

foreign tractor models in 2022 and most of 2023 exceeded the registration of domestically produced tractors by almost three times.

To improve this situation, machine-building enterprises are recommended to master new tractor-building technologies, taking into account the experience of the world's leading manufacturers.

**tractors, registration, analysis, dynamics, forecasting, update**

*Одержано (Received) 08.11.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 24.11.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023*

**УДК 631.312; 631.316.22**

**DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.196-208>**

**С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **В.М. Сало**, проф., д-р техн. наук,

**Д.І. Петренко**, доц., канд. техн. наук, **О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук,

**В. Мельніченко**, асп.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м Кропивницький, Україна*

*e-mail: serafsgm@ukr.net*

## Дослідження впливу параметрів глибокородушувача та комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту

В роботі доводиться доцільність проведення глибокого безполицевого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокородушувачами та підіймається питання доцільності вивчення впливу параметрів ґрунтообробного агрегату і комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту. Проведені експериментальні дослідження впливу параметрів глибокородушувача та комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту. Експериментально знайдені області раціональних значень, при яких якість кришення ґрунту є рівною 70...75% , що досягається при глибині розпушування чизельними лапами 32...42 см, відстані між чизельними лапами в одному ряду 80...100 см, відстані між рядами чизельних лап 40...55 см, швидкості обробітку ґрунту 8...9,5 км/год, глибини встановлення крил на стояку лапи 24...27 см та кількості додаткових робочих органів (зубчастих котків) 2 шт.

**параметри глибокородушувача, комбінація робочих органів, ефективність обробітку ґрунту, чизельні лапи, додаткові робочі органи**

**Постановка проблеми.** Під час вирощування продукції рослинництва однією із найбільш енергонасичених та низькопродуктивних операцій залишається основний обробіток ґрунту [1, 2, 3]. Варто зазначити, що частково питання підвищення продуктивності першого глибокого обробітку ґрунту та зниження витрат енергії вирішується за рахунок впровадження в технологічні процеси вирощування сільськогосподарських культур глибокого розпушування без обертання скиби. Такі операції проводяться глибокородушувачами різних конструкцій, плоскорізами, ярусними культиваторами тощо [2, 3, 4]. Окрім зниження енерговитрат та підвищення продуктивності праці, безполицеві робочі органи на етапі основного обробітку ґрунту дозволяють поліпшити водно-повітряний режим, зменшити чи взагалі усунути прояви різних видів ерозій ґрунту, започаткувати в господарстві систему ґрунтовідновлення.

Слід відмітити, що сьогодні на полях України в якості агрегатів для безполицевого обробітку ґрунту найбільшого розповсюдження знайшли комбіновані глибокорозпушувачі [1...4]. Такі ґрунтообробні агрегати мають порівняно просту конструкцію, легко агрегуються із існуючими енергетичними засобами як вітчизняного так і закордонного виробництва, але визначитися фермеру – який глибокорозпушувач із якими робочими органами та за яких умов доцільно використовувати, досить складно. Це обумовлено широким набором як основних так і додаткових робочих органів, різноманіття схем машин, засилля закордонних сільськогосподарських агрегатів, інколи із зайвими, досить дорогими конструктивними елементами, які використовуються для безполицевого обробітку ґрунту. Таким чином, питання вивчення впливу конструктивних параметрів та режимів роботи глибокорозпушувачів на ефективність їх роботи та підбір комбінації робочих органів, які можуть використовуватися в межах одного агрегату в залежності від польових умов, дозволить з практичної точки зору знайти раціональну конструкцію таких ґрунтообробних агрегатів.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Дослідженням впливу параметрів ґрунтообробних робочих органів та різноманітністю їх комбінацій в межах одного агрегату на ефективність обробітку ґрунту займалися І.А. Шевченко [5], І.М. Панов, В.І. Ветохін, В.Ф. Пашенко, В.О. Дубровін [8], В.П. Ковбаса [9], А.С. Кушнар'єв, Я.С. Гуков [6, 7], В.І. Корабельський [10], Д.Г. Войтюк [11], В.М. Булгаков [12] та ін. Незважаючи на значну кількість проведених досліджень агрегатів для безполицевого обробітку ґрунту, основні роботи присвячені руйнуванню монолітів ґрунту, взаємодії окремих елементів та робочих органів із частками ґрунту, побудові, у більшості випадків, статистичних моделей роботи окремих елементів конструкції ґрунтообробних агрегатів, пошуку раціональних форм поверхонь робочих органів та розрахунку тягового опору і пошуку шляхів зниження загального тягового опору різних за конструкціями глибокорозпушувачів.

У своїх роботах А.С. Кушнар'єв запропонував нове бачення впливу ґрунтообробних робочих органів на структурні елементи ґрунту, на основі яких, керуючись принципами та методами механіки суцільних середовищ та використовуючи реологічні властивості ґрунту, отримані загальні моделі руйнування суцільного середовища в зоні дії робочого органу. Такий підхід дозволяє частково вирішити питання пошуку необхідної форми поверхні ґрунтообробних робочих органів, а подальші роботи дозволили обґрунтувати, що найбільш раціональною формою поверхні ґрунтообробного робочого органу повинна бути ввігнута логарифмічна крива, яка до того ж володіє і покращеною розпушувальною здатністю. Основну роботу під час безполицевого обробітку ґрунту виконує долото, яке сколює і спрямовує зрушені моноліти на подальший рух, розпушування і перемішування [1, 2, 5, 15, 16]. При цьому форма, кривизна долота та характерні робочі кути визначають ступінь подрібнення, інтенсивність утворення тріщин і загальні енерговитрати на процес. Знову можна стверджувати, що обґрунтування параметрів та форми основних робочих органів глибокорозпушувачів на основі класичної механіки повністю не враховують кінцеві якісні показники обробітку ґрунту.

