

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ РОБОТИ
КОМБІНОВАНОГО ЧИЗЕЛЯ З ДОДАТКОВИМИ ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ
ТА ВЕРТИКАЛЬНИМИ ДЕФОРМАТОРАМИ**

**Лещенко С.М., к.т.н., доцент, Сало В.М., д.т.н., професор,
Петренко Д.І., к.т.н., доцент**

Кіровоградський національний технічний університет

Окреслені можливості інтенсифікації процесу чизельного обробітку ґрунту в складних ґрунтово-кліматичних умовах Центральної України. Проведено експериментальну перевірку якості роботи комбінованого чизеля з додатковими деформаторами під час глибокого рихлення.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Основний обробіток ґрунту є найбільш складною і енергозатратною операцією на здійснення якої, під час вирощування окремих культур (соняшник, картопля, ріпак тощо), витрачається до 30-40% загальних витрат енергії [1, 4]. Суттєво зростають витрати енергії на основний обробіток ґрунту з підвищенням щільності останнього, що є наслідком використання металоємких машин, ерозійно небезпечних дискових ґрунтообробних знарядь, відвальних плугів тощо [2-6]. Ще більше загострює складну ситуацію в рослинництві та прискорює зниження родючості ґрунтів у Центральній Україні поступова зміна клімату. На протязі останніх 3-5 років засушливою порою є не тільки літній період, який співпадає із основним вегетаційним періодом більшості культурних рослин, а й осінній період, на протязі якого дощі не випадають до самих морозів, що унеможливує проведення ефективного основного обробітку в стадії фізичної стиглості ґрунту та ускладнює посів і сходження озимих культур. Такі тенденції призвели до швидкої деградації ґрунтів, підвищення проявів вітрової та водної ерозії, стрімкого зниження обсягів валового збору готової продукції [8]. Тому питання збереження родючості ґрунтів, зниження енерговитрат під час проведення основного обробітку та розробки конструкції універсальних ґрунтообробних робочих органів, здатних якісно виконувати глибоке рихлення із збереженням агрегатного стану структурних елементів ґрунту та вологості і при цьому забезпечувати мінімальні витрати енергії є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою збереження родючості та покращення фізико-механічних властивостей ґрунтів у світі широко використовуються ґрунтозахисні технології, які базуються на відмові від основних ерозійно-небезпечних операцій – відвальної оранки та дискування.

Під час проведення оранки відвальними плугами створюється переущільнена підорна підшва, взаємодіючи із лемішно-відвальною поверхнею інтенсивно подрібнюються біологічно цінні агрегати ґрунту (частки розміром 0,25-10 мм), витрачається зайва енергія на обертання та

транспортування вирізаної скиби. Це призводить як до перевитрат пального та зменшення ширини захвату машин, так і до переущільнення родючого шару ґрунту, погіршення інфільтраційних властивостей, зниження волого- та повітрообміну у родючому шарі та інших негативних наслідків. Сферичні диски дискових борін, луцильників, дискаторів під час взаємодії з ґрунтом чинять на нього ще більш інтенсивну дію, в результаті чого ступінь подрібнення структурних елементів підвищується, що прискорює обезструктурування ґрунтового середовища [3, 6].

Альтернативою відвальної оранки та дискування є проведення операцій нульового чи мінімального обробітку ґрунту [7-8]. Основою мінімального обробітку ґрунту є проведення безвідвального глибокого рихлення, яке можна здійснювати чизельними глибокорозпушувачами [1-3, 5]. Чизелювання дозволяє суттєво збільшити ширину захвату машин у порівнянні із оранкою, знизити витрати пального на основний обробіток (до 50%), зруйнувати ущільнену підорну підшову та ін. Проте, під час виконання цієї операції можна відмітити і деякі недоліки, серед яких – неповне підрізання бур'яну, неможливість отримання суцільного дна борозни в результаті обробки, низький рівень заробки пожнивних решток та насіння бур'яну тощо. Ще одним проблемним моментом широкого використання чизелів є їх неповна адаптація до складних ґрунтово-кліматичних умов України, оскільки значна їх кількість виготовляється закордонними фірмами «Gaspardo», «Amazone», «John Deere», «Lemken», «Great Plains» або ж за їх ліцензіями. Саме наведені фактори призводять до обмеженого кола використання чизелів.

Мета дослідження. Отже, метою даної роботи є розробка конструкції універсального чизеля, адаптованого до ґрунтово-кліматичних умов України та експериментальна перевірка ефективності його роботи.

