкції та дослідження параметрів робочих
органів глибокорозпушувача»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-23М-1.2

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Павленко Сергій Анатолійович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Іван ВАСИЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Інженерна частина	8
3. Наукова частина	40
4. Охорона праці	49
5. Економічна частина	51
6. Висновок	54
Список використаної літератури	56
Додатки	59

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Ситуація із обробіткою ґрунту в Україні під час вирощування польових культур є складною і не завжди прогнозованою і ефективною. З одного боку, країна має багаторічні традиції науково-виробничих досліджень, накопичено значний обсяг даних із польових дослідів, сформовано велику кількість фундаментальних знань, існує ефективна система впровадження новацій та впровадження в технологічні процеси кращих зразків техніки, в тому числі і закордонної, складені рекомендації щодо обробітку стосовно різних регіонів та типів ґрунтів, проводяться аграрні семінари і підвищення кваліфікації аграріїв. З іншого боку, сільське господарство перебуває у кризовому стані, що негативно позначається в цілому на існуючих в господарствах технологіях вирощування сільськогосподарських культур, зокрема і на операціях обробітку ґрунту.

На сьогодні більшість земель в нашій державі на етапі основного обробітку ґрунту обробляють за допомогою плуга. Проте оранка залишається одним з найбільш енерго- та ресурсомістких процесів, яка негативно впливає на стан ґрунту. Після проведення оранки на полях господарств потрібно проводити додатковий обробіток, що зумовлює значні витрати енергії, погіршує водно-фізичні властивості ґрунту, сприяє його пересушуванню та розвитку ерозійних процесів. Такі впливи призводять до втрати гумусу та руйнування природного балансу ґрунтових екосистем. Усе це актуалізує необхідність оновлення підходів до створення нових типів ґрунтообробної техніки.

Сучасні тенденції в землеробстві зумовлюють зміну технологій обробітку – скорочення кількості операцій, підвищення вимог до якості, дотримання агротехнічних строків і забезпечення родючості ґрунту. Відтак нові машини для обробітку ґрунту повинні бути адаптовані до умов

					<i>ДПРГ 00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Павленко</i>			<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леценко</i>					<i>6</i>	
<i>Реценз.</i>						<i>ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.2</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Мачок</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Васильковський</i>						

варіативної глибини обробітку та мають володіти ґрунтозахисними властивостями. У намаганні слідувати світовим трендам, деякі українські машинобудівні підприємства почали виготовляти ґрунтообробну техніку, часто повторюючи застарілі конструкції. Такі ґрунтообробні агрегати найчастіше поступаються іноземним аналогам за технічним рівнем, зокрема за ефективністю, надійністю і зносостійкістю, що віддаляє їх на одне-два покоління від сучасних підходів до зазначених операцій.

Через активний імпорт сільськогосподарської техніки, не завжди обґрунтований економічно, Україна частково втратила власний виробничий і науково-технічний потенціал у цій галузі. Це створює потребу у перегляді всіх підходів до агротехніки та технологічного оснащення з урахуванням принципів ресурсозбереження. Відновлення машинно-тракторного парку на основі вітчизняного виробництва техніки високого технічного рівня є стратегічно важливим завданням. Такі агрегати мають не лише ефективно виконувати обробіток ґрунту, а й сприяти відновленню родючості, зменшенню витрат енергії та зниженню собівартості продукції без втрати врожайності.

У минулому ряд фермерів закупили багато дорогої імпоротної техніки, у тому числі для обробітку ґрунту, без належного аналізу економічної ефективності. Це не лише не покращило ситуацію в аграрному секторі, а й призвело до значних збитків серед українських виробників сільгосптехніки, що наразі не повністю використовують свій виробничий потенціал.

У зв'язку з цим виникла нагальна потреба у перегляді всієї системи агротехнічного забезпечення та розробці нової стратегії оновлення технічного парку в аграрному секторі. Це має на меті забезпечити фермерські господарства сучасними машинами для підвищення ефективності виробництва, зниження витрат і покращення умов вирощування культур.

Враховуючи сказане метою даної роботи є розробка конструкції та дослідження параметрів робочих органів глибокорозпушувача.

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

2.1. Характеристика безполицевого обробітку ґрунту глибокорозпушувачами

З метою збереження родючості ґрунтів та покращення їх фізико-механічного стану все більшого поширення набувають ґрунтозахисні технології, які передбачають відмову від традиційних методів обробітку, таких як відвальна оранка та дискування.

Застосування полицевих плугів призводить до утворення ущільненої підорної підшви. Крім того, під час взаємодії ґрунту з лемішно-полицевими поверхнями руйнуються біологічно цінні агрегати ґрунту розміром 0,25...10 мм, а також витрачається надмірна кількість енергії на обертання і зміщення скиби. Це спричиняє збільшення витрат пального на процес, зменшення робочої ширини захвату агрегатів, погіршення водно-повітряного режиму родючого шару та інших негативних проявів.

Сферичні диски, що використовуються в дискових боронах, лушпильниках і дискаторах, ще інтенсивніше впливають на ґрунт, що призводить до значного руйнування його структури та прискорення деградаційних процесів.

Альтернативним підходом до відвальної оранки й дискування є технології мінімального або нульового обробітку. Основою мінімального обробітку є глибоке безполицеве рихлення, яке виконується за допомогою глибокорозпушувачів різних конструкцій, зокрема чизельних.

Такий тип обробітку належить до технологій, що забезпечують збереження ґрунту, та дає змогу проводити розпушування смугами без перевертання скиби. Це дозволяє не лише зменшити витрати пального майже вдвічі та підвищити продуктивність ґрунтообробних агрегатів, але й забезпечує руйнування ущільненої підорної підшви.

Однак, варто відмітити, що у процесі глибокого рихлення чизельними глибокорозпушувачами не відбувається утворення суцільного дна борозни. Поряд із цим такі операції забезпечують:

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зрушення ущільненої підорної зони (підшви);
- покращення повітряного та водного режимів ґрунтового середовища;
- зниження проявів водної та повітряної ерозій ґрунту;
- створення сприятливих умов для проникнення кореневої системи культурних рослин у глибші шари, що мають вдосталь вологи.

Головна мета глибокого безполицевого обробітку ґрунту – покращення агрофізичних умов для росту і розвитку польових рослин.

Разом із тим, даний метод обробітку має і певні обмеження щодо застосування. Серед них – неповне знищення бур'янів, недостатнє перемішування рослинних решток і насіння бур'янів із ґрунтом, а також відсутність рівномірного дна після проходу ґрунтообробного агрегату.

Ще однією проблемою є слабка адаптація багатьох моделей глибокорозпушувачів до складних ґрунтово-кліматичних умов нашої держави. Значна частина такої техніки виробляється закордонними компаніями, зокрема «John Deere», «Gaspardo», «BEDNAR», «Amazon», «Great Plains», «Lemken» та ін, або ж повторюють конструктивні особливості наведених іменитих виробників. Це ускладнює широке впровадження безполицевих технологій обробітку ґрунту в фермерських господарствах країни [10].

Чинні агровимоги до основного безполицевого чизельного обробітку ґрунту

Основними вимогами агротехніки до безполицевого обробітку ґрунту є забезпечення потрібної глибини розпушування та повного підрізання ґрунтового шару із максимально можливим збереженням за потреби стерні на поверхні поля.

До критеріїв якості виконаних ґрунтообробних робіт належать дотримання оптимальних агрокліматичних строків виконання операцій, стабільність глибини обробки, мінімальна частка непідрізаних бур'янів, рівень збереження стерні на поверхні поля, а також відсутність пропусків після проходу ґрунтообробного агрегату (табл. 1).

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нормативи оцінки якості безполицевого обробітку ґрунту

Найменування показника	Значення
Відхилення глибини обробітку від необхідної, см	на перевищує 10% або ± 2 см
Прямолінійність руху ґрунтообробного агрегату, см	не перевищує ± 20 см
Збереження стерні на поверхні поля, %	залежно від потреби, може досягати 85%
Висота нерівностей на поверхні поля після обробітку, см	не більше 5 см
Стикові проходи ґрунтообробного агрегату, см	не менше 10 см

Обробку ґрунту здійснюють за вологості, що становить приблизно 60% від максимальної польової вологоємності – саме за таких умов ґрунт добре подрібнюється, не формуючи крупних брил або злиплих грудок [10, 11].

На ділянках з нахилом місцевості понад 3° роботи виконуються під кутом до напрямку схилу. Робоча швидкість агрегатів при проведенні основного безполицевого обробітку може сягати 12 км/год.

Підбір агрегату для безвідвального обробітку ґрунту, а також вибір глибини проведення робіт, рівня захисту ґрунту від ерозійних процесів і кількості залишених на поверхні рослинних решток визначається кліматичними умовами регіону, типом попередньої культури, ступенем засміченості поля, рівністю рельєфу та загальними умовами проведення операції в полі.

2.2. Огляд технічного забезпечення основного безполицевого обробітку

У процесі вирощування рослинницької продукції значне навантаження на ґрунт чинить металоємка сільськогосподарська техніка, багаторазові проходи машинно-тракторних агрегатів по полю, а також застосування ґрунтообробних знарядь, які сприяють ерозії, зокрема лемішних плугів і

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дискових ґрунтообробних агрегатів. Це спричиняє ущільнення ґрунтового шару, погіршення його структури та, як наслідок, – швидке зменшення вмісту гумусу й зниження загальної родючості ґрунту. Такі негативні наслідки реалізації технологічних процесів в полях погіршують здатність ґрунту поглинати вологу, порушує повітрообмін із атмосферою, зменшує біологічну активність ґрунтового розчину і призводить до значних втрат врожаю. Порушення структури ґрунту також сприяє розвитку ерозії, що призводить до щорічного зростання площ еродованих земель в Україні на 80...90 тис. га. Внаслідок цього землеробство втрачає близько 9...12 млн тонн зернової продукції, а загальні економічні збитки перевищують 7 мільярдів гривень.

Для покращення агрофізичного стану ґрунту необхідно регулярно проводити розпушування за допомогою безполицевих знарядь, зокрема чизельних. Проте сучасні моделі таких агрегатів споживають велику кількість енергії та не завжди гарантують потрібну якість обробітку. Досягнення оптимального співвідношення між тяговим опором та ефективністю обробки можливе за рахунок впровадження конструктивних рішень, які поєднують в конструкціях робочих органів глибокорозпушувачів різних деформаторів, які здатні адаптуватися до змінних характеристик ґрунтового середовища.

У сучасному землеробстві спостерігається активне зростання площ обробітку ґрунту без обертання скиби за допомогою безполицевих знарядь. Прогнозується, що найближчим часом цей метод обробітку буде і надалі нарощувати свою популярність і досягне 50...60% орних угідь Лісостепової та Степової зон України. Плоскорізи й глибокорозпушувачі доцільно застосовувати у регіонах з обмеженим зволоженням, а також на полях з невеликим обсягом рослинних залишків (до 30 ц/га) як альтернативу весняній оранці.

