

УДК 631.31

В.І. Ветохін, канд. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

П.О. Кутя, канд. техн. наук

ТОВ «КВС-Україна»

Проектування та результати випробувань робочого органу для глибокого розпушення міжрядь цукрових буряків

У статті запропонована загальна методика проектування безполицевих ґрунтообробних робочих органів. Проаналізовані недоліки відомого робочого органу знаряддя для глибокого розпушення міжрядь цукрових буряків. Визначені теоретичні основи та описано проектування нового робочого органу. Наведено данні порівняльних польових досліджень показників роботи знарядь, у тому числі з визначенням врожайності культури.

міжрядне глибоке розпушення ґрунту, методика, проектування робочого органу, властивості ґрунту, якість процесу, експериментальна перевірка

Постановка проблеми. Проблема збереження ресурсів в аграрному виробництві в наш час має особливу актуальність. Цю проблему можливо вирішувати підвищенням продуктивності при одночасному зниженні витрат. Відомо, що при вирощуванні просапних культур, зокрема цукрових буряків, здійснюється ряд технологічних операцій, від якості кожної з яких залежить кінцевий результат. Так, наприклад, установлено, що міжрядне глибоке розпушування посівів цукрових буряків у комплексі вегетаційного догляду істотно підвищує продуктивність поля. Однак існуючі робочі органи не повною мірою забезпечують якісні показники технологічного процесу. Проектування більш досконалих робочих органів у загальному випадку вимагає наявності методики проектування й теоретичної бази, заснованих на більш повному врахуванні властивостей ґрунту, що проявляються в процесі його обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі методики проектування детально розроблені в основному для робочих органів полицевого типу [1, 2]. Використовувати їх стосовно до специфіки агротехнічних вимог міжрядного розпушування неможливо. Поряд із цим, застосований для міжрядного глибокого розпушування посівів цукрових буряків, робочий орган типу стандартної «долотоподібної лапи» [3], має ряд істотних недоліків, обумовлених недосконалістю його форми, а саме [4]:

- має критичну глибину (нижче якої спостерігається ущільнення ґрунту – щільноутворення) менше необхідної глибини розпушення;
- недостатній об'єм розпушеної зони ґрунту (як наслідок вищевказаного недоліку);
- виносить на поверхню поля ґрунт із нижніх шарів;
- має недостатню заглиблюючу здатність і, як наслідок, недостатню по величині й стабільності глибину ходу.

Ціль статті (постановка завдання). Ціль дослідження – запропонувати загальну методику проектування, придатну до розробки знарядь безвідвального типу,

вишукати теоретичні основи відносно до специфіки робочого органу для глибокого розпушення міжрядь цукрових буряків, розробити й випробувати новий робочий орган.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проектування й впровадження в практику нових робочих органів і знарядь для розпушення ґрунту пропонується здійснювати по розробленій нами методиці в наступному порядку:

- Науковий аналіз проблеми й пошук шляхів її вирішення.
- Розробка технічної, технологічної або агротехнічної інновації (розробка ідеї).
- Розробка ескізного проекту експериментальних зразків комплексу знарядь (одиночного робочого органу або знаряддя) для механізації технологічного процесу або одиночної технологічної операції.
- Проведення необхідних досліджень для конкретизації значень необхідних параметрів.
- Проектування, конструювання, проведення необхідних досліджень для перевірки нових кінцевих рішень.
- Підготовка виробництва, виробництво й маркетинг нових робочих органів і моделей знарядь.
- Науковий аналіз практичного досвіду, наукових розробок і формулювання проблеми на новому етапі розвитку техніки та технології.

Аналіз всіх перерахованих етапів і аспектів проектування та виробництва виходить за межі даної статті. Далі наводимо результати робіт перших п'яти етапів.

