

УДК 163.311:63

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З АКТИВАТОРАМИ РОЗПУШУВАННЯ

Серий І. О., аспірант^{*},

Кушнар'єв А. С., д.т.н.,

Серий І. С., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-20-74, e-mail: tsapk@tsatu.edu.ua

Анотація – у статті за результатами багатофакторного експерименту отримані залежності факторів, що досліджуються від параметрів оптимізації, а також наведені відповідні поверхні відгуку. Визначені оптимальні параметри нового робочого органу з активаторами розпушення. Наведено аналіз порівняльних випробувань серійного та модернізованого робочого органу. Перевірена дійсність висунутої робочої гіпотези.

Ключові слова – безвідвальний обробіток ґрунту, якість обробітку, енерговитрати, активатори розпушення, багатофакторний експеримент.

Постановка проблеми. Сьогодні наука розглядає ґрунтову родючість як чинник регулювання. Регулювання це здійснюється за допомогою обробітку ґрунту різноманітними механічними знаряддями.

Структура ґрунту є чинником регулювання фізичних умов впливу її на рослини опосередкований, зворотнє справедливо для щільності, яка безпосередньо впливає на зростання та розвиток сільськогосподарських культур, що вирощуються.

Щільність ґрунту – це інтегральний показник його стану, що включає як умови розвитку ґрунтової біоти, так і умови розвитку кореневої системи культур, що вирощуються.

Мета обробітку ґрунту – хоча б на час вегетації змінити рівноважну щільність ґрунту, наблизивши її до значення оптимальної щільності для кожної з сільськогосподарських культур, що вирощуються.

В умовах інтенсивного землеробства на розораних та дегуміфікованих чорноземних ґрунтах рекомендується систематичне застосу-

© Серий І. О., Кушнар'єв А. С., Серий І. С.

^{*} Науковий керівник – к.т.н., доц. Кувачов В. П.

вання безвідвального обробітку ґрунту. Такий обробіток в порівнянні з відвальною оранкою здатен забезпечити збільшення кількості гумусу, особливо в орному шарі.

В ґрунтово-кліматичних умовах степової зони України найбільш раціональним та науково обґрунтованим є саме безвідвальний обробіток ґрунту. Але існуючі технології та робочі органи для виконання безвідвального обробітку не в повній мірі задовольняють агротехнічним вимогам.

За результатами попередніх досліджень найбільш перспективним напрямом вдосконалення безвідвальних робочих органів є застосування додаткових елементів, що кришать та розпушують ґрунт, підрізаючи смітну рослинність [1]. Чисельні дослідники пропонували додаткові елементи до серійних робочих органів, вони зазвичай виконували своє безпосереднє призначення, та покращували якість розпушення ґрунту.

Однак, вони збільшували тяговий опір, та як наслідок витрати паливо-мастильних матеріалів, а отже й загальну вартість обробітку ґрунту. Пояснюється це тим, що зазначені конструкції створюють у ґрунті деформації стиснення. Варто відзначити, що ґрунт має межу міцності у 3-10 разів нижчу при деформаціях розтягу та вигину, ніж при деформаціях стискання.

Таким чином маємо завдання розробки додаткових елементів відповідно до робочої гіпотези. Робоча гіпотеза: зниження енерговитрат та підвищення якості кришення ґрунту, а також формування необхідного структурного складу ґрунту можливо досягти шляхом створення робочим органом з додатковими елементами комбінованих деформацій розтягу, вигину та крутіння, замість деформацій стиснення, за рахунок сил інерції, через різницю прискорень на зубі та на лемеші.

Мета дослідження. На підставі багатофакторного експерименту отримати залежності параметрів оптимізації від факторів, що досліджуються. Перевірити адекватність отриманих рівнянь регресії, та отримати відповідні поверхні відгуку для параметрів оптимізації. Визначити оптимальні параметри нового робочого органу з активаторами розпушування. Провести аналіз порівняльних випробувань серійного та модернізованого робочого органу. Перевірити дійсність висунутої робочої гіпотези.