Застосування таких технологій дозволяє скоротити терміни основного обробітку ґрунту на 20...40%, знизити витрати пального на 6...12 кг/га і

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

водночас вирішити актуальні завдання захисту ґрунтового покриву в умовах обмежених енергетичних ресурсів.

Сільгоспвиробникам нині доступний широкий вибір техніки, призначеної для глибокого розпушення, що має різні конструктивні рішення та особливості реалізації технологічного процесу. Серед них варто виділити низку перспективних вітчизняних моделей, які серійно випускаються на українських підприємствах і оснащені робочими органами плоскорізного або чизельного типу (табл. 2).

Таблиця 2

Основна характеристика вітчизняних серійних ґрунтообробних агрегатів для безполицевого обробітку ґрунту

Агрегат \ Показник	Агрегат ґрунтообробний чизельний	Розпушувач	Плоскоріз-щільовач	Чизельний плуг із приставкою	
Марка агрегату	АГЧ-4	КР-4,5	ПЩН-2,5	АЧП-2,5	АЧП-4,5
Глибина розпушування ґрунту, см.	до 45	до 20	до 35	до 35	до 35
Ширина захвату агрегату, м	4,0	4,5	2,5	2,5	4,5
Вага агрегату, кг	1850	1560	1860	860	1310
Продуктивність обробітку, га/год	1,8...3,0	3,1...4,1	1,7...2,2	1,7...2,2	3,0...4,0
Тяговий клас трактора для агрегування	5	3	3	3	5

Чизельний ґрунтообробний агрегат АГЧ-4,0 (рис. 1) [5], розроблений підприємством «Агрореммаш», що розміщено в м. Біла Церква. Зазначений агрегат використовується для глибокого рихлення ґрунту з метою розпушування ущільнених шарів, що утворилися внаслідок проходу сільськогосподарської техніки та тракторів. Ці ущільнення негативно

впливають на розвиток кореневої системи польових культур. Застосування ґрунтообробного агрегату АГЧ-4,0 сприяє покращенню структури ґрунту та забезпечує поступове підвищення урожайності продукції рослинництва. Завдяки особливостям конструкції робочих органів, при роботі агрегату в полі забезпечується знижене споживання пального, що не перевищує 20 л/га.



Рис. 1. Чизельний ґрунтообробний агрегат АГЧ-4,0 («Агрореммаш» м. Біла Церква)

Чизельний ґрунтообробний агрегат АГЧ-4,0 забезпечує:

- глибоке безполицеве та однорідне рихлення ґрунту;
- створення умов для покращення здатності обробленого ґрунту до вбирання вологи;
- підвищення рівня газообміну в обробленому горизонті до 40...50 см глибиною;
- за потреби – максимальне збереження пожнивних решток на поверхні поля;
- створення сприятливих умов для подальшого обробітку за допомогою дискових ґрунтообробних агрегатів.

У конструкціях подібних глибокорозпушувачів часто використовують додаткові елементи, що забезпечують якісне подрібнення і вирівнювання поверхні поля. Ці агрегати особливо важливі для обробітку земель з нахилом

										ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
											13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

масивна техніка ущільнює ґрунтовий шар на глибину до одного метра і більше. Повторна обробка ґрунту та щорічні роботи на однаковій глибині спричиняють формування ущільненої підорної підшви, яка обмежує доступ вологи та повітря в нижні шари ґрунту, та, відповідно робить неможливим накопичення цієї вологи.

Слід відмітити, що застосування комбінованих ґрунтообробних агрегатів дозволяє ефективно замінити кілька одноопераційних машин. Це забезпечує зменшення витрат пального і трудових ресурсів до 30%, пришвидшує продуктивність виконання технологічних операцій, сприяє збереженню вологи у верхньому шарі та формує рівномірну за щільністю посівну зону (рис. 3).



Рис. 3. Загальний вигляд комбінованого агрегату типу Podillya 800-32
(АКПН-8-03)

Серед комбінованих ґрунтообробних агрегатів, щ випускаються серійно і успішно працюють на полях України, слід виділити моделі АКГМ-3,6, АКГМ-6,0, ККП-3,7, ККП-7,2, ККП-6 (рис. 4), а також імпорتنі аналоги типу «Serack», «Europack», «Kompaktor». Варто зауважити, що

										Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПРГ 00.000 ПЗ					

агрегати вітчизняного виробництва зазвичай значно краще пристосовані до дійсних кліматичних та ґрунтових умов, ніж зарубіжні зразки.



Рис. 4. Загальний вигляд комбінованого ґрунтообробного агрегату ККП-6

За умов, коли потрібно провести обробіток верхнього шару ґрунту або інтенсивніше подрібнити рослинні залишки, усе ширше практикується використання чизельних культиваторів, таких як КР-4,5, КШН-5,6, КШН-3 тощо. У їх конструкцію, як правило, входять послідовно розміщені робочі елементи у вигляді чизельних лап, доповнені дисковими секціями або окремими дисками (рис. 5).



Рис. 5. Загальний вигляд ґрунтообробного агрегату КШН-5,6 «Резидент»

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

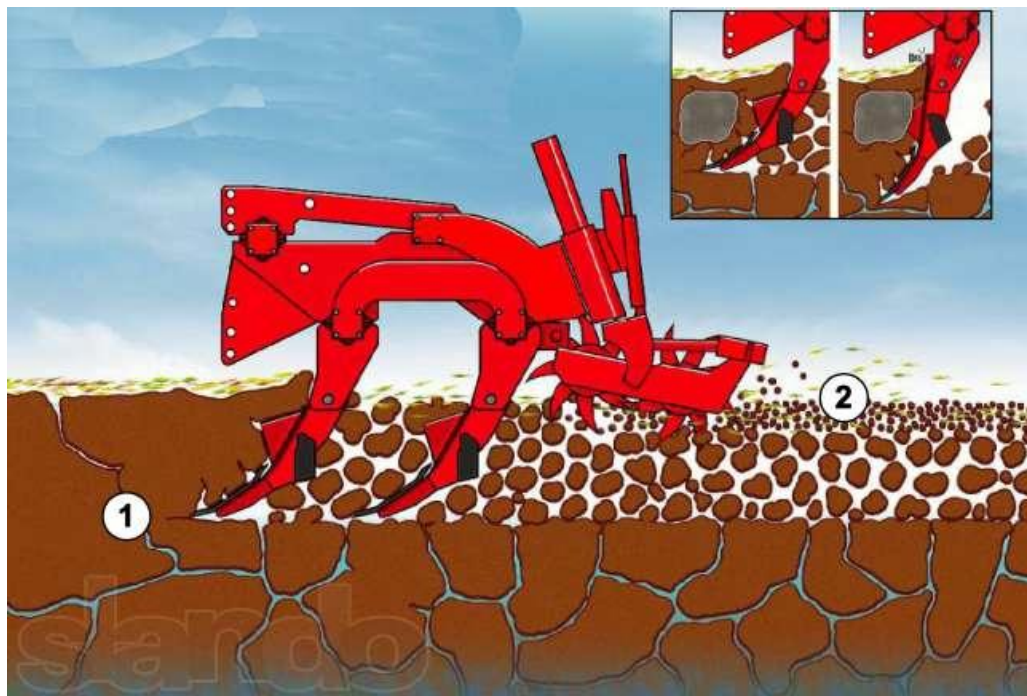


Рис. 8. Загальний вигляд і схема роботи глибокорозпушувача Artiglio «GASPARDO»

Характерною особливістю усіх моделей є наявність робочих органів з підвищеним нахилом та боковими крилами, що забезпечують якісне розпушування ґрунту на глибину від 25 до 55 см залежно від конструкції машини й умов використання. Усі моделі, окрім Diablo, оснащені здвоєними котками в задній частині, тоді як модель Diablo має задню навісну систему у

вигляді подвійної дискової борони, яка служить для регулювання глибини обробітку, подрібнення та ущільнення ґрунту.

Оскільки конструкція робочих органів і принцип їх функціонування в усіх моделях схожі, далі розгляд зосереджено на найпоширенішій моделі – Artiglio (рис. 8).

Глибокородзпушувач Artiglio виробництва GASPARDO (табл. 3) призначений для виконання основної обробітку ґрунту з одночасним руйнуванням ущільненої підорної підшви на глибину понад 30 см. Такий підхід до основної обробітку сприяє кращому накопиченню вологи у ґрунті, що створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи культурних рослин у нижніх горизонтах.

Таблиця 3

Основна характеристика ґрунтообробних агрегатів Artiglio виробника «GASPARDO» (Італія)

Назва агрегату	250	300	300	400	400
Ширина обробітку ґрунту, см.	250	300	300	400	400
Загальне число робочих органів в агрегаті, шт.	5	5	7	7	9
Відстань між центрами стояків робочих органів, см.	62,5	75	50	67	50
Необхідна потужність енергозасобу, к.с.	180-250	200-280	250-300	280-330	300-350
Глибина обробітку ґрунту, см.	25-65				
Вага агрегату, кг.	1140	1300	1560	1680	1960
Додатковий робочий орган глибокородзпушувача	Спарені зубчасті котки				

Конструкція рами ґрунтообробного агрегату є модульною, що дозволяє змінювати висоту кріплення стояків у межах від 25 до 45 см. Самі стояки лап мають ширину 35 мм та характеризуються підвищеним кутом заглиблення і додатково оснащені зносостійкими пластинами. Спарений зубчастий коток, який використовується для регулювання глибини обробітку чизельними лапами, також забезпечує подрібнення грудок на поверхні поля.

Особливістю конструкції глибокорозпушувачів GASPARDO є встановлення стояків під кутом 45°, що забезпечує глибоке проникнення в ущільнені горизонти, ефективне розпушування ґрунту та перемішування часток ґрунту із органічними рештками на максимально можливій глибині. Така геометрія лап знижує тяговий опір агрегату, зменшує витрати пального та покращує якість обробітку.

Передбачена можливість регулювання кута входження доліт у ґрунт дозволяє варіювати інтенсивністю розпушування або зменшувати енергетичні витрати на процес. Долота також створюють вертикальні щілини, які покращують проникнення вологи до нижніх горизонтів, сприяючи її накопиченню та загальній підвищенню урожайності.

Крім того, стояки обладнані крилоподібними лемешами, які здійснюють горизонтальне підрізання ґрунту та подрібнення великих брил, посилюючи розрихлювальний ефект.

Серед недоліків даного агрегату варто виділити складність конструкції, пов'язану з гідравлічною системою регулювання положення котків, а також підвищену металомісткість. Водночас, ключовими перевагами є висока ефективність роботи при розпушуванні ґрунту та універсальність використання.