Разом з тим, існує ряд досліджень [2, 5, 6, 8, 10], в яких доводиться, що поряд із формою поверхні робочих органів, суттєво впливають і на якість процесу і на опір ґрунтообробного знаряддя форми стояків та їх розміщення на рамі агрегату. За існуючою класифікацією всі стояки можна розділити на прямі, похилі та С-подібні. Незалежно від форми стояка профіль борозни після роботи глибокорозпушувача буде містити трикутні гребені із кутом при вершині цих гребенів близьким до 90°. Для

забезпечення роботи глибокорозпушувача в якості знаряддя для суцільного обробітку, необхідно на рамі агрегату робочі органи розмістити таким чином, щоб зони розповсюдження бокових деформацій ґрунту в обидві сторони від долота перетиналися, незалежно від глибини роботи агрегату. Отримані залежності [1, 7], що дозволяють обґрунтувати взаємне розміщення чизельних лап у поперечно-вертикальній площині та аналітичні вирази для оцінки зон деформації попереду та по бокам чизельних лап. Такі дослідження підтверджують доцільність розміщення основних робочих органів на рамі агрегату в два чи три ряди, та дозволяють знайти раціональні розрахункові відстані між суміжними лапами. Зроблений висновок [9, 13, 14] про доцільність використання прямих стояків, оскільки їх вартість виготовлення та компонування в агрегати є простішим у порівнянні із стояками складних форм, а аналогічне зниження опору та поліпшення кришення, як у похилих стояків типу Пароплау, можна досягти на прямих стояках шляхом використання різних додаткових елементів [14, 15, 16]. Стверджувати про обґрунтування конструктивних параметрів глибокорозпушувачів з точки зору розміщення чизельних лап на рамі агрегатів на основі отриманих залежностей [6, 7] складно, так як у наведених виразах відсутні показники якості проведення обробітку ґрунту, а в основі розрахунків покладені міркування забезпечення заданої глибини суцільного обробітку та параметрів гребенів на дні борозни.

Ще одним важливим фактором, який впливає на ефективність обробітку ґрунту глибокорозпушувачами, є додаткові робочі органи. До таких робочих органів, крім різноманітних крил, закрилок, інших інтенсифікаторів, що встановлюються безпосередньо на стояку чизельної лапи, відносять і додаткові конструктивні елементи, що встановлюються в більшості випадків позаду ґрунтообробного агрегату [14, 15]. Такі додаткові робочі органи бувають парними та одноелементними, до того ж, в більшості випадків ці робочі органи ще й виконують функцію опорних [17]. Доведено, що в ускладнених умовах роботи, коли ґрунт є переущільненим та або ж занадто вологим чи пересушеним, ще й на поверхні поля міститься значна кількість поживних решток попередника, найкраще себе у якості додаткових робочих органів зарекомендували спарені зубчасті котки [15, 17]. Однак, наведені обґрунтування конструктивних параметрів та режимів їх роботи знову не враховують оцінку якості проведених робіт, а проведені експериментальні дослідження не дозволяють оцінити повну компоновку агрегату в системі основні-додаткові робочі органи.

**Постановка завдання.** Отже, метою даної роботи є дослідження впливу параметрів глибокорозпушувача та комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту.

**Виклад основного матеріалу.** Для оцінки ефективності роботи комбінованих чизельних глибокорозпушувачів та впливу параметрів і режимів роботи основних та додаткових робочих органів на якість безполицевого обробітку ґрунту, керуючись методикою планування багатофакторного експерименту, проведені експериментальні дослідження. Для цього на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету було виготовлено дослідний зразок глибокорозпушувача (рис. 1) [13, 14], який фактично є повноцінним ґрунтообробним агрегатом із трьома чизельними лапами із прямим стояком, долотом, зубом та крилами. Конструкція дослідного глибокорозпушувача виготовлена таким чином, що на кронштейнах можна легко змінювати положення чизельних лап на рамі знаряддя в широкому діапазоні як між рядами так і за шириною захвату агрегату. Крім того, на стояку можна змінювати положення відносно дна борозни додаткових розпушувальних крил. Глибину обробітку чизельними лапами глибокорозпушувача

змінювали за рахунок зміни положення відносно рами спарених зубчастих котків, які в якості додаткових робочих органів забезпечують більш інтенсивне подрібнення крупних брил та перемішування рослинних решток, насіння та добрив на глибині 0...15 см. У випадку роботи без котків, експериментальний глибокорозпушувач працював із опорними колесами, якими і регулювали глибину обробітку ґрунту чизельними лапами. Під час проведення експерименту дослідний ґрунтообробний агрегат працював із трактором МТЗ-82 (тяговий клас 1,4). Експериментальні дослідження проводилися протягом 2014...2022 років на різних полях Кіровоградщини. В подальшій статистичній моделі наведені усереднені дані досліджень, отриманих в різні роки. Ґрунт, що оброблявся під час дослідів, за механічним складом відноситься до важких суглинкових ґрунтів, із діапазоном твердості 20...85 кг/см<sup>2</sup>. Ефективність роботи чизельного глибокорозпушувача оцінювали коефіцієнтом, що враховує якість кришення ґрунту та має наступний фізичний зміст [13, 14]:

$$k = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\%,$$

де  $k$  – коефіцієнт кришення ґрунту, %;

$m_1$  – сумарна вага у навісці агрегатів ґрунту, розмір яких є меншим за 50 мм, кг;

$m_2$  – загальна сумарна вага навіски ґрунту, кг.



Рисунок 1 – Загальний вигляд комбінованого чизельного глибокорозпушувача під час проведення експериментальних досліджень

*Джерело: розроблено авторами із використанням [13, 14]*

За відомою методикою обрали найбільш впливові фактори, які визначають роботу глибокорозпушувача. До цих факторів включили: глибину розпушування чизельними лапами  $h(x_1)$ , см; відстань між чизельними лапами в одному ряду,  $b(x_2)$ , см; відстань між рядами чизельних лап,  $l(x_3)$ , см; швидкість обробітку ґрунту,  $V_a(x_4)$ , км/год; глибину встановлення крил на стояку лапи  $h_k(x_5)$ , см; кількість додаткових робочих органів (спарених зубчастих котків)  $z(x_6)$ , шт. Рівні варіювання перелічених факторів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактори та рівні їх варіювання під час експериментальних досліджень роботи чизельного глибокорозпушувача

№	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Назва	Позначення	Верхній +	Нижній -	
1	Глибина розпушування чизельними лапами, $h$ , см	$x_1$	45	20	12,5
2	Відстань між чизельними лапами в одному ряду, $b$ , см	$x_2$	90	50	20
3	Відстань між рядами чизельних лап, $l$ , см	$x_3$	80	20	30
4	Швидкість обробітку ґрунту, $V_a$ , км/год	$x_4$	8,9	5,9	1,5
5	Глибина встановлення крил на стояку лапи, $h_k$ , см	$x_5$	28	18	5
6	Кількість додаткових робочих органів (зубчастих котків), $z$ , шт	$x_6$	2	0	1

Джерело: розроблено авторами

Експериментальні дослідження проводили із використанням пакету прикладних програм STATISTICA 12, із врахуванням того, що фактор – кількість додаткових робочих органів (спарених зубчастих котків)  $z(x_6)$ , є блочним фактором. Дана прикладна програма дозволяє не лише провести планування експериментальних досліджень і провести обробку результатів, а і в автоматичному режимі перевірити отриману статистичну математичну модель на адекватність і відтворюваність. Значимість коефіцієнтів рівняння регресії на критерій оптимізації, який в даному випадку є коефіцієнт кришення ґрунту  $Y(k)$ , оцінювали стандартизованою Парето-картою (рис. 2). Так, Парето-карта дозволяє провести оцінку найбільш значимих факторів, а перетин на цій карті стовпцями, що відображають конкретні коефіцієнти рівняння регресії, показують 95% тест визначення значимості даного коефіцієнта. Табличний результат статистичного моделювання наведено на рис. 2.