Викладення основного матеріалу. Відповідно до зазначеної гіпотези нами були розроблені робочі органи з різними формами поверхні активаторів-розпушувачів, передбачені також різні розміри розпушувачів та різні відстані між ними, фото представлено на рисунку 1.



Рис. 1. Робочі органи з різними формами поверхні активаторів-розпушувачів

З метою задоволення положень, викладених у робочій гіпотезі поверхні активаторів розпушування виконані криволінійними у вигляді частини квадратичної параболи. Причому у поверхнях активаторів закладені різні величини прискорень, які в подальшому будуть передані зрізаному лемешем шару ґрунту, що оброблюється. Розрахунок проводився у програмі Mathcad Prime 2.0, скріншот якої представлений на рисунку 2.

| | | | |
|--|-----------------------------------|----------------|---------------------------|
| $n_1 := 1$ | $h_1 := 3$ | $h_2 := 4$ | $h_3 := 5$ |
| $g := 9.82 \cdot 100 = 982$ | | | |
| $k_1 := n_1 \cdot g$ | | | |
| $v_x := \frac{7.2}{3.6} \cdot 100 = 200$ | $y(x) := \frac{k_1 x^2}{2 v_x^2}$ | | |
| $x := 0..25$ | $h := y$ | $B := 0..10.5$ | |
| | $H := x$ | $H_1 := 15.6$ | $H_2 := 18$ $H_3 := 20.2$ |

Рис. 2. Приклад розрахунку поверхні активатора розпушування у програмі Mathcad Prime 2.0

де n – задана величина прискорення;

g – прискорення вільного падіння м/с²;

k – інтенсивність впливу м/с²;

V – швидкість обробітку, м/с;

h – висота активатора мм;

H – довжина активатора, мм.

Після аналізу технологічного процесу обробітку ґрунту новим робочим органом із активаторами розпушування, визначено, що факторів, які впливають на оптимальні параметри процесу досить багато. Внаслідок чого, для отримання максимуму інформації прийнято рі-

шення щодо проведення багатofакторного експерименту. При плануванні багатofакторного експерименту враховувались наступні методи [2, 3].

Для планування багатofакторного експерименту необхідно визначитися з параметрами його оптимізації.

За перший параметр оптимізації багатofакторного експерименту прийнято тяговий опір експериментального робочого органу із активаторами розпушування R_x , кН (Y_{Rx}).

Ступінь кришення ґрунту при здійсненні обробітку ґрунту багато в чому визначає швидкість та одночасність проростання рослин, життєдіяльність ґрунтової мікрофлори та подальше функціонування системи «вода – ґрунт – рослина». Більшість важливих для зростання та розвитку рослин параметрів ґрунту безпосередньо залежать від ступеня кришення ґрунту. Ступінь кришення ґрунту k , % (Y_k), є одним з найбільш суттєвих показників при виконанні безвідвального обробітку ґрунту, внаслідок чого цей показник обраний за другий параметр оптимізації багатofакторного експерименту.

Також з метою більш глибокого дослідження якісних показників процесу обробітку ґрунту новим робочим органом із активаторами розпушування досліджувались ще два додаткових параметра оптимізації: брилистість B , % (Y_B) та пилюватість Π , % (Y_Π) ґрунту.

Базуючись на теоретичних положеннях та на дослідженнях ряду вчених, в якості варійованих факторів, що здійснюють найбільший вплив на параметри оптимізації, прийняті наступні конструктивні параметри робочого органу:

h – висота активаторів, мм (X_1);

n – задана величина прискорення поверхні активаторів (X_2);

B – відстань між активаторами, мм (X_3).

У ході проведення багатofакторного експерименту були отримані результати, які встановлюють залежності головних (тяговий опір робочого органу з активаторами розпушування Y_{Rx} , ступінь кришення ґрунту Y_k) та додаткових (брилистість Y_B та пилюватість Y_Π ґрунту) параметрів оптимізації від трьох чинників: висота активаторів X_1 , задана величина прискорення поверхні активаторів X_2 , відстань між активаторами X_3 .