Проведений аналіз показує, що на сьогодні ринок сільськогосподарської техніки пропонує широкий спектр агрегатів для чизельного обробітку. Проте, поряд з конструктивними перевагами, більшість із них мають певні недоліки:

- значна металоємність у більшості промислово виготовлених моделей;
- окремі варіанти долотоподібних робочих органів забезпечують при роботі зростання тягового опору агрегату;
- не всі агрегати здатні забезпечити якісний обробіток ґрунту на різних глибинах при дотриманні агротехнічних вимог;

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- окремі конструкції робочих органів глибокорозпушувачів є надто складними у виконанні.

Враховуючи наведену інформацію, доцільним є вдосконалення конструкцій знарядь та їх адаптація до умов вітчизняного сільськогосподарського виробництва. Зокрема, це стосується удосконалення комбінованого чизельного агрегату виробництва фірми «GASPARDO» з метою ефективного глибокого розпушування до 45 см у технологіях вирощування польових культур.

2.3. Вдосконалення глибокорозпушувача та пошук раціональної конструкції ґрунтообробного агрегату

Дослідження особливостей ґрунтово-кліматичних умов в Україні та специфіки технологій вирощування сільськогосподарських культур свідчить, що нестача вологи в ґрунтовому середовищі є основним фактором, який стримує ріст врожайності продукції рослинництва. За даними багатьох фахівців, одним із ефективних рішень цієї проблеми є повернення до глибокого безполицевого обробітку. Такий підхід дозволяє здійснювати глибоке рихлення ґрунту, перемішування його з подрібненими рослинними рештками, покращує водопроникність, сприяє збереженню вологи в холодний період року та забезпечує її поступове використання протягом всього періоду вегетації, зменшуючи можливі загрози ерозійних процесів [14,15,16].

З урахуванням проведеного аналізу, для модернізації було обрано глибокорозпушувач Artiglio виробництва італійської компанії «GASPARDO» (рис. 8). Його конструкція складається із робочих органів (лап), рами, гідросистеми регулювання глибини обробітку та навісного обладнання.

Робочий орган у вигляді чизельної лапи складається з долота, стояка, ножа та бічних крил. Долото встановлюється в нижній частині стояка за допомогою спеціальних болтів, що розташовані перпендикулярно до площини. У верхній частині стояка знаходяться отвори для фіксації

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

подовжувача, який кріпиться до рами агрегату за допомогою болтового з'єднання.

Ніж виконує сприяє зниженню опору руху агрегату в ґрунті та забезпечує додаткове руйнування крупних грудок, які підняті долотом лапи. Рама служить основою, на якій відбувається збирання всіх елементів конструкції глибокорозпушувача, має прямокутну зварну форму, що забезпечує її міцність і стійкість до забивання рослинними залишками. Робочі органи та регулювальний механізм кріпляться до поздовжніх і поперечних елементів рами.

Механізм регулювання глибини являє собою два вертикальних бруси, які встановлено по краях рами в напрямних. Його положення змінюється за допомогою двох гідроциліндрів, які одночасно піднімають або опускають зубчасті котки.

Зубчасті котки відіграють роль елементів, що додатково рихлять верхні шари ґрунту та забезпечують контроль глибини обробітку чизельними лапами, тобто виконують функцію опорних елементів глибокорозпушувача. Ці котки складаються з трубчастих елементів, на яких закріплено серповидні зуби.

Навісна система складається з тяг, розкосів і кріпильних елементів, які забезпечують приєднання агрегату до енергетичного засобу.

Принцип роботи ґрунтообробного агрегату полягає в заглибленні робочих органів на задану глибину, встановлену положенням котків. Долото сколює та підіймає шар ґрунту, створюючи тріщини по всій глибині проходу, що формує однорідну розпушену структуру. Стояк деформує ґрунт у сторони, а крила здійснюють додаткове рихлення на середній частині зони обробітку ґрунтового середовища.

Порівняльний аналіз показав, що глибокорозпушувач Artiglio демонструє характеристики, співставні з іншими подібними моделями, однак його робочі органи потребують удосконалення. Зменшення тягового опору, підвищення якості рихлення, зниження матеріаломісткості та покращення

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1 – просторова рама; 2 – основний робочий орган (чизельна лапа);
3 – механізм встановлення глибини розпушування; 4 – зубчастий коток;
5 – механізм регулювання котків; 6 – рамка додаткового робочого органу

Монтаж удосконалених чизельних робочих органів може здійснюватися безпосередньо на поперечні балки рами за допомогою болтових з'єднань. З огляду на компактні розміри багатьох фермерських полів і наявність у сільськогосподарських підприємствах потужних тракторів із сучасною гідравлічною навісною системою, доцільно відмовитися від застосування гідравлічних циліндрів для регулювання глибини обробки. Щоб агрегат залишався навісного типу з відповідною масою для такого способу агрегування, конструкцію рами рекомендовано виконати у вигляді просторової ферми. Така конфігурація забезпечує зменшення маси без втрати жорсткості. Зуби котків доцільно виготовляти зі зменшеним поперечним перерізом, що сприятиме їх глибшому проникненню в ґрунт і ефективнішому подрібненню великих грудок.

У запропонованому варіанті конструкції стояк розпушувача має криволінійний профіль з окремими прямолінійними сегментами. До нього прикріплено ніж, який сприяє додатковому руйнуванню великих ґрунтових частинок.

Модернізований вузол регулювання глибини має спрощену будову, меншу масу та підвищену зручність у роботі, оскільки не містить елементів гідросистеми.

Оновлена рама відрізняється об'ємною конструкцією з обтічними контурами, при цьому вона зберігає необхідну міцність і є адаптованою до значних навантажень.

Чизельний агрегат призначений для глибокого розпушування середніх і важких типів ґрунтів за умови відсутності кам'янистих включень. Його можна ефективно використовувати як навесні, так і восени, а також частково для загортання добрив – як органічних, так і мінеральних.

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Комбінований універсальний чизельний глибокорозпушувач ЧН-3,5:

- призначений для роботи в агрегаті з тракторами тягового класу від 3 до 5, має навісний спосіб агрегування;
- може застосовуватися на полях із ухилом до 8° і на ґрунтах з вологістю до 30% та твердістю не більше 5 МПа;
- конструктивно агрегат включає раму із дворядним розміщенням основних робочих органів;
- включає головні вузли ґрунтообробного агрегату: зварну раму, верхню тягу навіски, чизельні лапи, а також додатково оснащується спареними зубовими котками.

Каркас агрегату виготовлений у вигляді зварної рами, що складається з порожнистих балок і металевих пластин. З'єднання з трактором реалізується через стандартну триточкову навісну систему.

Ширина ґрунтообробного агрегату в транспортному положенні не перевищує 4,4 м, що дозволяє безпечно переміщати агрегат дорогами загального користування. Переведення між робочим і транспортним режимами здійснюється гідросистемою безпосередньо з кабіни трактора.

Глибину обробітку регулюють за допомогою гвинтового механізму. Зміна положення котків відносно рами залежить від кількості обертів гвинта: один повний оберт відповідає зміні глибини на 15 мм.

Основні робочі органи – це чизельні лапи з шириною захвату 50 мм, що мають окреме кріплення та дозволяють розпушувати ґрунт на глибину до глибини 40...45 см.

Додаткові робочі органи, зокрема спарені зубчасті котки, встановлюються позаду основних лап, виконують функцію подрібнення попередньо розпушеного шару ґрунту по всій ширині захвату глибокорозпушувача. У конструкції глибокорозпушувача ЧН-3,5 передбачено застосування виключно зубчастих котків як базових допоміжних елементів та опорних елементів, що задають глибину розпушування ґрунту.

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Інженерні розрахунки

Обґрунтування взаємного положення робочих органів в агрегаті

Зазначимо, що основними параметрами, які впливають на якість розпушування ґрунту та загальну енергоємність цього процесу є форма чизельної лапи, а саме – безпосередні геометричні параметри стояка лапи та долота. Традиційно для подібних ґрунтообробних агрегатів можемо прийняти, що долото впливає на частки ґрунту аналогічно як звичайний двогранний клин.

Відомо, що для якісного обробітку ґрунту за умов мінімальних енерговитрат потрібно, щоб глибина роботи чизельного ґрунтообробного агрегату була не більшою за критичну глибину $H_{кр}$. Якщо ж наведена умова не виконуватиметься буде мати місце зменшення зони в якій відбуватиметься кришення ґрунту, при цьому буде збільшуватися зона пластичний деформацій у ґрунті, а отже, загальні енерговитрати на обробіток будуть зростати. Крім такого підвищення енерговитрат за таких умов роботи буде спостерігатися суттєве переущільнення ґрунту в зоні дії долота лапи.

Критична глибина кришення ґрунту має прямий зв'язок із кутом сколювання монолітів. Цей кут сколювання, з врахуванням рис. 11 можна виразити так:

$$\psi_{ск} = 90^\circ - (\beta + \gamma),$$

де β – значення кута кришення ґрунту, що враховуючи дійсні умови становить

$$\beta = 25 \dots 30^\circ;$$

γ – фактичний кут тертя ґрунту, що враховує матеріал із якого виготовляється робочий орган, для сталі $\gamma = 22^\circ$.

Після підстановки цифрових значень, отримаємо кут сколювання ґрунту:

$$\psi_{ск} = 90^\circ - (25^\circ + 22^\circ) = 43^\circ.$$

					<i>ДПРГ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

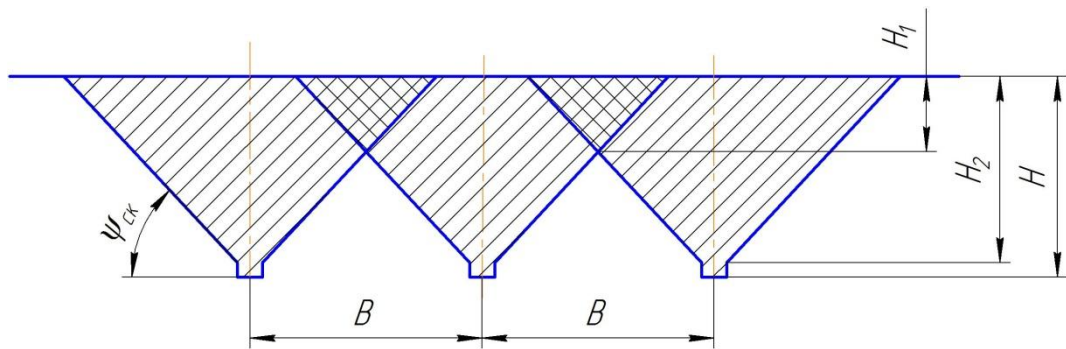


Рис. 11. Розрахункова схема обробітку ґрунту чизельним глибокорозпушувачем

Доведено, що важливим показником, що визначає якість обробітку ґрунту чизельним глибокорозпушувачем є глибина суцільного розпушування H_1 (рис. 11). Зазначена глибина суцільного обробітку задає можливість стійкого проведення наступних агротехнічних операцій та має пряму залежність від глибини руху чизельних лап H та відстані між сусідніми чизельними лапами за шириною захвату агрегату B . Враховуючи наступні технологічні процеси в полі, легко вибрати, що мінімальна глибина суцільного обробітку глибокорозпушувачем має бути трохи більшою за глибину проведення операцій передпосівного обробітку ґрунту, що в умовах середнього суглинку центральної України має становити $H_1 = 12...15$ см.