За результатами проведених досліджень отримали статистичну математичну модель, яка відображає вплив досліджуваних факторів на критерій оптимізації у наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 53,617 + 1,148x_1 - 4,778x_2 + 0,926x_3 + 0,722x_4 + 0,333x_5 + 6,5x_6 + \\
 & + 1,204x_1^2 - 0,546x_2^2 + 0,37x_3^2 + 0,426x_4^2 - 0,436x_5^2 - 0,046x_6^2 - \\
 & - 3,148x_1x_2 - 0,541x_1x_3 + 0,143x_1x_4 + 0,133x_1x_5 + 1,281x_1x_6 - \\
 & - 0,417x_2x_3 - 1,681x_2x_4 - 0,361x_2x_5 - 0,925x_2x_6 - 0,022x_3x_4 + \\
 & + 0,98x_3x_5 + 0,75x_3x_6 + 0,504x_4x_5 + 0,815x_4x_6 + 0,944x_5x_6
 \end{aligned}$$

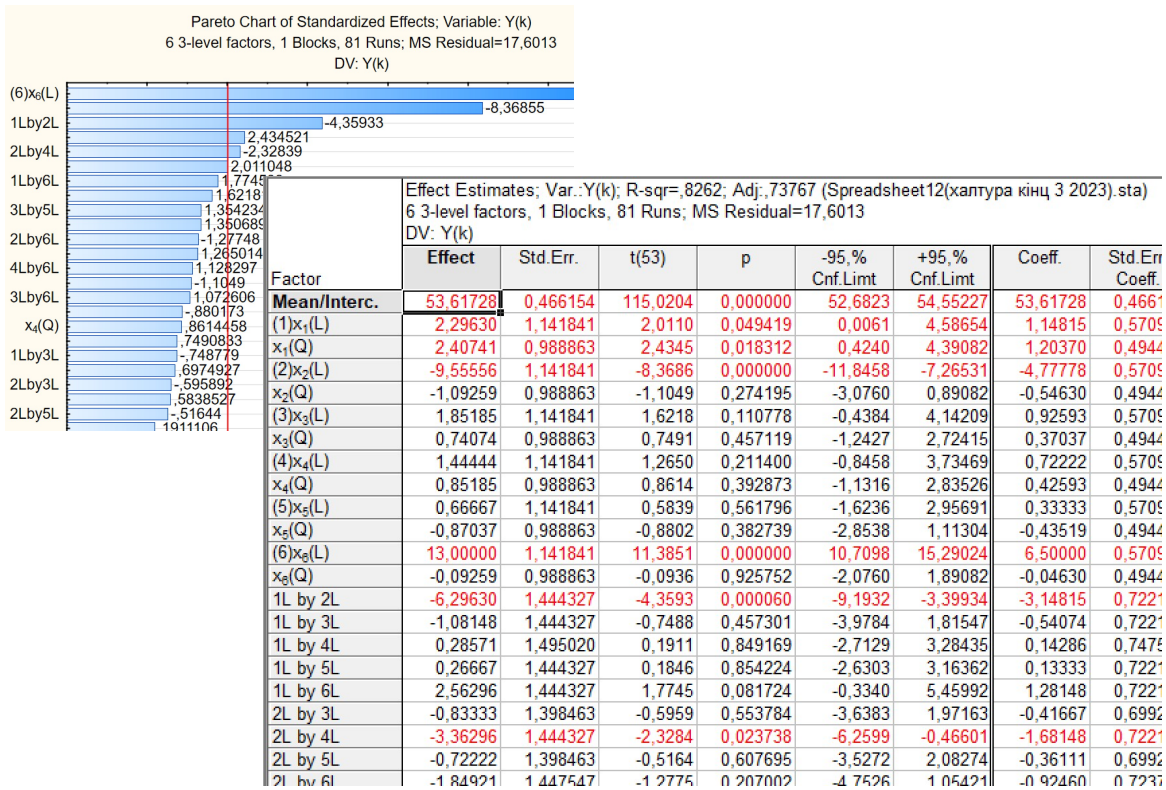
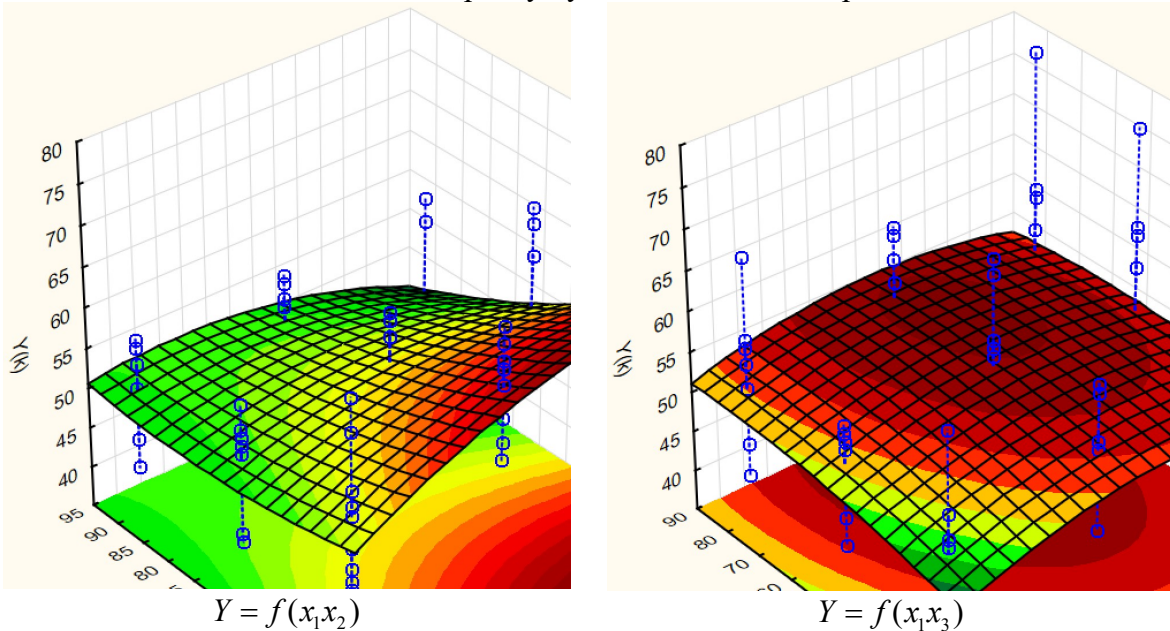
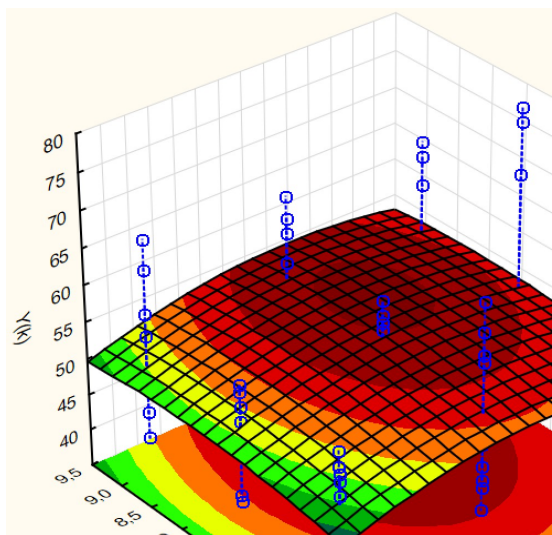