Визначення залежностей головних та додаткових параметрів оптимізації від трьох означених чинників відбувалося з постійною швидкістю $V = 7,2$ км/год., глибину варіювали у межах мілкого $h_1 = 15$ см (а), та глибокого $h_2 = 30$ см (б) безвідвального обробітку ґрунту.

Експеримент проведено рандомізовано за часом, тобто в випадковій послідовності для виключення впливу систематичних помилок,

викликаних зовнішніми факторами. Досліди проводилися у чотири-кратній повторюваності, середнє значення обчислювалось та заносилось до таблиці 1.

На рисунку 3 наведено загальний вигляд експериментальної установки у складі з новим робочим органом із активаторами-розпушувачами.



Рис. 3. Загальний вигляд експериментального робочого органу з активаторами розпушування: 1 – плоскоріз КПГ – 2-150; 2 – експериментальний робочий орган; 3 – активатори розпушування; 4 – паралелограмний механізм; 5 – тензоланка

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

| № досліду | Кодовані позначення факторів | | | | Натуральні позначення факторів | | | Дійсне значення параметрів оптимізації | | | | | | | |
|-----------|------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-----|-----|--|----------|----------|----------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | | Глибина обробітку $h_1 - 15$ см (а) | | | | Глибина обробітку $h_2 - 30$ см (б) | | | |
| | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | h | n | b | Y_{Rx1} | Y_{k1} | Y_{b1} | $Y_{п1}$ | Y_{Rx2} | Y_{k2} | Y_{b2} | $Y_{п2}$ |
| 1 | +1 | +1 | +1 | 0 | 50 | 3 | 90 | 1440 | 88,6 | 11,4 | 36,3 | 1510 | 91,5 | 8,5 | 20,2 |
| 2 | +1 | +1 | -1 | 0 | 50 | 1 | 90 | 1560 | 93,3 | 6,7 | 34,7 | 1680 | 89,3 | 10,7 | 26 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | 0 | 30 | 3 | 90 | 1190 | 95,4 | 4,6 | 21,6 | 1350 | 93,8 | 6,2 | 26,9 |
| 4 | +1 | -1 | -1 | 0 | 30 | 1 | 90 | 1290 | 90,6 | 9,4 | 7,5 | 1340 | 77,3 | 22,7 | 27,3 |
| 5 | +1 | 0 | 0 | 0 | 40 | 2 | 90 | 1300 | 90 | 10 | 27,3 | 1400 | 90,4 | 9,6 | 22,8 |
| 6 | +1 | +1 | 0 | +1 | 50 | 2 | 105 | 1270 | 78,4 | 21,6 | 3,8 | 1330 | 84,4 | 15,6 | 26 |
| 7 | +1 | +1 | 0 | -1 | 50 | 2 | 75 | 1100 | 95,7 | 4,3 | 18,3 | 1370 | 87,7 | 12,3 | 1,7 |
| 8 | +1 | -1 | 0 | +1 | 30 | 2 | 105 | 850 | 83,1 | 16,9 | 39,2 | 930 | 78,8 | 21,2 | 17,6 |
| 9 | +1 | -1 | 0 | -1 | 30 | 2 | 75 | 1450 | 88,7 | 11,3 | 33,3 | 1540 | 93,6 | 6,4 | 35,8 |
| 10 | +1 | 0 | 0 | 0 | 40 | 2 | 90 | 1300 | 90 | 10 | 27,3 | 1400 | 90,4 | 9,6 | 22,8 |
| 11 | +1 | 0 | +1 | +1 | 40 | 3 | 105 | 1260 | 91,8 | 8,2 | 42,6 | 1290 | 87,7 | 12,3 | 32,9 |
| 12 | +1 | 0 | +1 | -1 | 40 | 3 | 75 | 1170 | 96,4 | 3,6 | 46,7 | 1245 | 95,2 | 4,8 | 15,2 |
| 13 | +1 | 0 | -1 | +1 | 40 | 1 | 105 | 1050 | 93,5 | 6,5 | 15,3 | 1190 | 80,2 | 19,8 | 5,10 |
| 14 | +1 | 0 | -1 | -1 | 40 | 1 | 75 | 1310 | 90,7 | 9,3 | 35,6 | 1400 | 96,5 | 3,5 | 17,6 |
| 15 | +1 | 0 | 0 | 0 | 40 | 2 | 90 | 1300 | 90 | 10 | 27,3 | 1400 | 90,4 | 9,6 | 22,8 |