Виклад основного матеріалу досліджень. Після проведення аналізу сучасної техніки для чизельного розпушування ґрунту та існуючих аналітичних досліджень в напрямку інтенсифікації чизелювання було висунуто робочу гіпотезу, згідно з якою підвищення працездатності і ефективності функціонування чизельних робочих органів можна забезпечити введенням в конструкцію горизонтальних та вертикальних деформаторів на стояку у поєднанні з допоміжними робочими органами для подрібнення брил.

Після проведення математичного моделювання взаємодії чизельної лапи із ґрунтом знайдено раціональну форму такого робочого органу (рис. 1).

Запропонована чизельна лапа складається з стояка 1, долота 2, зуба для подрібнення брил 3 та крил 4 (рис. 1). Роль вертикального деформатора виконує стояк 1 та зуб для подрібнення брил 3; горизонтального – долото 2 і крила 4. Ефективним допоміжним робочим органом для подрібнення брил після рихлення чизелем, заробки рослинних решток в нижні горизонти і їх перемішування на глибині 15-20 см може бути спарений зубчастий коток (рис.2). Спарений зубчастий коток складається з переднього 1 та заднього 2 зубчастих котків, регулювального гвинта 3 положення котків відносно горизонту, кронштейну 4, щоки батареї котків 5. Залежно від умов роботи спареним зубчастим котком можна регулювати глибину обробки чизелем та інтенсивність перемішування і подрібнення часток ґрунту після чизелювання.

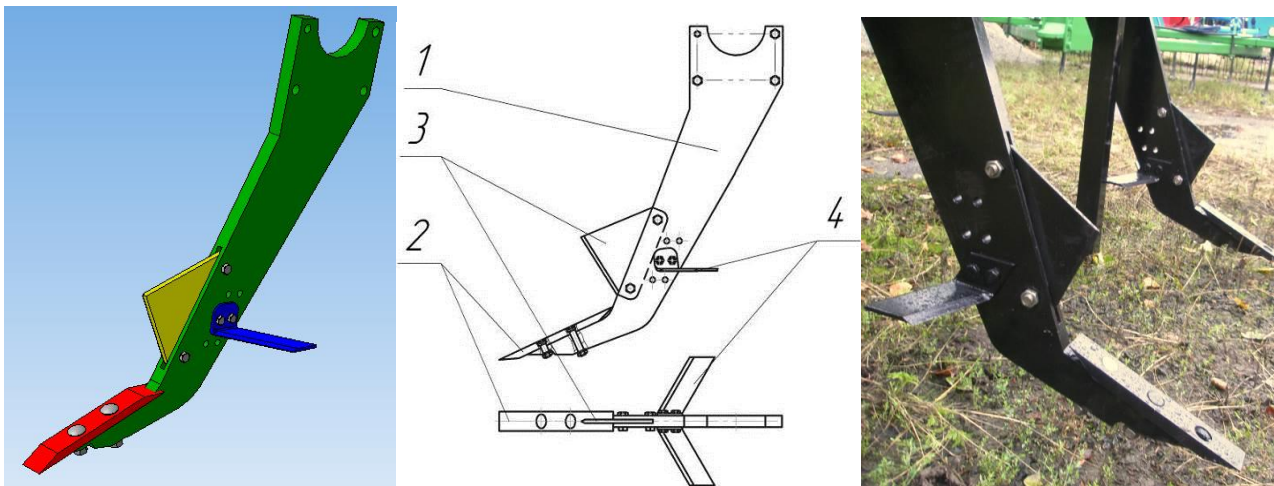


Рис. 1 – Схема і загальний вигляд чизельної лапи з вертикальними та горизонтальними деформаторами