Рисунок 2 – Парето карта та табличний результат дослідження впливу факторів на ефективність роботи комбінованого чизельного глибокорозпушувача

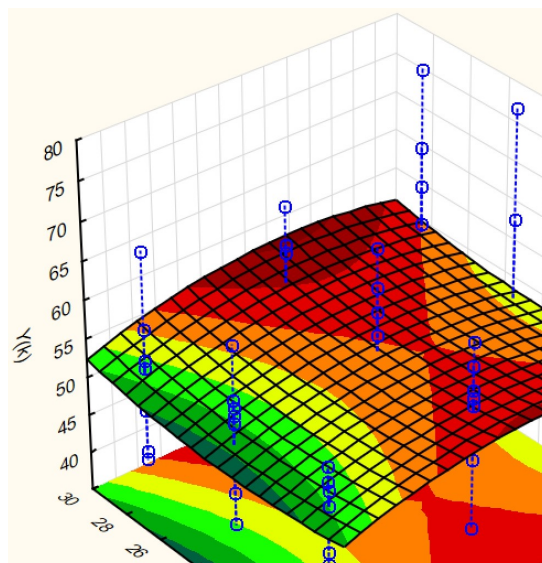
Джерело: розроблено авторами

Графіки попарного впливу обраних факторів на якість роботи, виконаної комбінованим чизельним глибокорозпушувачем наведено на рис. 3.