Проведемо визначення необхідної відстані між суміжними чизельними лапами, для чого скористаємося формулою:

$$B = 2(H - H_1) \cdot \text{ctg} \psi_{\text{ск}},$$

де $\psi_{\text{ск}}$ – фактичний кут сколювання ґрунту робочим органом, що визначено вище, $\psi_{\text{ск}} = 43^\circ$.

Підставивши значення, отримаємо відстань між лапами:

$$B = 2(450 - 150) \text{ctg} 43 = 643 \text{ мм.}$$

Проведені розрахунки дозволили знайти максимальну відстань між чизельними лапами на ґрунтообробному агрегаті. Для гарантованого досягнення заданої глибини суцільного обробітку приймають меншу відстань між суміжними робочими органами, а саме $B = 500$ мм.

										Арк.
										27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Враховуючи кут сколювання можна знайти відстань попереду лапи, на яку розповсюджуються деформації, що крім кута сколювання залежить ще й від глибини обробітку. У символному вигляді це описується так:

$$C = H \cdot ctg\tau \approx H \cdot tg\left(\alpha + \frac{\varphi_1}{2}\right).$$

Підставивши цифрові значення, маємо:

$$C = 400 \cdot tg\left(25 + \frac{50}{2}\right) = 476 \text{ мм.}$$

З тією метою, щоб виключити забивання робочих органів частками ґрунту та рослинними рештками під час роботи ґрунтообробного агрегату в полі потрібно знайти відстань між рядами чизельних лап. Для визначення цієї відстані та враховуючи умову сходження часток із робочого органу скористаємося нерівністю:

$$L > H \cdot tg(\alpha + \varphi) + C.$$

Після підстановки наведених вище числових значень, маємо:

$$L > 400 \cdot tg(25 + 25) + 476 = 952 \text{ мм.}$$

На цьому етапі варто врахувати, що на поверхні поля досить часто знаходяться рослинні рештки у великій кількості, що під час операцій основного обробітку ґрунту глибокорозпушувачами можуть контактувати та залишатися на стояках робочих органів. До того ж маємо врахувати, що глибокорозпушувач може працювати на глибину, яка перевищує розрахункову, а глибина розпушування може доходити до 45...50 см. Враховуючи ймовірну значну кількість рослинних решток та збільшену глибину безполицевого обробітку, оберемо конструктивно відстань між рядами лап глибокорозпушувача $L = 1100$ мм.

Отже, на основі проведених розрахунків було визначено оптимальні параметри розташування чизельних робочих органів на рамі комбінованого глибокорозпушувача. У процесі експлуатації агрегат з такими конструктивними характеристиками повинен забезпечувати якісне розпушування ґрунтового шару на встановлену глибину обробітку, навіть за

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

умови наявності на поверхні поля максимального об'єму рослинних решток за допустимими агротехнічним вимогам.

Розрахунок ширини захвату чизельного глибокорозпушувача, призначеного для суцільного обробітку ґрунту, здійснюється за відомою формулою [18,19]:

$$B_z = \eta \cdot P_m / q,$$

де η – коефіцієнт, що показує ефективність використання тягового зусилля енергозасобу, для розрахунків під час безполицевого основного обробітку ґрунту приймемо $\eta = 0,85$;

P_m – значення тягового зусилля енергозасобу, враховуючи агрегування глибокорозпушувача із трактором тягового класу 3, що працюватиме із швидкістю до 9 км/год, приймемо за таких умов роботи тягове зусилля $P_m = 29$ кН;

q – питомий опір ґрунту на метр ширини захвату глибокорозпушувача, враховуючи, що крім чизельних лап розпушувач працює із спареними зубчастими котками, приймемо питомий опір $q = 7$ кН/м [19].

Отже, після підстановки маємо:

$$B_z = 0,85 \cdot 29 / 7 = 3,52 \text{ м.}$$

Враховуючи конструкцію агрегату та особливість розміщення основних робочих органів на його рамі, обираємо конструктивну ширину захвату глибокорозпушувача $B_z = 3,5$ м.

Враховуючи те, що на ґрунтообробному агрегаті чизельні лапи розміщуються на рамі в два ряди, визначимо загальне розрахункове число цих основних робочих органів за формулою:

$$n = \frac{B_z}{B},$$

де B_z – конструктивна ширина захвату глибокорозпушувача, м;

									Арк.
									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

B – робоча ширина захвату чизельної лапи, м.

Підставивши знайдені вище величини, отримаємо:

$$n = \frac{3500}{500} = 7 \text{ шт.}$$

З урахуванням специфіки розміщення робочих органів на рамі глибокорозпушувача приймаємо для ефективної роботи агрегату 7 чизельних лап, розміщених у два ряди. Зазначимо, що розрахункова ширина захвату агрегату дещо перевищуватиме номінальну, проте за умови дотримання перекриття між суміжними проходами забезпечується необхідна якість виконання технологічної операції відповідно до агротехнічних вимог.

Обґрунтування основних параметрів допоміжного робочого органу у вигляді зубчастого котка

Основні характеристики котка включають його діаметр і довжину. При виборі діаметра за стандартними підходами враховують особливості деформації ґрунту в поздовжньому напрямку. Для ефективної роботи гладких котків необхідно, щоб кут охоплення котка ґрунтом (рис. 13), не перевищував 20° , за умови, що перед котком знаходяться грудки різних, переважно не дуже крупних розмірів [18].

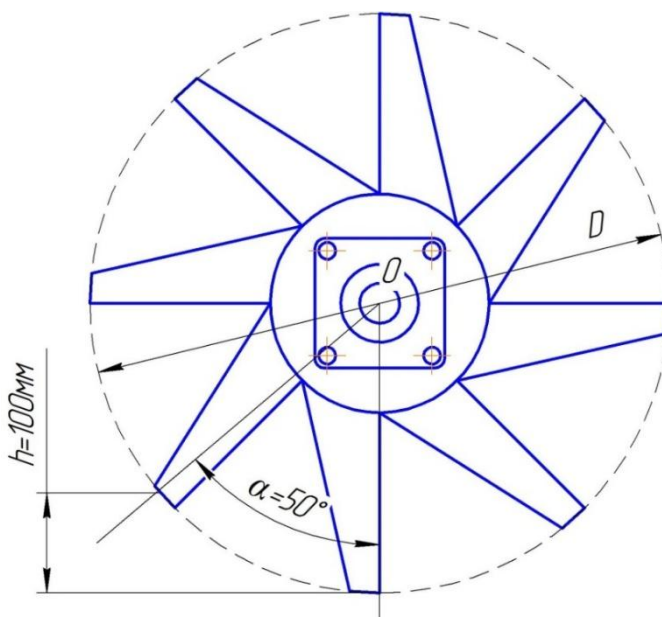


Рис. 13. Схема до розрахунку параметрів зубчастого котка

									ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
										31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

У випадку роботи комбінованого чизельного глибокорозпушувача спарений зубчастий коток, хоч і є додатковим робочим органом виконує функцію опорного та під час технологічної операції обробітку ґрунту додатково подрібнює зубцями крупні грудки, перемішує в оброблюваному горизонті рослинні рештки та частково ущільнює розпушені нижні горизонти для зменшення випаровування із них вологи та утворення ущільненого насінневого ложе. Враховуючи будову котка, кут його обхвату повинен становити $\alpha = 50^\circ$.

Використовуючи традиційні підходи до обґрунтування потрібного діаметру котка (рис. 13), скористаємося відомою залежністю, що пов'язує кут обхвату, глибину деформації ґрунту та відповідний діаметр котка. Ця залежність має наступний вигляд:

$$\cos \alpha = \frac{D - 2 \cdot h}{D} = 1 - \frac{2 \cdot h}{D},$$

де D – розрахунковий діаметр котка, мм;

h – фактичне середнє значення глибини роботи зубчастого котка, мм.

Використовуючи останнє рівняння та розв'язавши його відносно діаметру котка отримаємо:

$$D \geq 1 - \frac{2 \cdot h}{D}.$$

Після підстановки у представлену нерівність кута обхвату та значення глибини деформації ґрунту котком маємо:

$$D \geq \frac{2 \cdot 200}{1 - \cos 50^\circ} = 555,5 \text{ мм} = 0,55 \text{ м.}$$

З врахуванням певного запасу, приймемо діаметр котка $D = 580$ мм.

Значення ширини захвату котка визначається, виходячи з рельєфу оброблюваної місцевості. Для полів із рівною поверхнею зазвичай застосовують котки шириною до 2 метрів, тоді як у регіонах із пересіченим або гірським ландшафтом ця величина, як правило, не перевищує 1 метра. Зважаючи на специфіку функціонального призначення вдосконаленого котка,

його робочу ширину приведено у відповідність до ширини обробки всього ґрунтообробного агрегату, яка становить 3 метри.

Проведення силового аналізу глибокорозпушувача

Відомо, що всі конструктивні та технологічні параметри такого робочого органу як коток мають прямий зв'язок із коефіцієнтом об'ємної деформації оброблюваного середовища, в даному випадку – ґрунту. Це можна описати наступним виразом:

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt[3]{G^2}}{\sqrt[3]{g_o^2 \cdot B^2 \cdot D}},$$

де G – загальна маса котка,;

g_o – коефіцієнт, що враховує об'ємну деформацію ґрунту робочим органом, Н/см².

Використовуючи останню залежність можемо знайти:

$$g_o = \frac{\sqrt{2,2 \cdot G^2}}{\sqrt{h^3 \cdot B^2 \cdot D}} = \sqrt{\frac{2,2 \cdot G^2}{h^3 \cdot B^2 \cdot D}} = \sqrt{\frac{2,2 \cdot 180^2 \cdot 9,8^2}{100^3 \cdot 350^2 \cdot 58}} = 1,17 \text{ Н/см}^3$$

Щоб розрахувати зусилля, що потрібно затратити на перекочування котка по поверхні поля під час технологічного процесу, скористаємося формулою:

$$P = 0,86 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{g_o \cdot B \cdot D^2}},$$

де k – коефіцієнт, який дозволяє врахувати додатковий опір, що виникає в результаті деформації ґрунту, яку безпосередньо здійснюють зуби котка. Враховуюче те, що дані котки проводять одночасно як розпушування верхнього шару так і ущільнення нижнього, правомірно прийняти, що $k = 1,2 \dots 1,3$.