Коефіцієнти регресії для двох головних та двох додаткових параметрів оптимізації були обчислені у програмі Statistica 10. В зазначеній програмі коефіцієнти регресії були перевірені за критерієм Стьюдента, а рівняння – за критерієм Фішера [4]. Коефіцієнти регресії, в яких статистична ймовірність p (рівень значущості або вірогідність помилки) для факторів, а також для їх взаємодій більше обраного рівня значущості, є статистично незначущими, та як наслідок, з рівнянь вилучені [4]. Перевірка адекватності отриманих регресійних моделей за допомогою F-критерію Фішера виявила, що всі отримані моделі адекватні.

На підставі регресійного аналізу для параметру оптимізації Y_k (рис. 3 а, б) можна скласти наступні рівняння регресії у канонічному вигляді, вони описують залежність якості кришення ґрунту від факторів

$$\text{а) } Y_k = 90,52 - 3,09 \cdot X_3 - 2,38 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,93 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,16 \cdot X_1^2 - 2,15 \cdot X_2^2. \quad (1)$$

Із рівняння 1 вилучені наступні коефіцієнти регресії: b_1 , b_2 , b_{13} , b_{33} так як за результатами регресійного аналізу вони виявились статистично незначущими

$$\text{б) } Y_k = 88,00 + 3,11 \cdot X_2 + 5,24 \cdot X_3 - 3,58 \cdot X_1 \cdot X_2 + 2,88 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2,20 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,55 \cdot X_1^2. \quad (2)$$

За результатами розрахунків рівнянь регресії будемо поверхні відгуку параметру оптимізації Y_k від факторів (рис. 4-6).

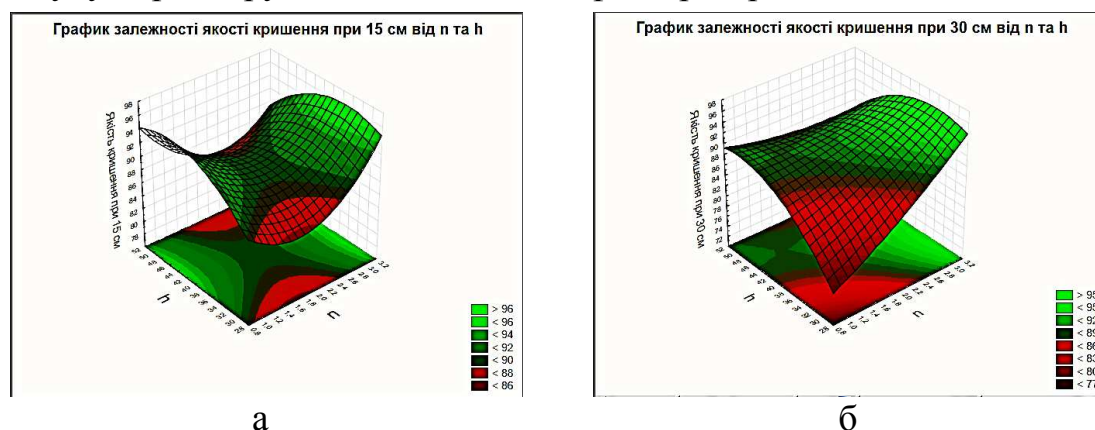


Рис. 4. Поверхні відгуку параметру оптимізації Y_k (%) від факторів X_1 (висота активаторів h , мм) та X_2 (задана величина прискорення поверхні активаторів n)