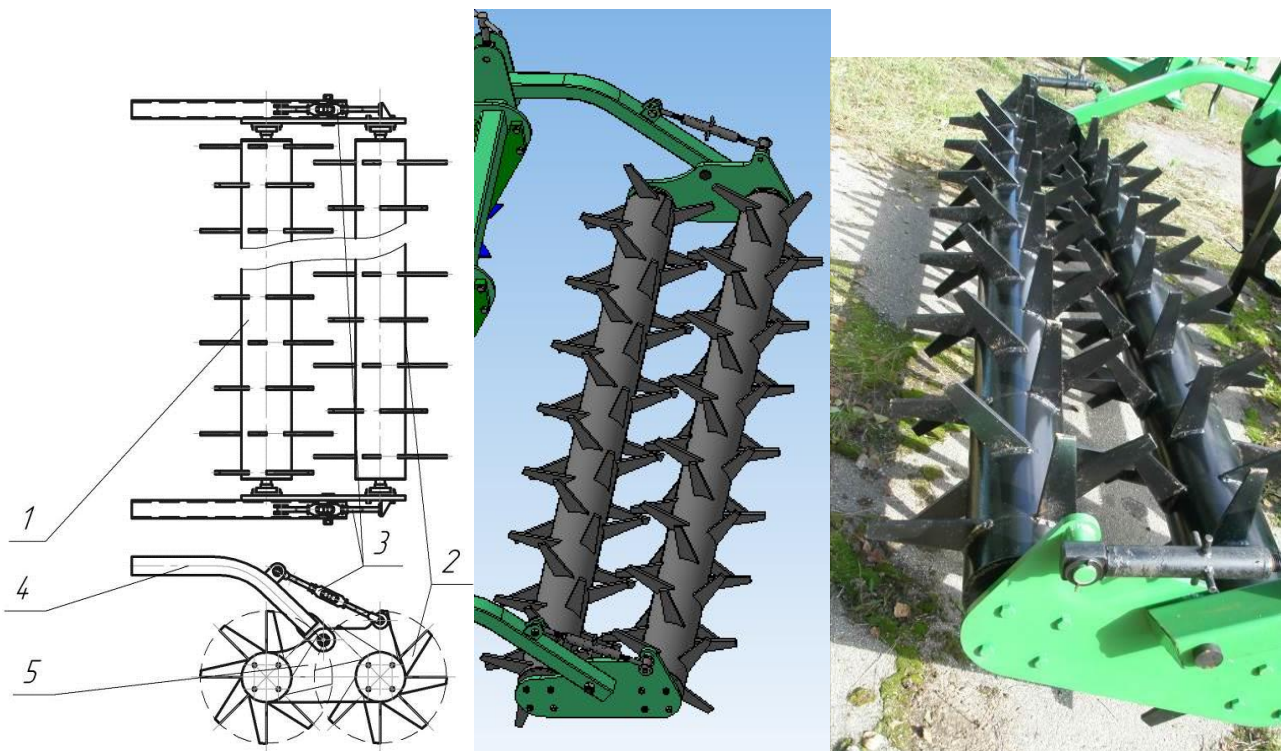


Рис. 2 – Схема і загальний вигляд спареного зубчастого котка

З метою дослідження ефективності роботи запропонованих робочих органів було розроблено та виготовлено дослідний зразок машини (рис. 3). Конструкцією експериментальної машини передбачено можливість зміни положення чизельних лап як по ширині захвату машини, так і по довжині, в широкому діапазоні забезпечено можливість регулювання глибини обробітку та робочих параметрів зубчастих котків. До конструкції експериментального комбінованого чизеля входить три чизельні лапи (рис. 1), спарений зубчастий коток (рис. 2) та рама. Чизель агрегується із тракторами тягового класу 1,4 (тягове зусилля 14 кН).



Рис. 3 – Загальний вигляд експериментального комбінованого чизеля

Для визначення якісних показників роботи розробленої машини заплановано кілька серій дослідів. Метою першої серії є визначення основних закономірностей впливу конструктивних параметрів та режимів роботи комбінованого чизеля на якісні показники глибокого розпушування. Процедуру планування експериментальних досліджень, визначення значимості факторів та решту обчислень виконували за допомогою пакету прикладних програм STATISTICA 10. Дослідження проводилися на полях Новоукраїнського району Кіровоградської області на протязі серпня-жовтня 2014 року. Механічний склад ґрунту – важкий і середній суглинок. Твердість ґрунту складала 0-10 см – 20-25 кг/см²; 10-20 см – 35-50 кг/см²; 20-30 см – 60-85 кг/см². За показник оцінки ефективності роботи чизеля прийнято коефіцієнт якості кришення ґрунту k , який визначається як:

$$k = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де m_1 – маса агрегатів ґрунту розміром менше 50 мм, кг;

m_2 – загальна маса навіски, кг.

Після проведеного теоретичного аналізу, до факторів, що мають значний вплив на процес чизелювання, віднесли: глибину обробки h , см; швидкість трактора, V , км/год; відстань між рядами робочих органів, l , см; відстань між робочими органами в ряду, b , см; глибину встановлення крил, h_k , мм. При цьому пошукові дослідження [5] показали, що найефективнішою роботи чизеля можна досягти при роботі з двома зубчастими котками одночасно. Параметричні обмеження, які являють собою рівні варіювання факторів наведені в таблиці 1.

Побудова та реалізація матриці планування багатфакторного експерименту в програмі STATISTICA 10 дозволяє автоматично провести перевірку на відтворюваність експериментальних досліджень за допомогою

критерію Кохрена (G) та перевірити отриману модель на адекватність за допомогою критерію Фішера (F).