Отже, врахувавши той факт, що на коток під час його роботи в полі тисне вага всього ґрунтообробного агрегату, розрахуємо опір перекочування котка:

									ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$P = 0,86 \cdot 1,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{8000^4}{1,17 \cdot 350 \cdot 58^2}} = 1494 \text{ Н.}$$

У конструкції чизельного глибокорозпушувача передбачено монтаж двох (спарених) зубчастих котків. Виходячи з загальної маси ґрунтообробного агрегату, яка становить 1600 кг, на кожен коток припадає навантаження у 800 кг або 8000 Н. Саме це значення і враховувалося при розрахунках за попередньою формулою.

Тяговий опір агрегату в умовах блокованого різання формується за рахунок лобового опору R_l та опору ґрунту, що виникає в бокових зонах прорізу $R_{бок}$. Оскільки сили, що діють під час підрізання бокових стінок робочим органом, є мінімальними в межах до настання критичних умов, їх впливом можна знехтувати у розрахунках. Тоді є правомірною наступна залежність:

$$R_{ол} = R_{бок} + R_l.$$

Той опір ґрунту, що виникає в бокових прорізах при роботі лапи є пропорційний фактичній площі перерізу цих прорізів, що можна описати рівнянням:

$$R_{бок} = P_{бок} \cdot K_{бок}^2 \cdot H^2 \cdot ctg\psi_{ск},$$

де $P_{бок}$ – сила різання ґрунту (питома) бокових прорізів, кН/м², керуючись даними експериментів, прийmemo $P_{бок} = 25$ кН/м²;

$K_{бок}$ – коефіцієнт, який оцінює співвідношення глибини сколювання ґрунту до загальної глибини обробітку

$$K_{бок} = \frac{H_{кр}}{H} = \frac{0,35}{0,4} = 0,88.$$

Враховуючи це, отримаємо:

$$R_{бок} = 25 \cdot 0,88^2 \cdot 0,4^2 \cdot ctg43^\circ = 3,1 \text{ кН.}$$

У ситуації, коли і полі відбувається блоковане різання (за відсутності вільних бокових стінок), працюють робочі органи першого ряду. Робочі

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

органи (чизельні лапи), розташовані в наступних рядах, працюють у режимі частково або повністю вільного різання. У таких умовах опір ґрунту зменшується відповідно до площі, яку вже оброблено попередніми робочими органами.

Таким чином, загальна сила опору, що діє на робочий орган, включає складові, пов'язані з опором у центральній зоні прорізу та в бічних його частинах, і може бути виражена наступним чином

- для умов напіввільного різання:

$$R_{н.в.} = R_{ол} - m_{бок} \cdot \left(H - \frac{(B - b_о) \cdot tg \psi_{ск}}{2 \cdot K_{бок}} \right)^2,$$

де $m_{бок}$ – сила різання (питома) ґрунту в тих частинах, де має місце розширення зони різання, для розрахунків приймемо $m_{бок} = 8 \text{ кН/м}^2$;

$b_о$ – конструктивна ширина долота лапи, $b_о = 0,05 \text{ м}$.

Після підстановки даних, отримаємо:

$$R_{н.в.} = 3,1 - 8 \cdot \left(0,4 - \frac{(0,5 - 0,05) \cdot tg 43^\circ}{2 \cdot 0,88} \right)^2 \approx 2,8 \text{ кН.}$$

- для умов вільного різання:

$$R_{в.} = R_{ол} - 2 \cdot m_{бок} \cdot \left(\left(H - \frac{(B - b_о) \cdot tg \psi_{ск}}{2 \cdot K_{бок}} \right)^2 \right),$$

Підставивши цифрові значення отримаємо:

$$R_{в.} = 3,1 - 2 \cdot 8 \cdot \left(\left(0,4 - \frac{(0,5 - 0,05) \cdot tg 43^\circ}{2 \cdot 0,88} \right)^2 \right) = 2,6 \text{ кН.}$$

Враховуючи той факт, що із усіх семи робочих органів чизельного глибокорозпушувача три лапи працює за умов блокованого різання ґрунту, дві лапи – напіввільного різання і ще дві – вільного різання, можемо розрахувати величину загального опору глибокорозпушувача. Для цього розрахунку скористаємося наступною залежністю:

$$R_n = 3 \cdot R_{ол} + 2 \cdot R_{н.в.} + 2 \cdot R_{в.} = 3 \cdot 3,1 + 2 \cdot 2,8 + 2 \cdot 2,6 = 20,1 \text{ кН.}$$

										Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПРГ 00.000 ПЗ					

Визначимо сили, що діють на чизельну лапу глибокорозпушувача. Під час проведеного вище визначення тягового опору було знайдено складову сили опору R_x , яка діє на долото лапи в певній точці прикладання (рис. 14). Максимальне значення цієї сили є рівним силі опору ґрунту під час блокованого різання, що можемо записати наступним чином:

$$R_x = R_{bl}.$$

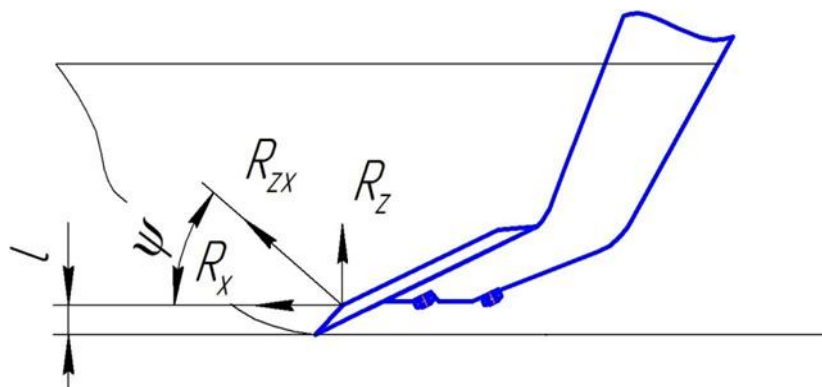


Рис. 14. Розрахункова схема дії сил на лапу глибокорозпушувача

За розрахунковою схемою (рис. 14) є очевидним, що результуюча сила R_{zx} , що діє на чизельну лапу відхиляється від горизонталі (дна борозни) на кут ψ . Крім цього, ця сила прикладається в точці, яка розміщена на певній відстані від лезу долота, що дорівнює l . Використовуючи дані проведених експериментів прийmemo, що при глибині обробітку $H = 0,4 \dots 0,45$ м, кут $\psi = 17 \dots 19^\circ$ та відстань до точки прикладання сил $l \approx 145$ мм.

Враховуючи наведені величини, розрахуємо недостаючі сили, отримаємо:

$$R_{zx} = \frac{R_x}{\cos \psi} = \frac{3,1}{\cos 18^\circ} = 3,3 \text{ кН},$$

$$R_z = R_x \cdot \operatorname{tg} \psi = 3,1 \cdot \operatorname{tg} 18^\circ = 1,0 \text{ кН}.$$

Силовий розрахунок окремих елементів глибокорозпушувача

У якості силових розрахунків виконаємо перевірку на міцність стояка чизельної лапи глибокорозпушувача. Врахуємо, що найбільш небезпечним

						ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
							36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Знайдемо дійсну площу перерізу прямокутника, маємо:

$$F_{np} = b \cdot h = 3 \cdot 24 = 72 \text{ см}^2.$$

Знайдемо статичний момент перерізів, відносно системи координат XZ_1 :

$$S_{Z_1} = F_{np} \cdot x_{np} + F_{кр} \cdot x_{кр} = 72 \cdot 0 + 7,1 \cdot (12 + 1,5) = 95,8 \text{ см}^3.$$

Далі можемо розрахувати абсцису центру тяжіння перерізу лапи, використовуючи залежність:

$$x_c = a_1 = \frac{S_z}{F} = \frac{S_t}{F_{np} + F_{кр}} = \frac{95,8}{72 + 7,1} = 1,21 \text{ см}.$$

Відмітимо, що через центр тяжіння відповідного перерізу проходить вісь стояка Z . Наступний крок – визначення моменту інерції даного перерізу лапи відносно його осі Z :

$$I_Z = I_{Z_1} + a_1^2 \cdot F_{np} + I_{Z_2} + a_2^2 \cdot F_{кр} = \\ 3453 + 1,21^2 \cdot 72 + 4 + (12 + 1,5 - 1,21)^2 \cdot 7,1 = 4630 \text{ см}^4.$$

Розрахуємо значення абсцис крайніх точок небезпечного перерізу, а саме – точок A та B відповідно. Отримаємо:

$$x_A = \frac{h}{2} + a_1 = 12 + 1,21 = 13,21 \text{ см}.$$

$$x_B = \frac{h}{2} + d - a_1 = 12 + 3 - 1,21 = 13,79 \text{ см}.$$

Враховуючи те, що $x_B > x_A$ маємо з метою розрахунку осьового моменту опору перерізу прийняти $x_{\max} = x_B = 13,79$ см. Враховуючи наведену інформацію маємо:

$$W_{Z \min} = \frac{I_z}{x_B} = \frac{4630}{13,79} = 335,7 \text{ см}^3.$$

Розрахуємо

$$W_{Z \min} = \frac{I_z}{x_B} = \frac{4630}{13,79} = 335,7 \text{ см}^3.$$

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

Для здійснення досліджень, спрямованих на оцінку впливу конструктивних параметрів і режимів функціонування модернізованого чизельного глибокорозпушувача на якість безполицевого обробітку ґрунту, була створена експериментальна установка. Вона являє собою повністю функціональний комбінований чизельний агрегат для обробітку ґрунту, оснащений трьома удосконаленими чизельними лапами. Конструкція лап передбачає наявність спеціальних вузлів кріплення цих робочих органів до рами, які дозволяють легко змінювати положення лап як за шириною захвату, так і відстань між рядами. Загальна конструктивна схема та зовнішній вигляд дослідного зразка ґрунтообробного агрегату подані на рис. 17.