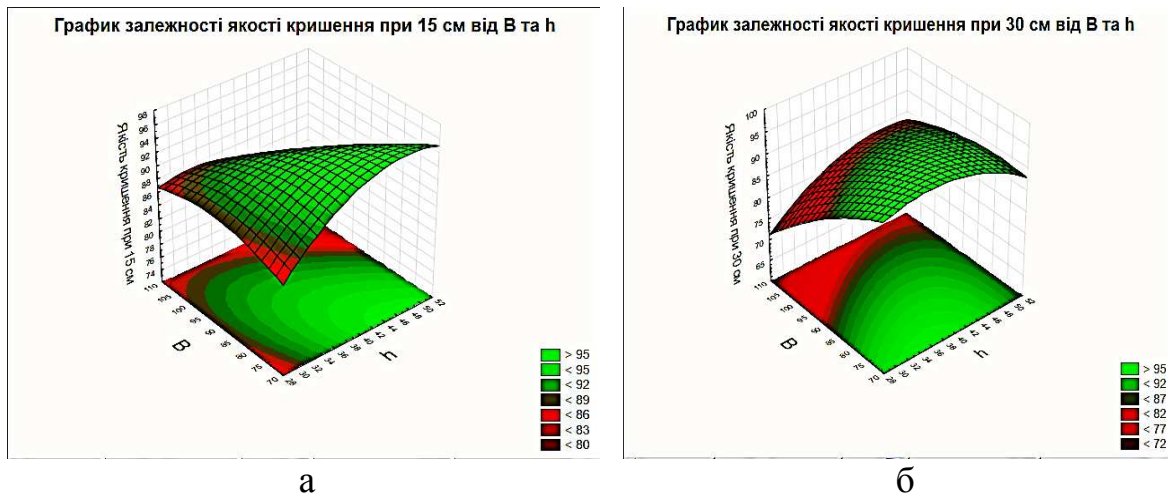


Рис. 5. Поверхні відгуку параметра оптимізації Y_k (%) від факторів X_1 (висота активаторів h , мм) та X_3 (відстань між активаторами V , мм)

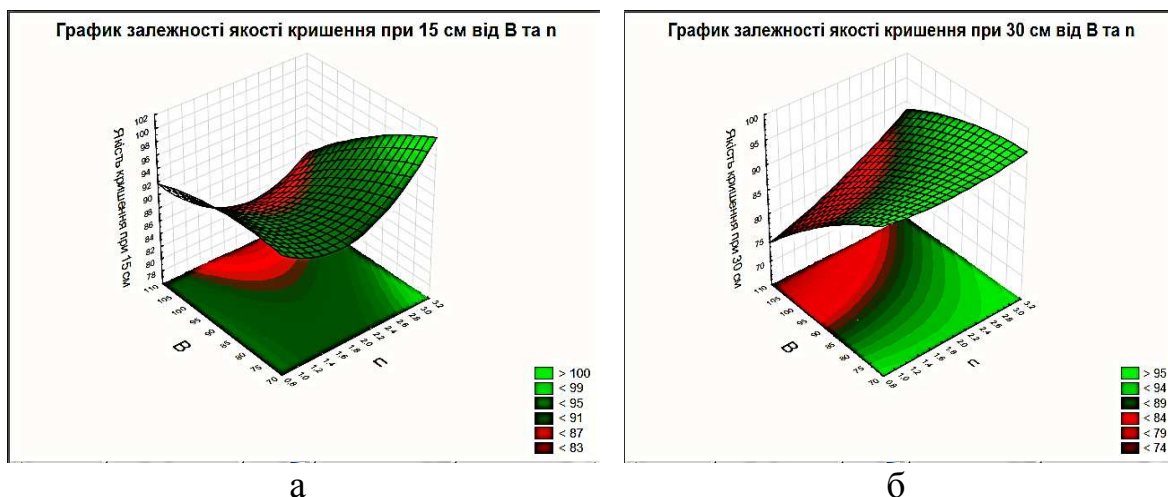


Рис. 6. Поверхні відгуку параметра оптимізації Y_k (%) від факторів X_2 (задана величина прискорення поверхні активаторів n) та X_3 (відстань між активаторами V , мм)

Аналогічні розрахунки були проведені для всіх параметрів оптимізації, отримані результати в повному обсязі представлені в дисертаційній роботі.