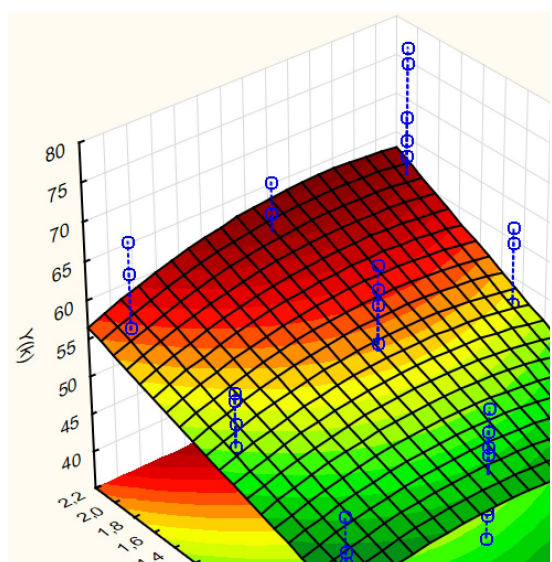




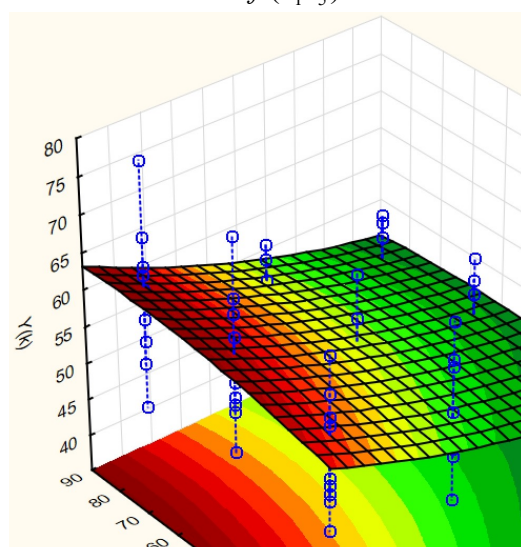
$Y = f(x_1, x_4)$



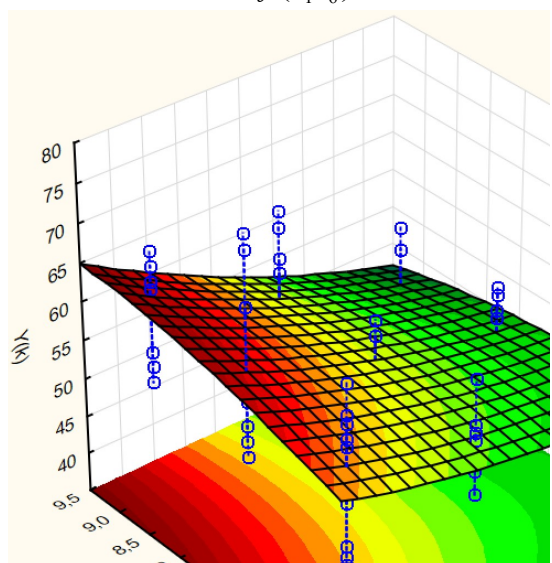
$Y = f(x_1, x_5)$



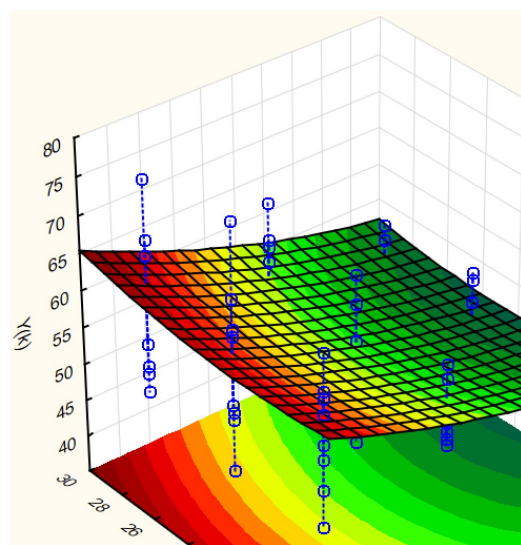
$Y = f(x_1, x_6)$



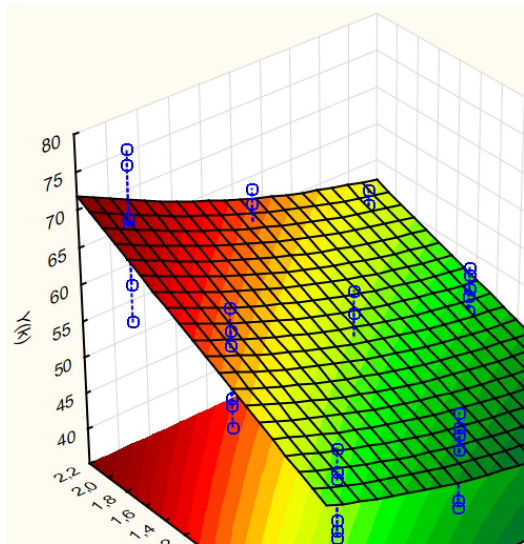
$Y = f(x_2, x_3)$



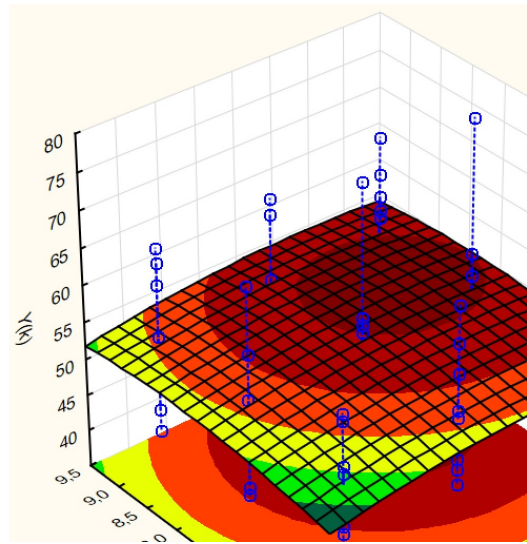
$Y = f(x_2, x_4)$



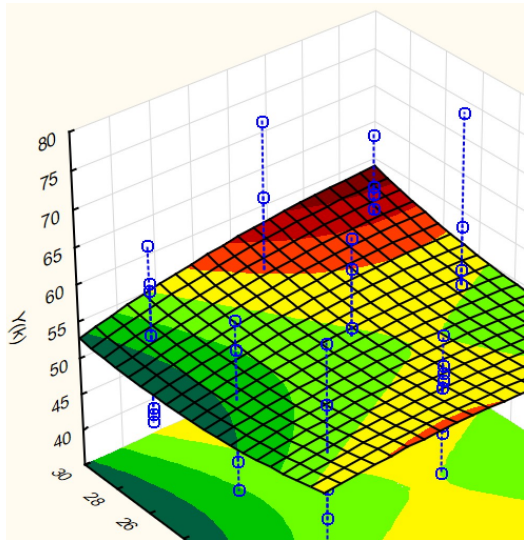
$Y = f(x_2, x_5)$



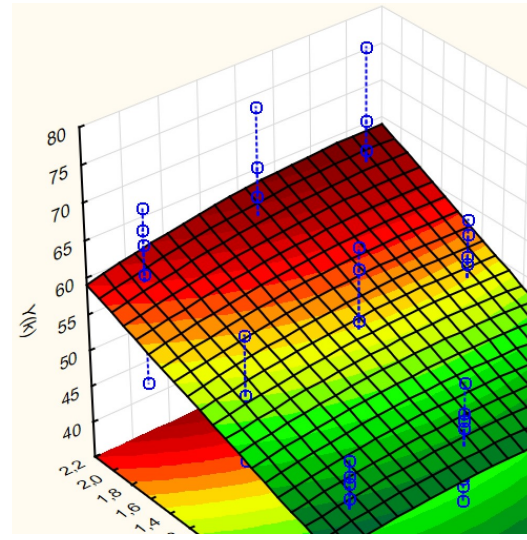
$Y = f(x_2x_6)$



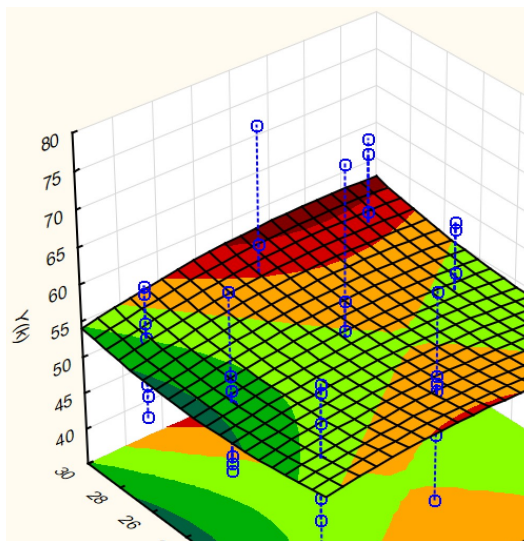
$Y = f(x_3x_4)$



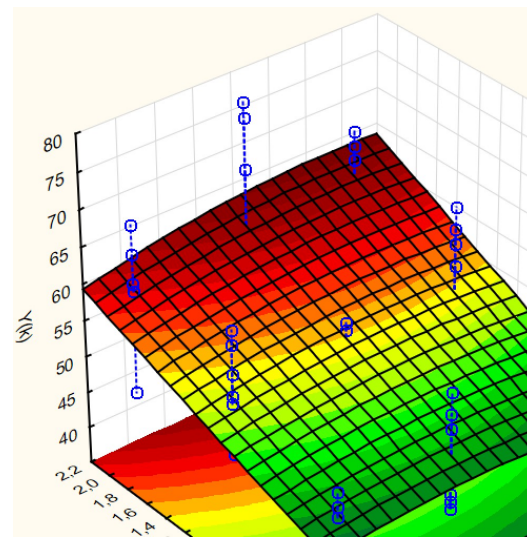
$Y = f(x_3x_5)$



$Y = f(x_3x_6)$



$Y = f(x_4x_5)$



$Y = f(x_4x_6)$



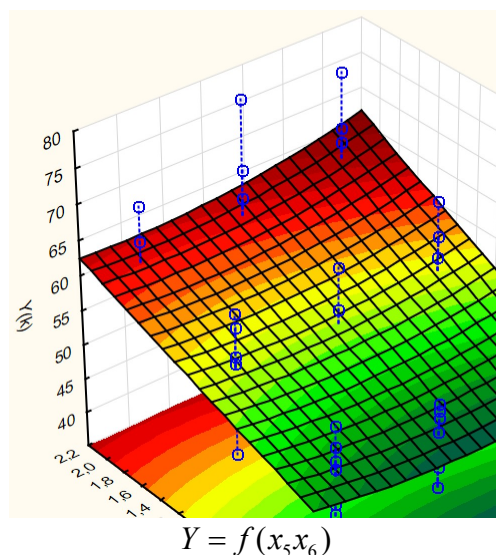


Рисунок 3 – Графіки попарного впливу факторів та лінії рівного виходу впливу обраних факторів на якість проведення основного безполицевого обробітку ґрунту комбінованим чизельним глибокорозпушувачем

*Джерело: розроблено авторами*

В результаті проведених досліджень та на основі рівняння регресії, Парето-карти та табличних результатів (рис. 2) видно, що найбільше впливають на процес кришення ґрунту глибокорозпушувачем в обраному інтервалі значень факторів лінійна та квадратичні взаємодії глибини розпушування чизельними лапами  $h$  та відстань між чизельними лапами в одному ряду  $b$ , лінійна взаємодія кількості додаткових робочих органів (зубчастих котків)  $z$  та попарна взаємодія глибини розпушування  $h$  і відстані між чизельними лапами в одному ряду  $b$  та відстані між чизельними лапами в одному ряду  $b$  і швидкості обробітку ґрунту  $V_a$ . Глибина розпушування чизельними лапами є фактором, що визначає загальну доцільність проведення безполицевого обробітку ґрунту і є відомим, що збільшення глибини таких операцій дозволяє зруйнувати ущільнену підорну підшву та поліпшити інфільтраційні властивості. Виходячи із графічного відображення результатів експериментальних досліджень (рис. 3), найбільш доцільно проводити глибоке розпушування на глибину  $h = 32...42$  см. Відстань між чизельними лапами в одному ряду  $b$  є фактором, що пов'язаний із глибиною обробітку та в своїй сукупності дані чинники забезпечують можливість проведення суцільного обробітку із перекриттям зон деформації робочими органами. До того ж, сумісно ці два фактори визначають форму і висоту гребенів на дні борозни, або ж можуть призвести допосмугового обробітку. Враховуючи необхідність проведення суцільного основного обробітку та з врахуванням заданих глибин розпушування, раціональні значення відстані між чизельними лапами в одному ряду мають знаходитися в діапазоні значень  $b = 80...100$  см. Відстань між рядами чизельних лап  $l$  є фактором, що має прямий зв'язок із конструкцією ґрунтообробного агрегату, але в будь-якому випадку, при надмірно близькому розміщенні рядів робочих органів створюються умови для забивання чизельних лап рослинними рештками та ґрунтом. Незважаючи на те, що в проведеному дослідженні вплив даного фактору на критерій оптимізації є малозначимим, раціональні значення відстані між рядами робочих органів дорівнюють  $l = 40...55$  см. Зменшення цієї відстані менше наведеного діапазону значень призводить до погіршення якості обробітку, а перевищення зазначених значень не має прямого впливу на якість процесу, проте впливає на збільшення загальної маси агрегату та