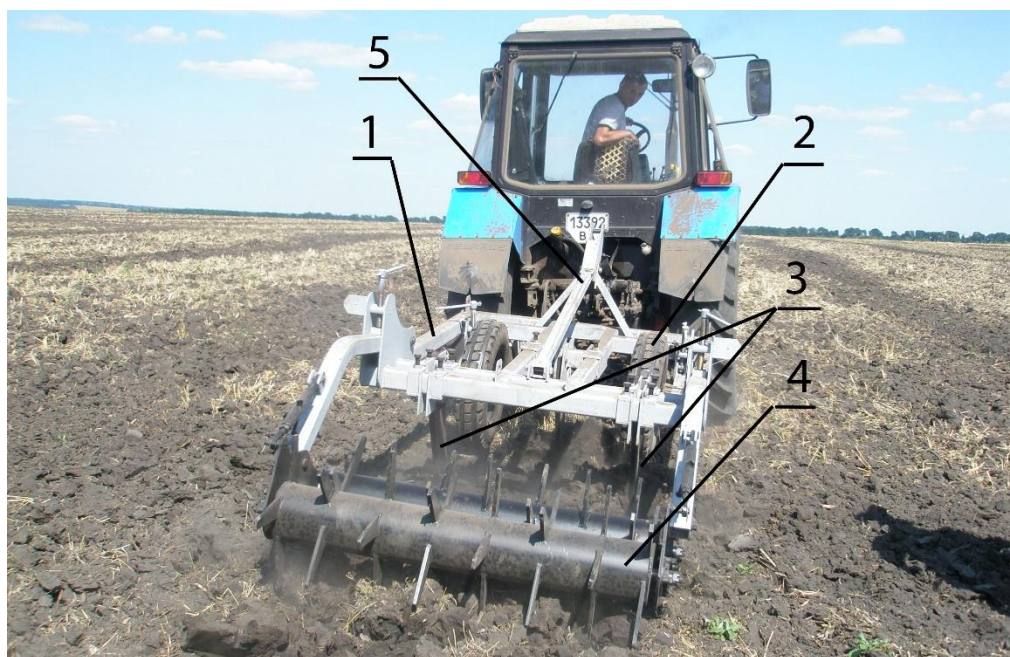


Рис. 17. Комбінований експериментальний глибокорозпушувач:

- 1 – просторова рама; 2 – колеса агрегату опорні; 3 – основні робочі органи – чизельні лапи; 4 – допоміжні робочі органи – спарені котки; 5 – механізм автозчіпки

Якість виконання основного обробітку ґрунту оцінювали за розмірною структурою часток у шарі, що оброблявся глибокорозпушувачем. Для цього визначали вагове співвідношення часток різних розмірів у відібраній пробі

									ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
										40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

обробленого шару ґрунту із поля. У польових умовах відбір проб здійснювали за допомогою спеціального дерев'яного ящика розмірами 40×30×30 см без дна, який втискали в оброблену ділянку поля. Після цього об'єм ґрунту фіксували, застосовуючи зсувне дно, і формували навіску. Відібрану пробу просівали вручну за допомогою решітчастого класифікатора, з подальшим зважуванням кожної окремої фракції. Відсотковий вміст часток певного розміру розраховували по відношенню до загальної маси проби. Як інтегральний показник якості обробітку застосовували коефіцієнт кришення ґрунту, який визначали за відомою розрахунковою формулою, що має вигляд:

$$k = \frac{A - B}{A},$$

де A – сумарна маса відібраної проби ґрунту, гр;

B – сумарна маса ґрунту із частками, розмір яких перевищує 5 см, гр.

Згідно з методикою планування факторного експерименту [22, 23] та з використанням прикладного програмного забезпечення STATISTICA 12 було виконано планування дослідницьких робіт і обробку отриманих даних з метою аналізу впливу основних факторів на ефективність безполицевого обробітку ґрунту дослідним комбінованим глибокорозпушувачем. Серед найбільш впливових факторів на даний процес було визначено: швидкість руху ґрунтообробного агрегату, глибина розпушування чизельними лапами ґрунту, інтервал між робочими органами а також відстань між рядами лап. Позначення цих параметрів, їх варіаційні рівні та діапазони значень наведені у таблиці 4.

Зазначимо, що експериментальне дослідження охоплювало вивчення впливу чотирьох факторів на якість виконання ґрунтообробної операції чизельним глибокорозпушувачем. Для статистичного математичного моделювання процесу було застосовано модель типу Бокса–Хантера, форма і порядок якої відповідала кількості факторів, вплив яких вивчали. Алгоритм планування експерименту згідно з цією моделлю, а також інтерфейс виведення результатів, подано на рис. 18.

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

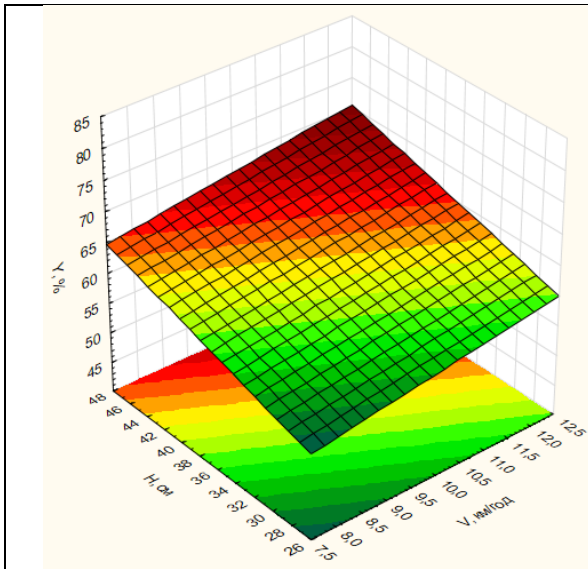
	1	2	3	4	5
	V, км/год	H, см	B, м	L, м	Y, %
1	8	27	0,25	0,6	56
2	12	27	0,25	0,6	61
3	8	47	0,25	0,6	51
4	12	47	0,25	0,6	64
5	8	27	0,8	0,6	48
6	12	27	0,8	0,6	45
7	8	47	0,8	0,6	60
8	12	47	0,8	0,6	66
9	8	27	0,25	1,3	58
10	12	27	0,25	1,3	64
11	8	47	0,25	1,3	68
12	12	47	0,25	1,3	72
13	8	27	0,8	1,3	63
14	12	27	0,8	1,3	65
15	8	47	0,8	1,3	76
16	12	47	0,8	1,3	80

Рис. 20. Зведена таблиця статистичного математичного моделювання по дослідженню параметрів глибокорозпушувача

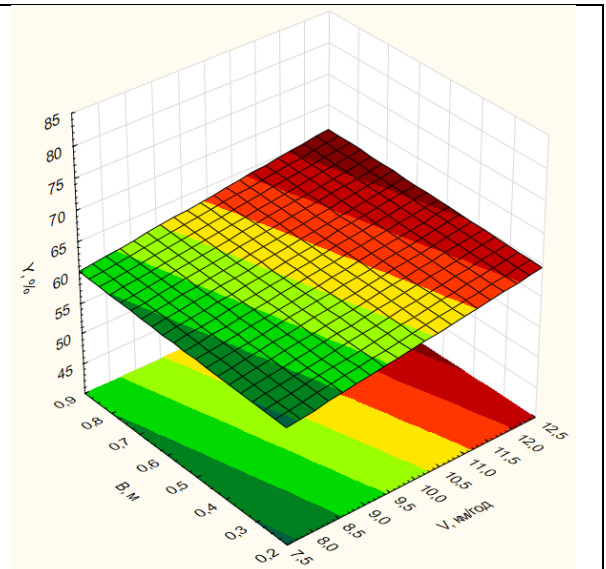
За допомогою пакету прикладних програм STATISTICA 12 провели автоматизоване опрацювання введених експериментальних даних, які в системі подані у форматі узагальненої таблиці – матриці планування експериментальних досліджень (рис. 20). Результати обчислень можуть бути представлені як у табличному форматі (рис. 21), так і у вигляді різних візуалізацій, зокрема тривимірних графіків (рис. 22), діаграми Парето (рис. 23) та графічних профілів бажаності впливу факторів (рис. 24).

Effect Estimates; Var.: Y, %; R-sqr=.95056; Adj.:.85169 (Spreadsheet6.sta) 2**(4-0) design; MS Residual=13,3625 DV: Y, %										
Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	62,31250	0,913869	68,18539	0,000000	59,96333	64,66167	62,31250	0,913869	59,96333	64,66167
(1)V, км/год	4,62500	1,827738	2,53045	0,052501	-0,07335	9,32335	2,31250	0,913869	-0,03667	4,66167
(2)H, см	9,62500	1,827738	5,26607	0,003282	4,92665	14,32335	4,81250	0,913869	2,46333	7,16167
(3)B, м	1,12500	1,827738	0,61552	0,565149	-3,57335	5,82335	0,56250	0,913869	-1,78667	2,91167
(4)L, м	11,87500	1,827738	6,49710	0,001289	7,17665	16,57335	5,93750	0,913869	3,58833	8,28667
1 by 2	2,12500	1,827738	1,16264	0,297445	-2,57335	6,82335	1,06250	0,913869	-1,28667	3,41167
1 by 3	-2,37500	1,827738	-1,29942	0,250484	-7,07335	2,32335	-1,18750	0,913869	-3,53667	1,16167
1 by 4	-0,62500	1,827738	-0,34195	0,746291	-5,32335	4,07335	-0,31250	0,913869	-2,66167	2,03667
2 by 3	5,62500	1,827738	3,07758	0,027545	0,92665	10,32335	2,81250	0,913869	0,46333	5,16167
2 by 4	1,87500	1,827738	1,02586	0,352003	-2,82335	6,57335	0,93750	0,913869	-1,41167	3,28667
3 by 4	4,37500	1,827738	2,39367	0,062105	-0,32335	9,07335	2,18750	0,913869	-0,16167	4,53667

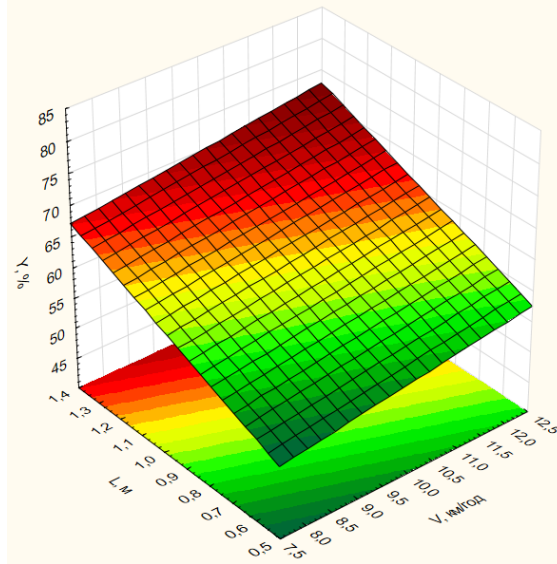
Рис. 21. Табличний результат проведених експериментальних досліджень по визначенню якості роботи комбінованого глибокорозпушувача