Далі проводили оптимізацію факторів за критерієм Y_{Rxa} – тобто за тяговим опором робочого органу при здійсненні м'якого безвідвального обробітку на глибину 15 см. Для цього необхідно диференціювати відповідне рівняння регресії за кожною із змінних та прирівняти похідні нулю. Далі знаходимо координати центру відгуку: в кодованих значеннях $X_1=-0,80$; $X_2=0,10$; $X_3=0,90$, що відповідає в дійсних значеннях: $h=32$ мм; $n=2,1$; $V=103,45$ мм. Отримані значення округлюємо до найближчих існуючих у матеріальному вигляді параметрів ак-

тиваторів розпушування, тобто $h=30$ мм; $n=2$; $B=105$ мм – ці значення і є оптимальними у випадку що розглядається.

Знайдені значення підставляємо у вихідне рівняння 3 та знаходимо значення параметра в центрі поверхні відгуку. Значення оптимальної величини тягового опору робочого органу при мілкому безвідвальну обробітку ґрунту дорівнює $Y_{Rxa}=850$ Н.

$$Y_{Rxa} = 1245 + 73,75 \cdot X_1 - 75 \cdot X_3 + 192,50 \cdot X_2 \cdot X_3 + 87,50 \cdot X_1 \cdot X_3 + 20 \cdot X_1^2 + 50 \cdot X_2^2 - 152,50 \cdot X_3^2. \quad (3)$$

Аналогічні обчислення проведені для параметрів: Y_{Rxb} при глибокому безвідвальному обробітку ґрунту, а також для $Y_{ka,b}$ при мілкому та глибокому безвідвальному обробітку ґрунту.

За критерієм тяговий опір R_x маємо однакові оптимальні параметри робочого органу при виконанні мілкого та глибокого безвідвального обробітку ґрунту: $h=30$ мм; $n=2$; $B=105$ мм. А у випадку якості кришення k оптимальні параметри робочого органу для виконання мілкого та глибокого безвідвального обробітку ґрунту відрізняються за фактором n (задана величина прискорення поверхні активаторів), таким чином маємо: $h=40$ мм; $n=2$ (а) чи 3(б) відповідно; $B=75$ мм.

Серійний та оптимальний варіанти модернізованого робочого органу порівнювались за наступними показниками: тяговий опір; якість обробітку ґрунту – ступінь кришення, брилистість та пилюватість ґрунту; збереження стерні при виконанні обробітку стерньових фонів; підрізання бур'янів – на глибині обробітку, та на глибині проходження активаторів; висота гребенів; продуктивність, витрати палива, розриви між суміжними проходами знарядь, приховані огріхи та необроблені смуги. Розраховано економічний ефект від використання оптимального варіанту нового робочого органу з активатором розпушування. Отримані результати приведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльні показники обробітку ґрунту серійним та оптимальним варіантами модернізованого робочого органу

| Показники | Мілкий обробіток 15 см | | | Глибокий обробіток 30 см | | |
|----------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|------------------|
| | Серійний | Модернізований (оптимальний) | Зміна показників | Серійний | Модернізований (оптимальний) | Зміна показників |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Тяговий опір, R_x , Н | 980 | 850 | -145 | 1190 | 930 | -284,5 |
| Висота гребенів, B , см | 2,5 | 3,5 | +1 | 3,9 | 5 | +1,1 |
| Ступінь кришення ґрунту, k , % | 71,3 | 96,4 | +25,1 | 80,5 | 97,1 | +16,6 |