Таблиця 1. Рівні варіювання факторів експериментальних досліджень

№ п.п.	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Глибина обробки, h , см.	x_1	40	20	10
2	Швидкість трактора, V , км/год	x_2	8,9	5,9	1,5
3	Відстань між рядами робочих органів, l , см	x_3	60	20	20
4	Відстань між робочими органами в ряду, b , см	x_4	90	50	20
5	Глибина встановлення крил, h_k , см.	x_5	28	18	5

Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використовували відображення стандартизованої Парето-карти (рис. 4). На карті Парето наочно можна оцінити рівень значимості факторів, що мають статистично-значимі ефекти. На це вказує те, що відповідні стовпці перетинають вертикальну лінію, яка являє 95% тест для визначення значимості.

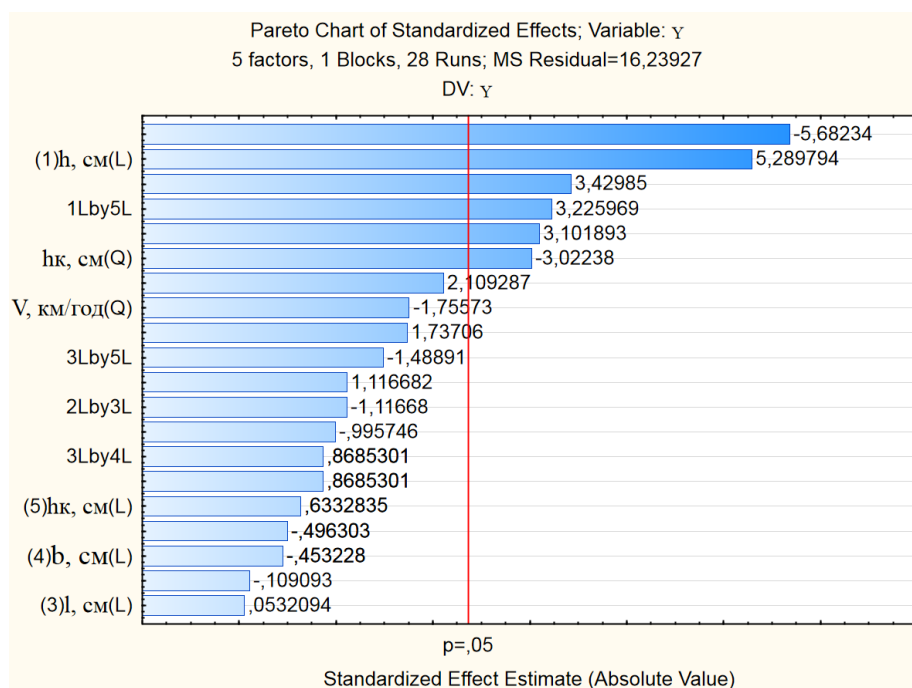
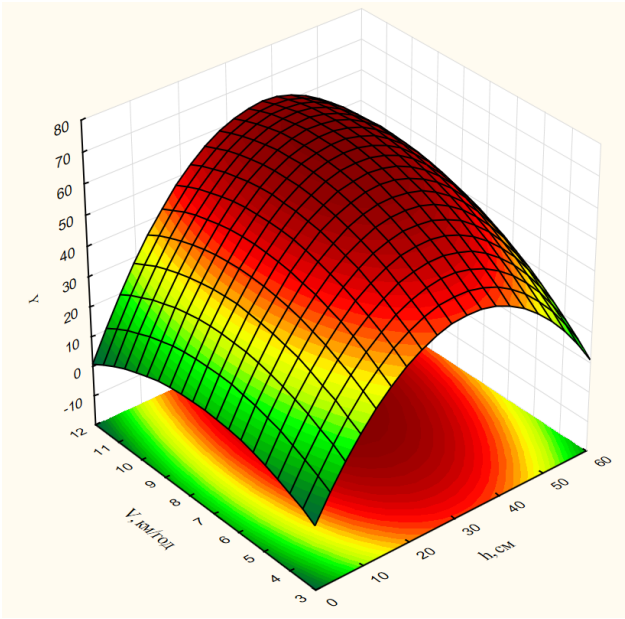


Рис. 4 – Межа статистичного значення коефіцієнту математичного чекання (стандартизована Парето-карта)