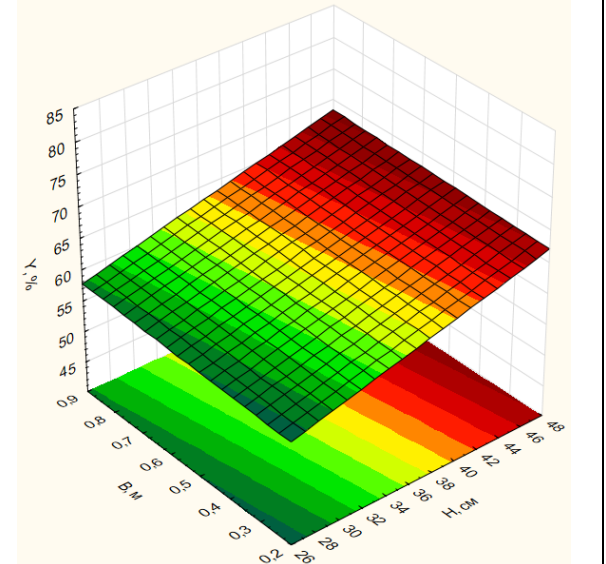
Попарний вплив x_1 та x_2



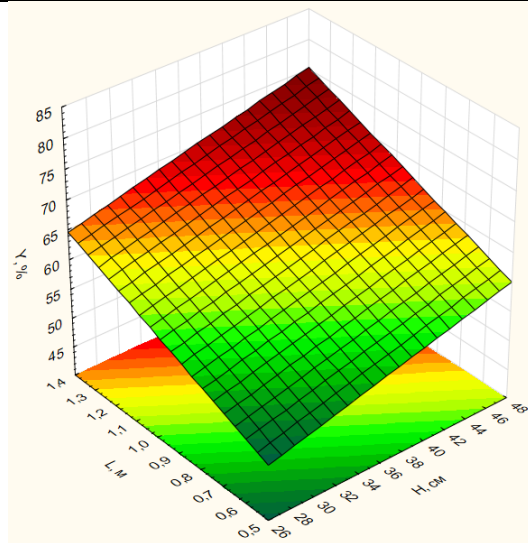
Попарний вплив x_1 та x_3



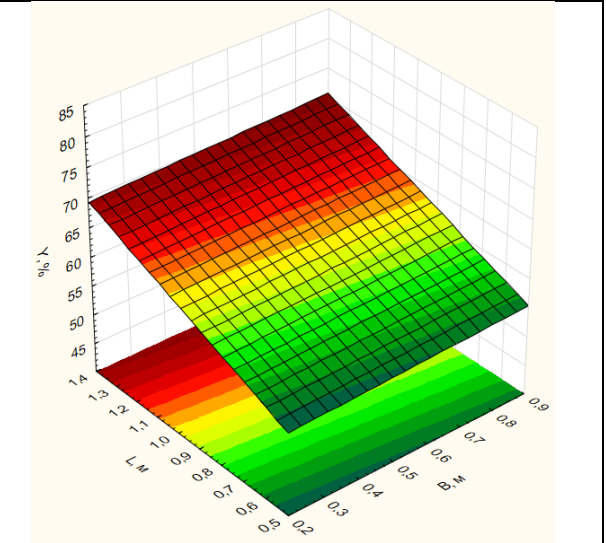
Попарний вплив x_1 та x_4



Попарний вплив x_2 та x_3



Попарний вплив x_2 та x_4



Попарний вплив x_3 та x_4

Рис. 22. Тримірні графіки попарного впливу на критерій оптимізації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Оброблені з допомогою комп'ютера результати експериментів дозволяють, окрім автоматизованої перевірки на значимість, відтворюваність та адекватність моделі, отримати рівняння регресії у зручному для використання вигляді. Отримана статистична математична модель оцінки впливу обраних факторів на якість обробітку ґрунту комбінованим чизельним глибокорозпушувачем наведена нижче

$$Y = 62,3125 + 2,3125 \cdot x_1 + 4,8125 \cdot x_2 + 0,5625 \cdot x_3 + 5,9375 \cdot x_4 + 1,0625 \cdot x_1x_2 - 1,1875 \cdot x_1x_3 - 0,3125 \cdot x_1x_4 + 2,8125 \cdot x_2x_3 + 0,9375 \cdot x_2x_4 + 2,1875 \cdot x_3x_4$$

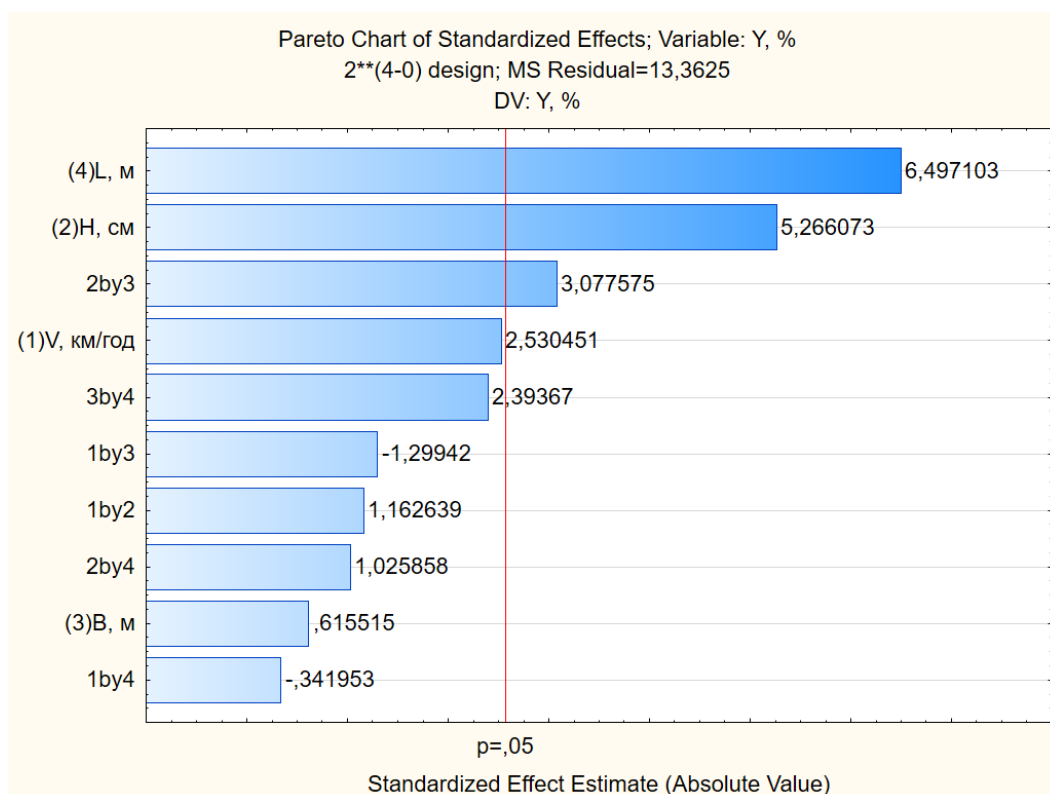


Рис. 23. Діаграма Парето оцінки значимості коефіцієнтів статистичної математичної моделі

Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок, що в межах досліджуваного діапазону варіювання факторів найбільш суттєвий вплив на показники якості безполицевого обробітку ґрунту комбінованим чизельним глибокорозпушувачем мають: відстань між рядами чизельних лап, глибина обробітку ґрунту лапами, попарна взаємодія між глибиною обробітку та інтервалу між робочими органами. Очікувано, у випадках мілкового обробітку вирішальне значення має параметр відстані між

проходами чизельних лап, оскільки в таких умовах обробіток ґрунту стає не суцільним, а спостерігається лише смугове розпушування за певного співвідношення глибини та ширини між проходами. Одночасно зі збільшенням глибини обробітку, за умови сталості інших параметрів, спостерігається покращення якості роботи розпушувача. Робоча швидкість агрегату, хоч і сприяє підвищенню якості обробки, усе ж обмежується технічними можливостями базового енергетичного засобу – трактора.

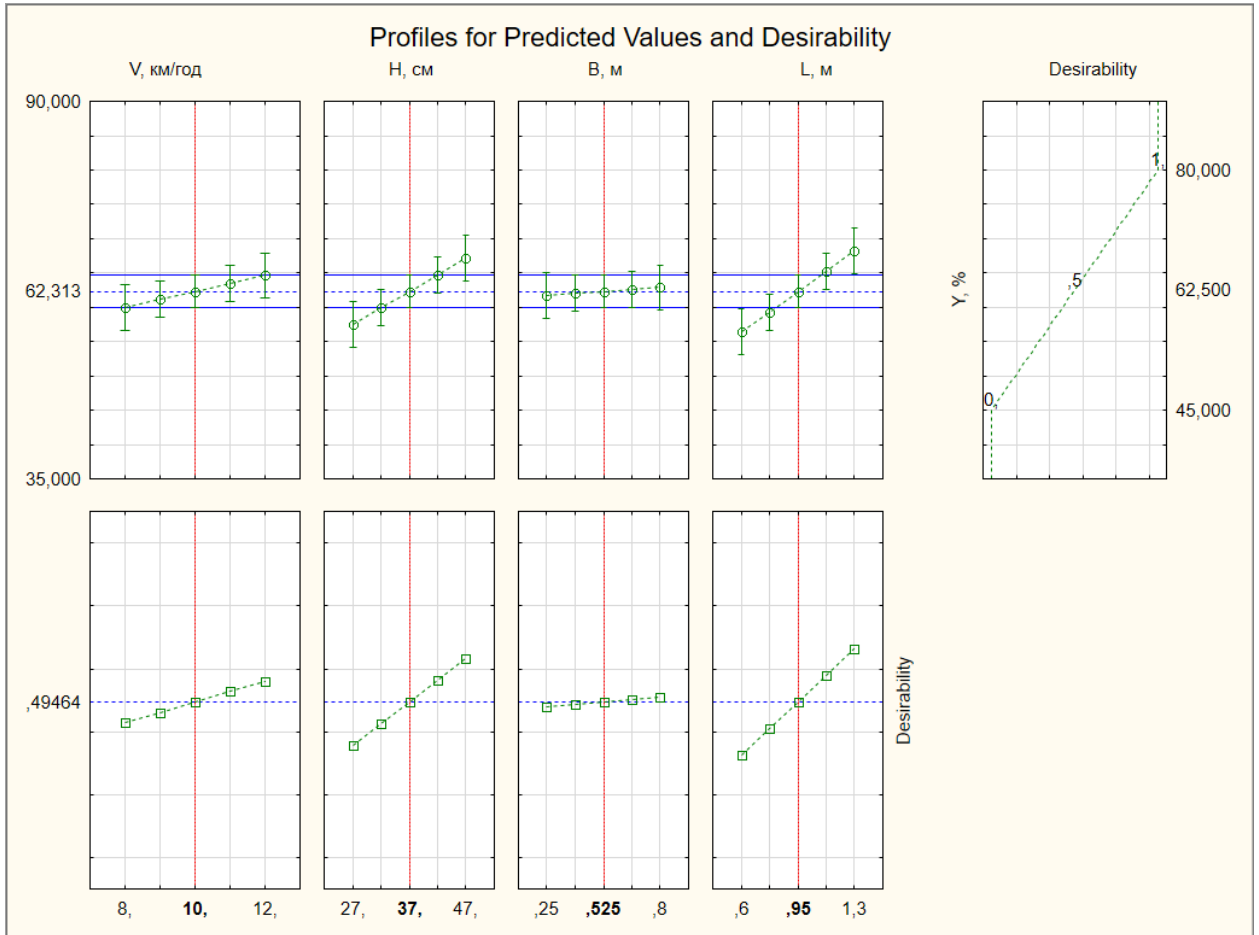


Рис. 24. Графіки профілів бажаності факторів та їх впливу на критерій оптимізації під час дослідження

Таким чином, у рамках дослідницької частини роботи, під час виконання інженерного обґрунтування, аналітичних розрахунків та проведення експериментальних випробувань, спрямованих на оцінку впливу основних факторів на робочі параметри й режими функціонування удосконаленого комбінованого глибокорозпушувача, було встановлено, що при швидкості руху агрегату в межах 11...12 км/год, глибині обробітку 38...40

см, інтервалу між робочими органами 0,55...0,65 м та відстані між їх рядами 1...1,2 м забезпечується якість обробітку ґрунту до 75–78%. Отримані результати свідчать про повну відповідність якісних характеристик агрегату сучасним агротехнічним вимогам, а розраховані параметри можуть бути рекомендовані до практичного застосування для забезпечення ефективної роботи на полях із складними умовами роботи.