Проведені нами дослідження показали, що робочі органи по відмінностях у фізиці процесу діляться на долотоподібні й ножовидні [5]. Узагальнення результатів досліджень показують, що для глибокого розпушення ґрунту раціональне застосування робочих органів долотоподібного типу. Долотоподібні робочі органи розпушують шар ґрунту в основному деформаціями зрушення з розтяганням. Даний висновок прийнятний при певних параметрах робочого органа та ґрунтових умов [6]. Істотною перевагою долотоподібних знарядь є наявність у механіці їхньої взаємодії із ґрунтом механізму авторегулювання форми робочої поверхні, що знижує енерговитрати, ущільнення й розпилення ґрунту [7].

Конструктивно робочі органи складаються зі стояка й розпушуючого елемента. Істотним параметром таких знарядь, що визначають механікові процесу взаємодії із ґрунтом, є відносна робоча ширина розпушуючого елемента b .

У загальному випадку:

$$b = (0,15 \div 0,25) H_{\text{макс}},$$

де $H_{\text{макс}}$ – максимальна глибина обробки.

Специфікою робочого процесу долотоподібних знарядь є наявність так званої критичної глибини $H_{\text{кр}}$ [8]. Нижче такої глибини замість розпушення (стружкоутворення) спостерігається щільноутворення з ущільненням ґрунту в стінки борозни й підвищенням енерговитрат. Чисельне значення критичної глибини $H_{\text{кр}}$ визначається властивостями ґрунту, значенням параметрів його стану й параметрами робочого органа, зокрема значенням робочої ширини b . Вищевикладені недоліки роботи стандартної долотоподібної лапи обумовлені недосконалістю її форми й значенням параметра $b < 0,15 H_{\text{макс}}$.

Важливі обмеження, що накладаються агротехнічними вимогами - відсутність виносу на поверхню поля ґрунту з нижніх шарів і обмеження ширини зони розпушування при заданій максимальній глибині обробки.

За умови задоволення таким вимогам спроектована форма стояка робочого органа (рис. 1). Робочий орган з такою формою стояка може застосовуватися також як щільноутворювач, зокрема у складі орієнтаторів просапних машин [9]. У цьому

випадку розпушуючий елемент, як частина конструкції, відсутній. При цьому забезпечується мінімальне значення критичної глибини $H_{кр}$, що є найважливішим параметром роботи щілиноутворювача орієнтаторів просапних машин.

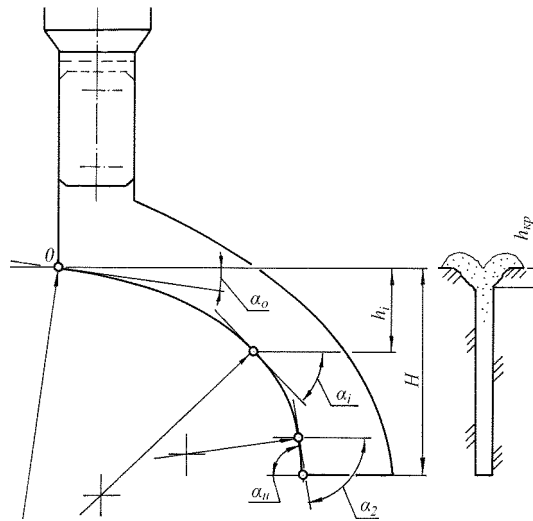


Рисунок 1 – Схема побудови форми профілю стояка робочого органа [9]

Кут нахилу передньої крайки стояка робочого органа в кожній її точці визначається залежністю

$$\alpha_i = \alpha_o + k h_i,$$

де α_o – кут нахилу до горизонталі передньої крайки стійки у верхній точці робочої частини стояка;

k – коефіцієнт пропорційності, що дорівнює $k = (\alpha_n - \alpha_o) / H_p$,

H_p – висота робочої частини стояка (орієнтовно дорівнює максимальній глибині розпушування ґрунту H_{max});

h_i – значення висоти i -ої точки передньої точки профілю стояка щодо верхньої точки його робочої частини.