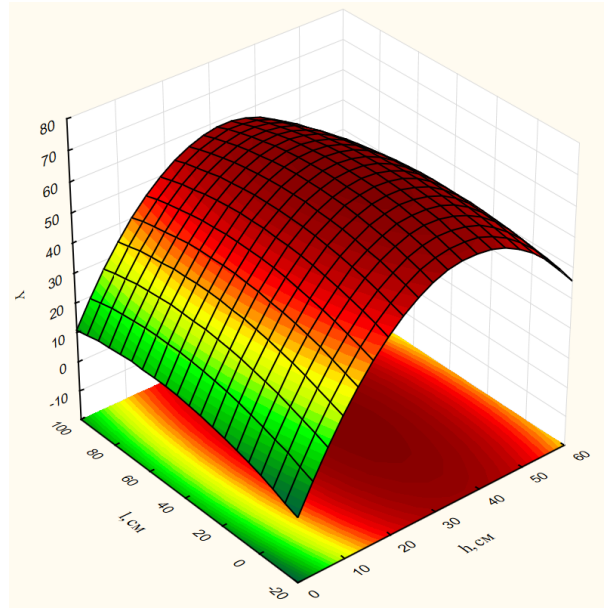
Проведені експериментальні дослідження та обробка даних дозволили отримати статистичну математичну модель у вигляді рівняння регресії для визначення якості роботи комбінованого чизеля:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 62,622 + 4,152x_1 + 2,692x_2 + 0,042x_3 - 0,356x_4 + 0,497x_5 - \\
 & -4,333x_1^2 - 1,339x_2^2 - 0,759x_3^2 - 0,083x_4^2 - 2,305x_5^2 + \\
 & +0,875x_1x_2 - 0,5x_1x_3 + 3,125x_1x_4 + 3,25x_1x_5 - 1,125x_2x_3 + \\
 & +1,75x_2x_4 + 2,125x_2x_5 + 0,875x_3x_4 - 1,5x_3x_5 + 1,125x_4x_5
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

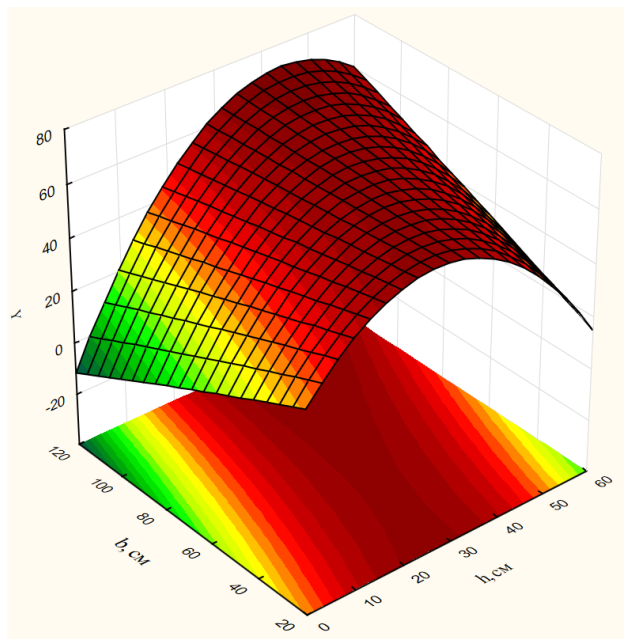
Графічне відображення попарного впливу факторів на якість чизельного обробітку представлено у вигляді поверхонь відгуку та ліній рівного виходу (рис. 5).