призводить до збільшення кінематичної довжини агрегату. Швидкість обробітку ґрунту  $V_a$  задає необхідну продуктивність агрегату, а проведені дослідження доводять, що найкращу якість обробітку можна досягти якщо швидкість комбінованого чизельного глибокорозпушувача дорівнює  $V_a = 8...9,5$  км/год. Глибина встановлення крил на стояку лапи  $h_k$  має найвагомійший вплив на профіль дна борозни та можливість руйнування гребенів, які утворюються між зонами деформацій чизельних лап. При глибині обробки чизельними лапами до 42 см варто, щоб крила на стояку встановлювалися на  $h_k = 24...27$  см. Зрештою, підтверджується, що робота спареного зубчастого котка підвищує якість кришення ґрунту, а кількість котків, що працюють у комбінованому агрегаті мають становити  $z = 2$  шт.

Таким чином, використовуючи методику планування багатofакторного експерименту, отримано залежності та їх графічне відображення, які дозволяють обґрунтувати раціональні параметри і режими роботи комбінованого чизельного глибокорозпушувача.

### Висновки:

1. В роботі доводиться доцільність проведення глибокого безполицевого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами та підіймається питання доцільності вивчення впливу параметрів ґрунтообробного агрегату і комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту.

2. Існуючі дослідження вирішують питання руйнування монолітів ґрунту, взаємодії окремих елементів та робочих органів із частками ґрунту, побудови статистичних моделей роботи окремих елементів конструкції ґрунтообробних агрегатів, пошуку раціональних форм поверхонь робочих органів та шляхів зниження загального тягового опору різних за конструкціями глибокорозпушувачів, однак оцінка якості роботи подібних ґрунтообробних агрегатів в залежності від їх конструкції, комбінації робочих органів та параметрів вивчені недостатньо.

3. Проведені експериментальні дослідження впливу параметрів глибокорозпушувача та комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту. Експериментально знайдені області раціональних значень, при яких якість кришення ґрунту є рівною  $k = 70...75\%$ , що досягається при наступних умовах:

- глибина розпушування чизельними лапами,  $h = 32...42$  см;
- відстань між чизельними лапами в одному ряду,  $b = 80...100$  см;
- відстань між рядами чизельних лап,  $l = 40...55$  см;
- швидкість обробітку ґрунту,  $V_a = 8...9,5$  км/год;
- глибина встановлення крил на стояку лапи,  $h_k = 24...27$  см;
- кількість додаткових робочих органів (зубчастих котків),  $z = 2$  шт.