Наступний етап роботи – проектування розпушуючого елемента. В результаті наших досліджень сформульований формогенний принцип (від слів форма й генезис – утворення) утворення форми робочих поверхонь розпушувачів ґрунту. А саме: для деформації й розпушення ґрунту низькоенергомісткими деформаціями зрушення з розтяганням кривизна робочої поверхні повинна безперервно зменшуватися від переднього до заднього обрізу. Як база проектування можуть бути використані форми з періодичної таблиці форм робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь, що відповідають формогенному принципу (рис. 2) [10, 11].

Використання формогенного принципу та періодичної таблиці форм робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь передбачає попередній вибір форми й параметрів переднього обріза поверхні розпушуючого елемента (рис. 3) [12].

Для збереження необхідної величини захисної зони рядка цукрових буряків необхідна мінімізація ширини зони B розпушення ґрунту при максимальній глибині розпушення до 20 см. Зменшення ширини зони розпушення B пов'язане з обмеженням зони поширення деформацій на початковому етапі проникнення деформатора в шар ґрунту, тобто під дією передньої частини робочої поверхні.

- по-перше, як концентратори напруг, що визначають напрямки зародження тріщин бічного відколу;
- по-друге, як площадок, що створюють на шар тиск певного напрямку;
- по-третє, як поверхні екрануючої дії опозитно розташованої ділянки робочої поверхні (див. рис. 3).

Відомо, що у загальному випадку кут нахилу до горизонталі стінки борозни лежить у межах: $\theta = \pi/4 \pm \varphi/2$, де φ – кут внутрішнього тертя ґрунту. При сполученні параметрів - $\omega > \pi/2$, $Q > \pi/4$, (стілки борозни розташовані під кутом $\theta < \pi/4$), домінуючою буде орієнтація бічних ділянок як концентраторів напруг (рис. 3, а). При сполученні параметрів - $\omega < \pi/2$, $Q < \pi/4$ і $\theta > \pi/4$, імовірно защемлення шару ґрунту між робочою поверхнею й монолітом, а також між бічними ділянками робочої поверхні. Отже, мінімальне значення кута $\theta < \pi/4$ визначиться нахилом опозитно розташованих бічних ділянок робочої поверхні, при якому зменшується ймовірність защемлення шару ґрунту (рис. 3, б). При сполученні параметрів - $\omega = \pi/2$, $Q = \pi/4$, дія трьох перерахованих вище факторів узгоджується при $\theta = \pi/4$ (рис. 3, в). Отже, поставлене умова мінімізації ширини зони розпушування B задовольняється при куті охоплення шару ґрунту рівному: $\omega = \pi/2$ [12].

Після обґрунтування форми й параметрів переднього обрізу розпушуючого елемента проектуємо його форму по запропонованій раніше методиці (рис. 4) [13].