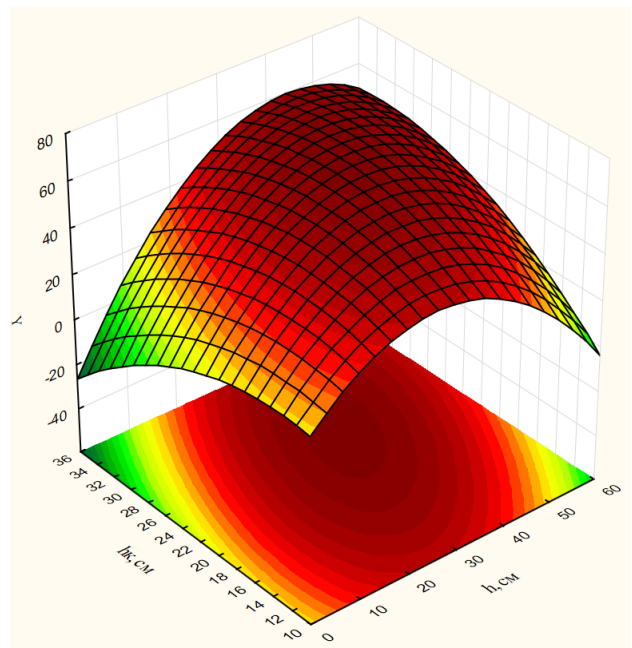
$Y = f(x_1, x_2)$



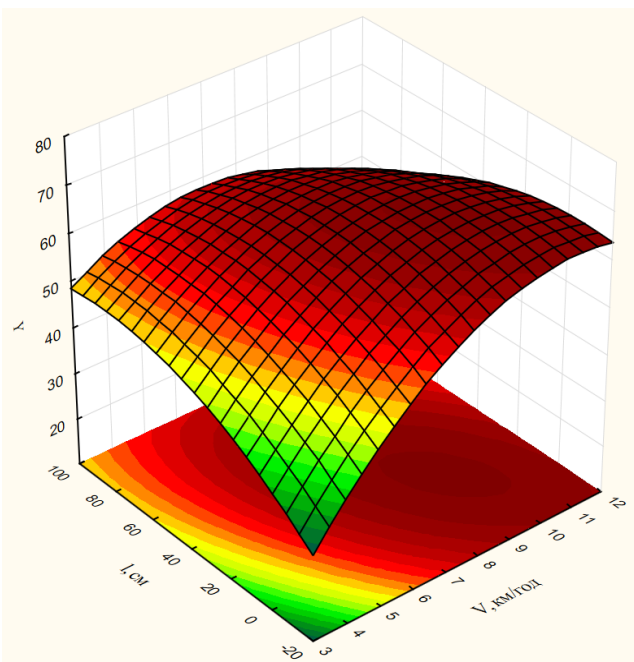
$Y = f(x_1, x_3)$



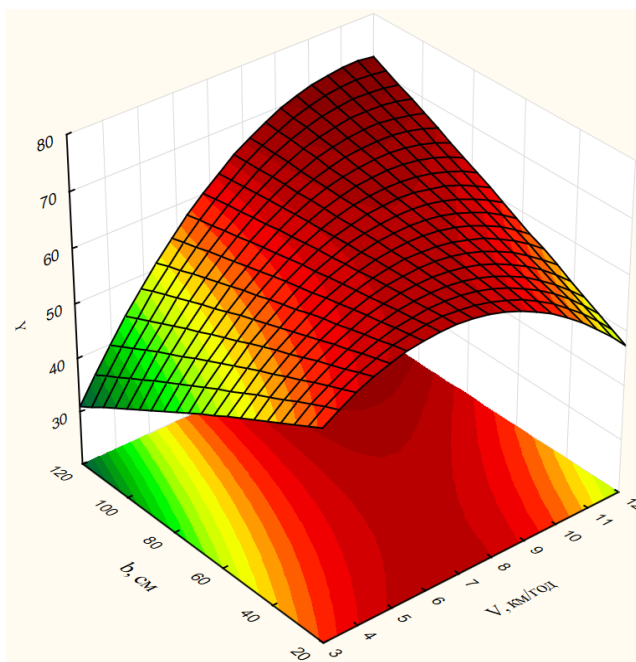
$Y = f(x_1, x_4)$



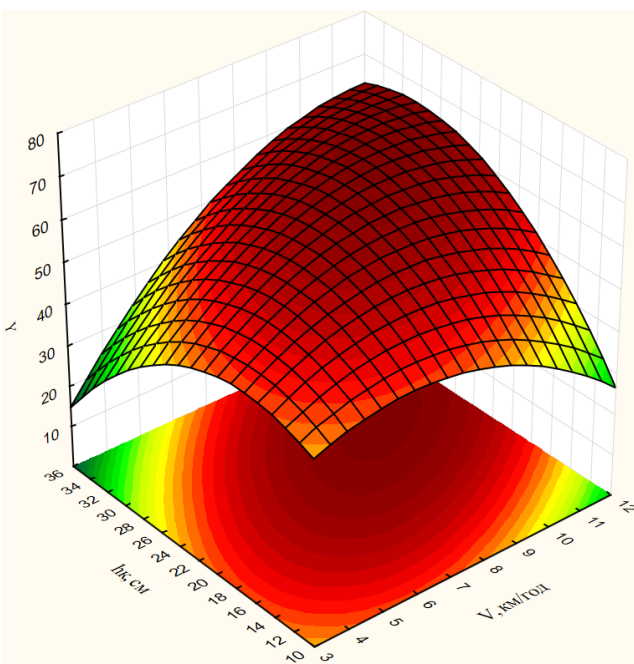
$Y = f(x_1, x_5)$



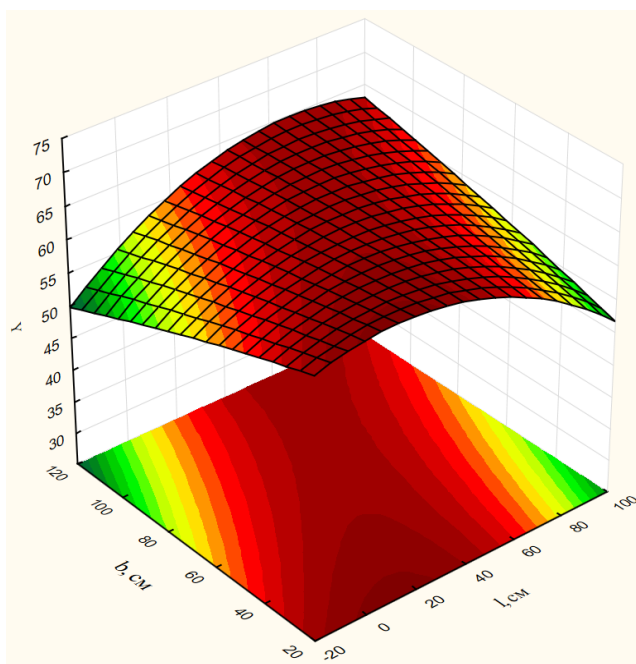
$$Y = f(x_2x_3)$$



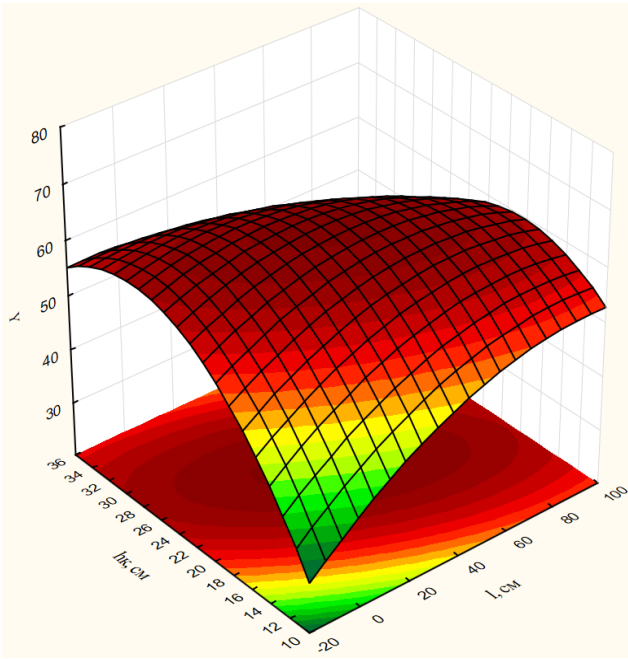
$$Y = f(x_2x_4)$$



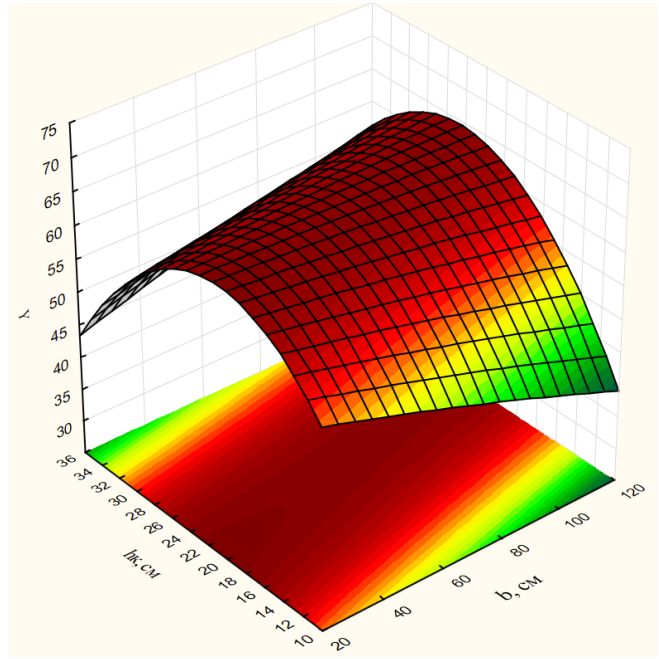
$$Y = f(x_2x_5)$$



$$Y = f(x_3x_4)$$



$$Y = f(x_3, x_5)$$



$$Y = f(x_4, x_5)$$

Рис. 5 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу

Аналіз графічних результатів (рис.5) та рівняння регресії (2) дозволяє відмітити, що найбільше впливає на процес кришення ґрунту лінійна та квадратична взаємодія глибини обробки h , швидкість руху трактора V , квадратична взаємодія глибин встановлення крил h_k та попарна взаємодія глибини обробки h і відстань між робочими органами в ряду b разом з попарною взаємодією глибини обробки h і глибиною встановлення крил h_k . Цілком логічно, що глибина обробки і швидкість руху значно впливають на ступінь подрібнення ґрунтових часток. Встановлені раціональні значення цих факторів в межах $h = 30 - 40$ см; $V = 8 - 9$ км/год. Глибина встановлення крил h_k впливає в більшій степені на профіль дна борозни (висоту гребеня між суміжними проходками лап) та призводить до додаткових енерговитрат, проте квадратична взаємодія цього фактору та його попарний вплив у поєднанні із глибиною обробки впливає і на якість подрібнення структурних агрегатів, а раціональні значення цього параметру складають $h_k = 22 - 26$ см. Відстань між робочими органами в ряду b є фактором, який має взаємозв'язок із глибиною розпушування. Очевидно, що збільшення цієї відстані призводить не тільки до збільшення металоємності комбінованого чизеля, але й до зростання відстані між зонами деформації лап та сприяє збільшенню висоти гребенів. На основі проведених досліджень рекомендується наступні значення вказаного параметру $b = 80 - 100$ см. Відстань між рядами робочих органів l слід вибирати із конструктивних міркувань, виходячи із виключення забивання лап рослинними рештками. Зважаючи на незначний вплив на критерій оптимізації цей параметр може знаходитися в широкому діапазоні $l = 20 - 50$ см.