### Список літератури

1. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М. та ін. Х.: Мачулін, 2016. 244 с.
2. Машини для обробітку ґрунту та сівби : посібн. ; за ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. 288 с.
3. Vasytkovska K.V., Leshchenko S.M., Vasytkovskyi O.M., Petrenko D.I. Improvement of equipment for basictillage and sowing asinitialsta geofharvest for ecasting. *INMATEH-Agricultural Engineering* . 2016 . Vol.50 No.3, P.13-20 ref.18.
4. Azizi A., Gilandeh Y. A., Mesri-Gundoshmian T., Saleh-Bigdeli A. A., Moghaddam H. A. Classification of soil aggregates: A novel approach based on deep learning. *Soil and Tillage Research*. 2020. 199, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104586>.

5. Шевченко І.А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища . К.: Видавничий дім «Вінніченко», 2016 . 320 с.
6. Гуков Я.С. Обробітокґрунту. Технологія і техніка . К.: Нора-Принт, 1999 . 275 с.
7. Гуков Я.С. Обґрунтування деяких параметрів розпушувачів ґрунту . *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2000. Вип.83. С.84-88.
8. Дубровін В.О., Теслюк В.В. Дослідження ефективності технології і техніки мінімалізації весняного передпосівного обробітку ґрунту під сівбу цукрових буряків . *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. 2013. Вип. 185(1). С. 11-17.
9. Ковбаса В.П. Механіко-технологічне обґрунтування оптимізації взаємодії робочих органів з ґрунтом: автореф. дис. на здобуття наук.ступеня д-ра техн. наук. : 05.05.11. Київ, 2006. 35 с.
10. Корабельський В.І., Спірін А.В., Ковальова І.М. Розробка серповидної стойки асиметричного чизеля . *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2011. Вип. 6. С. 72-75. URL: <http://repository.vnsau.org/getfile.php/3502.pdf> (дата звернення: 17.11.2023).
11. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: підр. К.: Каравела, 2018. 552 с.
12. Дослідження вібраційних процесів при основному обробітку ґрунту / В.М. Булгаков та ін. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2015. Вип. 5, Т. 1. С. 3-13.
13. Leschenko S., Salo V., Petrenko D. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2014. Вип. 44 . С. 237-243.
14. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами . *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільського господарства*. 2015. Вип. 156. С. 25-34.
15. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць ЦНТУ*. 2018. Вип. 31. С. 10–20.
16. Лещенко С. М. , Сало В.М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами . *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник*. 2016. Вип. №4 (103) . С. 31-37. URL: <https://journal.imesg.gov.ua/info/attach.php?id=66> (дата звернення: 22.11.2023).
17. Лещенко С.М., Сало В.М., Васильковський О.М., Петренко Д.І. Визначення параметрів та ефективність роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2022. Вип. 52. С. 108-117. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.108-117>.

## Referencis

1. Salo, V.M., Leshhenko, S.M., Luzan, P.G., Machok, Yu.V. & Bogatir`ov, D.V. (2016). *Mashyny dlia obrobittu ґрунту ta vnesennia dobryv. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv ahrotekhnichnykh spetsialnostei [Tillage and fertilizer machines. A textbook for students of agricultural specialties]*. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].
2. Kravchuk, V.I. & Melnyk, Yu.F. (2009). *Posibnyk. Mashyny dlia obrobittu ґрунту ta sivyb [Manual. Machines for soil cultivation and seeding]*. Doslidnytske: UkrNDIPVTim. L. Pohoriloho. [in Ukrainian].
3. Vasytkovska, K.V., Leshchenko, S.M., Vasytkovskyi, O.M. & Petrenko, D.I. (2016). Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH-Agricultural Engineering, Vol.50, No.3*, 13-20 [in English].
4. Azizi, A., Gilandeh, Y. A., Mesri-Gundoshmian, T., Saleh-Bigdeli, A. A., & Moghaddam, H. A. (2020). Classification of soil aggregates: A novel approach based on deep learning. *Soil and Tillage Research, 199*, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104586> [in English].
5. Shevchenko, I.A. (2016). *Keruvannya agrofizichnim stanom ґруntovogo seredovisha [Management of Agrophysical Condition of Soil Environment]*. Kyiv: Vidavnichij dim «Vinichenko» [in Ukrainian].
6. Hukov, Ya.S. (1999). *Obrobittok hruntu. Tekhnolohiia i tekhnika [Tillage of the soil. Technology and equipment]*. Kyiv: Nora-Prynt [in Ukrainian].