Короткі висновки за розділом

1. Проведене багатофакторне експериментальне дослідження дозволило визначити ступінь впливу основних конструкційних і режимних параметрів на якість безполицевого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. Встановлено, що найбільш вагомий вплив на якість обробітку мають: глибина обробітку, швидкість руху агрегату, інтервал між слідами робочих органів, а також відстань між рядами чизельних лап.
2. У результаті аналізу отриманих даних визначено раціональні параметри функціонування агрегату, за яких забезпечується оптимальний рівень якості обробітку ґрунту. Зокрема, при робочій швидкості агрегату в межах 11...12 км/год, глибині обробітку 38...40 см, інтервалі між робочими органами 0,55...0,65 м та міжрядді 1...1,2 м, досягається рівень якісного розпушування ґрунту 75–78%, що відповідає чинним агротехнічним нормам.
3. Отримані результати підтверджують доцільність удосконалення конструкції глибокорозпушувача з урахуванням зазначених параметрів. За таких умов забезпечується не лише високий рівень агротехнічних показників, але й стабільність функціонування агрегату в складних польових умовах.
4. Запропоновані конструктивно-технологічні рішення можуть бути рекомендовані до впровадження в сільськогосподарське виробництво для підвищення ефективності ґрунтообробних робіт,

										Арк.
										48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПРГ 00.000 ПЗ					

зокрема на важких та переущільнених ґрунтах, де традиційні методи обробітку не забезпечують необхідної якості.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час використання комбінованого чизельного глибокорозпушувача на етапі основного обробітку ґрунту можуть виникати низка шкідливих і небезпечних виробничих чинників [17]. Хоча більшість із них є типовими для подібних агротехнічних операцій, необхідно виділити найважливіші з них, які можуть ускладнити безпечну експлуатацію ґрунтообробного агрегату. До таких факторів належать:

- наявність значної кількості рухомих частин агрегату та його активне переміщення під час роботи;
- ймовірність підвищеного запилення у зоні виконання технологічного процесу при безполицевому обробітку ґрунту;
- невідповідна температура повітря в кабіні трактора під час польових робіт;
- перевищення допустимих рівнів шуму та вібрацій під час обробки ґрунту;
- надмірна або недостатня вологість у кабіні оператора;
- надмірна швидкість руху повітря в зоні роботи машинно-тракторного агрегату;
- недостатнє освітлення робочої зони або місця перебування механізатора, спричинене як нестачею природного світла, так і неефективною дією або відсутністю штучного освітлення, а також ймовірність засліплення відбитим світлом, що може виникати від металевих елементів скомплектованого ґрунтообробного агрегату;
- наявність гострих елементів, кромок, виступів або задирок на деталях глибокорозпушувача чи трактора, що можуть спричинити травмування під час експлуатації;

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- високе розміщення зон обслуговуваних елементів глибокорозпушувача та кабіни оператора відносно рівня поля;
- підвищена ймовірність виникнення пожеж в умовах сухої погоди та при роботі з легкозаймистими матеріалами.

Окремо варто звернути увагу на хімічні шкідливі та небезпечні чинники, які супроводжують безполицевий обробіток ґрунту. Серед них:

- можливість потрапляння в організм механізатора токсичних, подразнюючих, сенсibiliзуючих речовин як через шкіру, так і через дихальні шляхи. До таких речовин належать хімікати, компоненти відпрацьованих газів двигуна, паливо, мастильні матеріали, пил, насичений шкідливими домішками, тощо.

Для безпечного обслуговування комбінованого чизельного агрегату він має бути укомплектований відповідним додатковим обладнанням та спеціальним інструментом: регульовальними підставками для контролю глибини обробітку, протиковзними упорами, пристроями для очищення робочих органів тощо.

З метою забезпечення безпечного та зручного з'єднання агрегату з енергетичним засобом доцільно передбачити на етапі проектування та виготовлення ґрунтообробного агрегату механізм автонавіски. Такий механізм дозволяє оператору приєднувати машину безпосередньо з кабіни трактора, без сторонньої допомоги. Роль механізатора в цьому процесі зводиться до фіксації навішеного знаряддя після автоматичного з'єднання машини із енергозасобом.

Зусилля, які прикладаються до ручок керування агрегатом або регульовальних механізмів, зокрема для налаштування глибини обробітку ґрунту чи положення спарених котків, не мають перевищувати 200 Н. Робоче місце агроінженера повинно бути максимально захищене від впливу шуму, вібрацій, пилу та інших шкідливих факторів на всіх етапах польової експлуатації глибокорозпушувача та його обслуговування.

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Показник, одиниця	Традиційний обробіток	Безполицевий обробіток	Економія
Оплата праці (1 500 грн/зміна)	22500	10500	+12000
Загальна економія			50500

7. Рентабельність інвестицій

При ринковій вартості комбінованого чизельного глибокорозпушувача вітчизняного виробництва на рівні 180...220 тис. грн, окупність інвестицій можлива вже за один-два сезони, з урахуванням зменшення експлуатаційних витрат та підвищення врожайності продукції рослинництва, яке має наступити через кілька років системного використання безполицевих технологій обробітку ґрунту.

Короткий висновок за розділом

Застосування комбінованого чизельного глибокорозпушувача ЧН-3,5 дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати, підвищити ефективність обробітку ґрунту, зберегти його структуру, а також забезпечити стійке підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Все це свідчить про високу економічну доцільність його використання у сучасному землеробстві, зокрема за ускладнених ґрунтово-кліматичних умов роботи.

					<i>ДПРГ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

6. ВИСНОВОК

У ході виконання даної роботи здійснено комплексний аналіз проведення основного обробітку ґрунту. Особливу увагу приділено обґрунтуванню доцільності відмови від традиційної полицевої оранки на користь глибокого безполицевого розпушування, що забезпечує поліпшення агрофізичних властивостей ґрунту, зниження ступеня ущільнення у підорному шарі, а також зменшення ризику розвитку ерозійних процесів. У межах цієї концепції проведено інженерні розрахунки, які підтверджують ефективність застосування агрегату у складі навісного комбінованого чизельного глибокорозпушувача ЧН-3,5 у комплекті з трактором Т-150К під час виконання операцій безполицевого обробітку ґрунту.

У науково-дослідній частині роботи здійснено детальне вивчення конструкції комбінованого чизельного агрегату, що планується до використання в господарстві, проведено аналіз його конструктивних особливостей, регулювань, а також виявлено основні переваги й недоліки. В результаті інженерного аналізу було запропоновано конструктивне вдосконалення робочого органа – чизельної лапи з прямим стояком, що сприяє підвищенню ефективності розпушування.

На основі експериментальних досліджень, проведених за класичними методиками математичного планування експериментів з використанням програмного середовища STATISTICA 12, розроблено рівняння регресії, а також побудовано графічні інтерпретації впливу основних факторів на якість обробітку. Встановлено, що найбільш значимими параметрами, які визначають ефективність роботи ґрунтообробного агрегату, є глибина обробітку, відстань між робочими органами та їх рядами, а також робоча швидкість руху агрегату.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що за таких раціональних параметрів, як швидкість руху агрегату 11...12 км/год, глибина обробітку 38...40 см, відстань між слідами чизельних лап 0,55...0,65 м і

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

міжряддя 1...1,2 м, забезпечується якість обробітку ґрунту на рівні 75–78%. Такі результати свідчать про відповідність удосконаленого комбінованого чизельного глибокорозпушувача сучасним агротехнічним вимогам, а також про його потенціал до широкого впровадження у сільськогосподарське виробництво, зокрема його впровадження на важких та переущільнених ґрунтах, де необхідна висока якість обробітку за складних експлуатаційних умов роботи.

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

10. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.]; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
11. Машиновикористання в землеробстві/ В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
12. Машиновикористання у рослинництві. Технологічний регламент використання машин у рослинництві: Навчальний посібник. / Гарькавий А.Д., Калетнік Г.М., Мельник І.І. та ін. – ВДАУ, НУБІП, ЛДАУ, 2009. – 160 с.
13. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно–тракторного парку в рослинництві: Підручник. –К.: Вища шк., 1995. – 237 с.
14. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини / Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1: Машини для рільництва // За ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.
15. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку / За ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – 480 с.
16. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
17. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машини для обробітку ґрунту та сівби. – МінАПК України, Дослідницьке, 2009. – 288 с.
18. Шевченко І.А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища / І.А. Шевченко – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 320 с.
19. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.

						ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
							57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

20. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
- 21.
22. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
23. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки: Навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, К.В. Васильковська, Д.І. Петренко. – Харків: Мачулін, 2019. – 164 с.
24. Петренко М.М. Основи наукових досліджень: Навч. посібник. – Кіровоград, 1997.– 170 с.
25. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. – Кіровоград, Х.: Мачулін, 2016. – 204 с.
26. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
27. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалюка. – Київ: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
28. Основи охорони праці: Підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. – Х.: Стиль-Издат, 2017. – 334 с.
29. Лесенко Г.В. Техніка безпеки на механізованих роботах: Вид. 2-е, допов. перероб. – К.: Урожай, 1978 – 172 с.
30. Андрійчук В.Г. Економіка аграрних підприємств: Підручник. – 2 – ге вид., доп. і перер. – К.: КНЕУ, 2002. – 624 с.
31. Нелеп В. М. Планування на аграрному підприємстві: Підручник. – 2-ге вид., перероб. та доп. – К.: КНЕУ, 2004. – 495 с.

					ДПРГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ДОДАТКИ