На основі аналізу результатів проведених досліджень встановлено, що при швидкості 8-9 км/год, глибині обробки 38 см, глибині встановлення крил 25

см та відстані між робочими органами в ряду 100 см якісний показник кришення ґрунту складає 70-75%, що перевищує аналогічні показники закордонної техніки (наприклад в умовах важких чорноземів, важкого та середнього суглинку для Artiglio S 250-500 «Gaspardo» $k = 55 - 60$ %, Cenius 400/18 «AMAZONE» $k = 58 - 65$ % [8]).

Висновки.

1. З метою збереження родючості ґрунтів, уникнення їх обезструктурування та зниження витрат енергії на основний обробіток ґрунту доцільно проводити безвідвальне рихлення з допомогою універсальних глибокорозпушувачів.

2. Неадаптованість чизельних глибокорозпушувачів до ґрунтово-кліматичних умов України вимагає вдосконалення конструкції існуючих машин та розробки нових, які забезпечуватимуть покращення якості кришення ґрунту.

3. Розроблено конструкцію чизельної лапи із вертикальними та горизонтальними деформаторами, що у поєднанні із допоміжними робочими органами – зубчастими котками, дозволяє підвищити інтенсивність кришення ґрунту і частково заробляти рослинні рештки на певну глибину.

4. Експериментально встановлено область раціональних значень параметрів і режимів роботи комбінованого чизеля, при яких спостерігаються підвищення якісних показників роботи (коефіцієнт якості кришення ґрунту $k = 70 - 75\%$):

глибина обробки $h = 30 - 40$ см;

швидкість руху агрегату $V = 8 - 9$ км/год;

глибина встановлення крил $h_k = 22 - 26$ см;

відстань між робочими органами в ряду $b = 80 - 100$ см;

відстань між рядами робочих органів $l = 20 - 50$ см.

Список використаних джерел

1. *Лещенко С.М.* Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.
2. *Лещенко С.* Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия / С. Лещенко, В. Сало, А. Васильковский // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 16 - №2, Lublin – Rzeszów: Polish Academy of Sciences, 2014. – P. 195-201.
3. *Сало В.М.* Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві / Сало В.М., Богатирьов Д.В., Лещенко С.М., Савицький М.І. // Техніка і технології АПК. Науково-виробничий журнал. №10(61), 2014. – С 16 – 19.
4. *Гуков Я.С.* Обробіток ґрунту. Технологія і техніка / Я.С. Гуков – К.: Нора-

- Прінт, – 1999.– 280 с.
5. *Leschenko S.* Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil / Sergey Leschenko, Vasil Salo, Dmitry Petrenko. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2014. – Вип. 44 – С. 237-243.
 6. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін.; За ред. С. С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
 7. *Дейкун В.А.* Експериментальні дослідження рівномірності розподілу гранул мінеральних добрив по ширині захвату лапового робочого органа / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 27. – Кіровоград: КНТУ, 2014 р. – С. 135–140.
 8. *Бледных В.В.* Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий: Учебное пособие / В.В. Бледных – ЧГАА, Челябинск – 2010. – 214 с.

Аннотация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ЧИЗЕЛЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ И ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ДЕФОРМАТОРАМИ

Лещенко С.Н., Сало В.М., Петренко Д.И.

Обозначены возможности интенсификации процесса чизельной обработки почвы в сложных почвенно-климатических условиях Центральной Украины. Проведена экспериментальная проверка качества работы комбинированного чизеля с дополнительными деформаторами во время глубокого рыхления.

Abstract

EXPERIMENTAL PERFORMANCE EVALUATION CHISEL COMBINED WITH EXTRA HORIZONTAL AND VERTICAL WARP

S. Leschenko, V. Salo, D. Petrenko

Indicate a possible intensification of the process chisel tillage in difficult soil and climatic conditions in central Ukraine. An experimental verification of the performance combined chisel with additional deformers during deep loosening.