7. Hukov, Ya.S. (2000). Obgruntuvannia deiakykh parametriv rozpushuvachiv gruntu [Justification of some parameters of soil looseners]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva – Mekanisasion ken elektripikasion ti agrikultura, Issue 83*, 84-88 [in Ukrainian].
8. Dubrovin, V.O. & Tesliuk, V.V. (2013). Doslidzhennia efektyvnosti tekhnolohii i tekhniky minimalizatsii vesnianoho peredposivnoho obrobitku gruntu pid sivbu tsukrovykh buriakiv [Study of the efficiency of the technology and technique of minimizing the spring pre-sowing tillage for sowing sugar beets]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK – Sientipiko a Boletin ti Nailian nga Unibersidad ti Bioresources ken Panagmanehar ti Nakaparsuaan ti Ukraine. Serye: Teknolohia ken enerhia ti industria ti agrikultura, Vol. 185(1)*, 10–20. [in Ukrainian].
9. Kovbasa, V.P. (2006). Mekhaniko-tekhnolohichne obgruntuvannia optymizatsii vzaiedodii robochykh orhaniv z gruntom [Mechanical and technological substantiation of the optimization of the interaction of working bodies with the soil]. *Extended abstract of doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Korabelskyi, V.I., Spirin, A.V. & Kovalova, I.M. (2011). Rozrobka serpovydnoi stoiky asymetrychnoho chyzelia [Development of a sickle-shaped rack of an asymmetric chisel]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Sientipiko a Boletin ti Nailian nga Unibersidad ti Bioresources ken Panagmanehar ti Nakaparsuaan ti Ukraine. Serye: Teknolohia ken enerhia ti industria ti agrikultura, Vol. 6*, 72-75. Retrieved from <http://repository.vsau.org/getfile.php/3502.pdf> [in Ukrainian].
11. Voitiuk, D.H. & Havryliuk, H.R. (2018). *Silskohospodarski mashyny [Agricultural machinery]*. Kyiv: Karavela [in Ukrainian].
12. Bulhakov, V.M., Sviren, M.O., Kisilov, R.V., Oryshchenko, S.B. & Lisovyi, I.O. (2015). Doslidzhennia vibratsiinykh protsesiv pry osnovnomu obrobitku gruntu [Study of vibrational processes during basic tillage]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu – Sientipiko a boletin ti Tavriyya State Agro-Tekhnolohiko nga Unibersidad, Issue 5, Vol. 1*, 3–13. [in Ukrainian].
13. Leschenko, S., Salo, V. & Petrenko, D. (2014). Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 44*, 237-243 [in English].
14. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. & Petrenko, D.I. (2015). Eksperymentalna otsinka yakosti roboty kombinovanoho chyzelia z dodatkovymy horizontalnymy ta vertykalnymy deformatoramy [Experimental assessment of the quality of work of a combined chisel with additional horizontal and vertical deformaters]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka . Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva – Boletin ti Petro Vasylenko Kharkiv Nailian a Teknikal nga Unibersidad ti Agrikultura. Mekanisasion ti agrikultura, Vol. 156*, 25-34. [in Ukrainian].
15. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. & Petrenko, D.I. (2018). Otsinka enerhoiemnosti hlybokoho obrobitku gruntu kombinovanyh chyzelnymy hlybokorozpushuvachamy [Assessment of energy intensity of deep cultivation of soil by combined chisel deep tillers]. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnyctvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia : zb. nauk. prats TNTU – Machinery in Agricultural Production, Industry Machine Building, Automation :Collected Works of KNTU, Vol. 31*, 10–20 [in Ukrainian].
16. Leshchenko, S.M. & Salo, V.M. (2016). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti roboty kombinovanykh chyzelnykh gruntoobrobnykh znariad z dodatkovymy deformatoramy [Ways to improve the efficiency of combined chisel tillage tools with additional deformaters]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva: zahalnodержавnyi zb. – Mekanisasion ken elektripikasion ti agrikultura: nailian a koleksion, Issue 4(103)*, 31-37. Retrieved from <https://journal.imesg.gov.ua/info/attach.php?id=66>.
17. Leshchenko, S.M., Salo, V.M., Vasylovskiy, O.M. & Petrenko, D.I. (2022). Vyznachennia parametriv ta efektyvnist roboty dodatkovykh robochykh orhaniv hlybokorozpushuvachiv [Determination of parameters and efficiency of additional operating parts of deep tillers]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 52*, 108-117. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.108-117> [in Ukrainian].

**Serhii Leshchenko**, Assoc. Prof., PhD of tech. sci., **Vasyl Salo**, Prof., DSc., **Dmytro Petrenko**, Assoc. Prof., PhD of tech. sci., **Olexiy Vasylovskiy**, Prof., PhD in tech. sci., **Viktor Melnychenko**, post-graduate  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Research on of the Influence of Deep Tiller Parameters and Combination of Operating Parts on Soil Cultivation Efficiency**

The paper proves the expediency of deep subsurface tillage with combined chisel deep tillers and raises the question of the expediency of studying the influence of tillage unit parameters and a combination of operating parts on the efficiency of tillage. Existing research addresses the issues of soil monolith destruction, interaction of certain elements and operating parts with soil particles, construction of statistical models of the operation of certain elements of tillage units, search for rational forms of surfaces of operating parts and the ways to reduce overall traction resistance of different deep tillers, but the assessment of the quality of operation of such tillage units depending on their design, combination of operating parts and parameters has not been sufficiently studied.

To study the parameters of a deep tiller, a prototype was made, which is actually a full-fledged tillage unit with three chisel tines with a straight riser, a chisel, a tooth and wings. The design of the experimental deep tiller is made in such a way that the position of the chisel tines on the unit frame can be changed on the brackets in a wide range, both between rows and in terms of the working width of the unit. In addition, the deep tiller can be operated with different variants of the toothed roller. After selecting the most significant factors and the interval of their values based on the methodology for planning a multivariate experiment, studies were conducted to obtain a statistical mathematical model and response surfaces for tillage efficiency. The obtained regression equation was tested for reproducibility and adequacy, and the graphical display of the research results allows obtaining the desired design parameters and operating modes of the tillage unit.

Experimentally found areas of rational values at which the quality of soil pulverization is equal to 70...75%, which is achieved at the depth of loosening with chisel tines 32...42 cm, the distance between the chisel tines in one row 80... 100 cm, distance between rows of chisel tines 40...55 cm, tillage speed 8...9.5 km/h, depth of wings on the tine riser 24...27 cm and number of additional operating parts (toothed rollers) 2 pcs.

**parameters of a deep tiller, combination of operating parts, soil cultivation efficiency, chisel tines, additional operating parts**

*Одержано (Received) 18.09.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 04.10.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023*

**УДК 631.2**

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.208-217>

**В.І. Ребенко**, доц., канд. техн. наук, **В.С. Хмельовський**, проф., д-р техн. наук, **В.М. Туринський**, проф., д-р с.-г. наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна  
e-mail: rebenko@nubip.edu.ua, khmelovskiy@nubip.edu.ua, v.turinskiy@ukr.net*

## Обґрунтування форми споруди для промислового утримання кіз

Здійснено аналіз конструкцій різних тваринницьких будівель в яких утримують тварин. Визначено, що однією з раціональних форм тваринницького приміщення для утримання кіз, у сімейних фермах, є коло. Встановлено, що найбільш привабливими є конструкції зернових силосів з плоским дном. При цьому, машини, під час виконання технологічних процесів, будуть характеризуватись мінімальним переміщенням та енергозатратами. Приведено методи розрахунку приміщення та обґрунтовано обладнання для виконання технологічних процесів.

**козівництво, технологія, утримання, годівля, круглі приміщення**

**Постановка проблеми.** Молочна продукція, отримана від кіз, характеризується найбільшою популярністю серед споживачів, які мають проблеми із засвоєнням лактози, як на світовому, так і вітчизняному ринку. Козине молоко переважає коров'яче

© В.І. Ребенко, В.С. Хмельовський, В.М. Туринський, 2023