Продовж. табл. 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Брилистість ґрунту, Б, % | 28,7 | 3,6 | -25,1 | 19,5 | 2,9 | -16,6 |
| Пилуватість ґрунту, П, % | 15,2 | 5,3 | -9,9 | 9,7 | 3,3 | -6,4 |
| Ступінь збереження стерні, С, % | 85 | 85,3 | -1,7 | 85 | 91 | +6 |
| Підрізання смітної рослинності, % | | | | | | |
| На всій глибині обробітку ґрунту | 90 | 96,7 | +6,7 | 90 | 95,8 | +5,8 |
| На глибині ходу розпушувачів | – | 96 | +96 | – | 94,6 | +94,6 |
| Продуктивність, га/год | 6,3 | 6,1 | +0,2 | 6,2 | 6 | +0,2 |
| Витрати палива, л/га | 12,4 | 13,7 | +1,3 | 13,1 | 14,8 | +1,7 |
| Економічний ефект, грн/га | – | 26,13 | +26,13 | – | 34,54 | +34,54 |
| Приховані огріхи та необроблені смуги | Відсутні | Відсутні | Відсутні | Відсутні | Відсутні | Відсутні |

Висновки. Експериментальні випробування, проведені на підставі багатофакторного експерименту, підтвердили положення робочої гіпотези. При виконанні обробітку ґрунту оптимальним варіантом модернізованого робочого органу отримано у порівнянні з серійним робочим органом:

1. Значне зниження тягового опору – з 980 до 850 Н, що складає майже 15% при виконанні мілкового безвідвального обробітку, та з 1190 до 930 Н, що складає майже 24% при виконанні глибокого безвідвального обробітку ґрунту.

2. Показники якості розпушення ґрунту при виконанні мілкового обробітку у серійного – 71,3%, у модернізованого – 96,4%, тобто на 25,1% краще. У разі глибокого обробітку ґрунту: у серійного – 80,5%, у модернізованого – 97,1%, тобто на 16,6% краще.

3. Аналогічна ситуація з показниками брилистості та пилуватості ґрунту, маємо більш кращі показники у модернізованого робочого органу – на 25,1% та 16,6% у разі мілкового обробітку; на 6,4% та 9,9% у разі глибокого обробітку ґрунту.

4. За результатами техніко-економічного аналізу ефективності використання нового робочого органу з активаторами-розпушувачами отримано:

а) У разі мілкового безвідвального обробітку ґрунту за рахунок збільшення експлуатаційної продуктивності МТА з новим робочим органом з 6,1 га/год до 6,3 га/год, та зменшенню витрат палива з 13,7 л/га до 12,4 л/га отримано економічний ефект у 26,13 грн/га на кожному гектарі оброблюваної площі.

б) У разі глибокого безвідвального обробітку ґрунту за рахунок

збільшення експлуатаційної продуктивності МТА з новим робочим органом з 6 га/год до 6,2 га/год та зменшенню витрат палива з 14,8 л/га до 13,1 л/га, отримано економічний ефект у 34,54 грн/га на кожному гектарі оброблюваної площі.

Література

1. Серий І. О. Передумови основної обробки ґрунту шляхом створення деформацій розтягування-вигину та зсуву / І. О. Серий, В. П. Кувачов // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Херсон, 2016. – №4 (274). – С. 171-182.

2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента / Ю. П. Адлер, Е. В. Макарова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1886. – 254 с.

3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов опыта и исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. з англ. – М.: Мир, 1981. – 371 с.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С АКТИВАТОРОМ РЫХЛЕНИЯ

Серый И. А., Кушнарев А. С., Серый И. С.

Аннотация – в статье по результатам многофакторного эксперимента получены зависимости факторов, которые исследуются по параметрам оптимизации, а также приведены соответствующие поверхности отклика. Определены оптимальные параметры нового рабочего органа по активаторам рыхления. Приведен анализ сравнительных испытаний серийного и модернизированного рабочего органа. Проверена действительность выдвинутой рабочей гипотезы.

RATIONALE OF CONSTRUCTION PARAMETERS A NEW WORKING FACTOR WITH MILK ACTIVATOR

I. Seryi, A. Kushnarev, I. Seryi

Summary

In the article, based on the results of the multifactorial experiment, we obtain dependences of factors that are investigated by optimization parameters, as well as the corresponding response surfaces. The optimal parameters of the new working body for loosening activators are determined. The analysis of comparative tests of a serial and upgraded working organ is given. The validity of the proposed work hypothesis is checked.