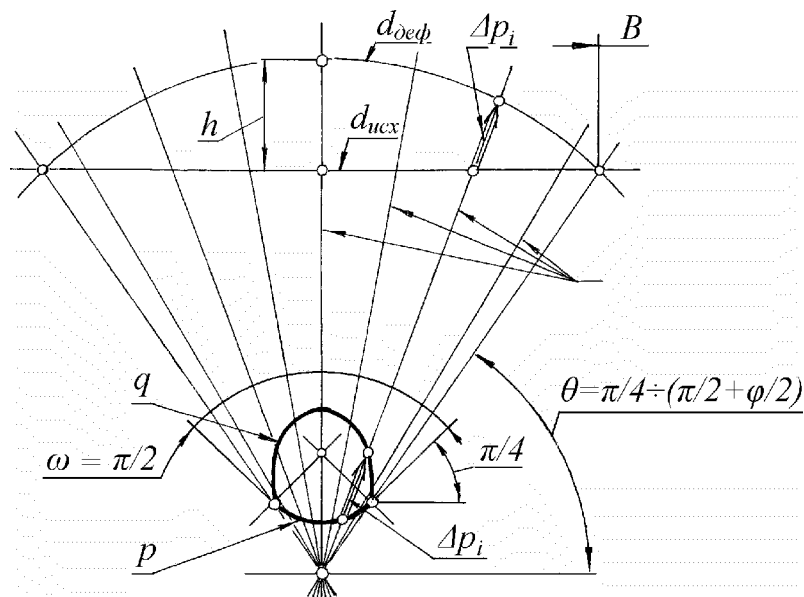
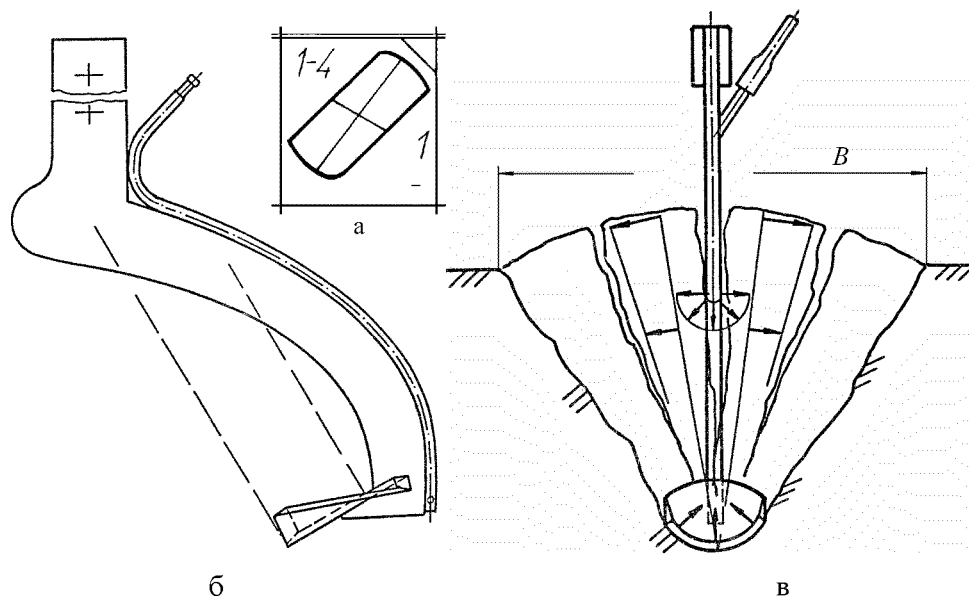


Рисунок 4 – Схема побудови форми заднього обрізу q робочої поверхні в залежності від деформації Δp деформованої поверхні шару ґрунту $d_{исх}$ - $d_{деф}$ та форми переднього обрізу робочої поверхні p [13]

Відповідно до формогенного принципу форма поперечного перерізу робочої поверхні від початково увігнутої (на передньому обрізі) змінюється до менш увігнутої, прямолінійної або опуклої (на задньому обрізі). У періодичній таблиці форм робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь, даній закономірності відповідають форми в чарунках від 1-1 до 4-6 (див. рис. 2). Виходячи з даних проектування, форма заднього обрізу робочої поверхні отримана опуклої (див. рис. 4). Ці дані, при прямолінійному поздовжньому профілю, приводять до вибору форми з чарунки 1-4. Більше ефективною

в роботі буде поверхня з чарунки 1-1, форма поперечного й поздовжнього перетинів якої змінюється від увігнутої до опуклої форми.

Сукупність форм і технічних рішень, викладених вище, реалізована в технічному рішенні по патенту України № 295 (рис. 5) [14].



а – чарунки 1-4 періодичної таблиці форм робочих поверхонь; б – вид збоку на робочий орган; в – поперечний перетин шару ґрунту, де B – ширина розпушеної смуги ґрунту

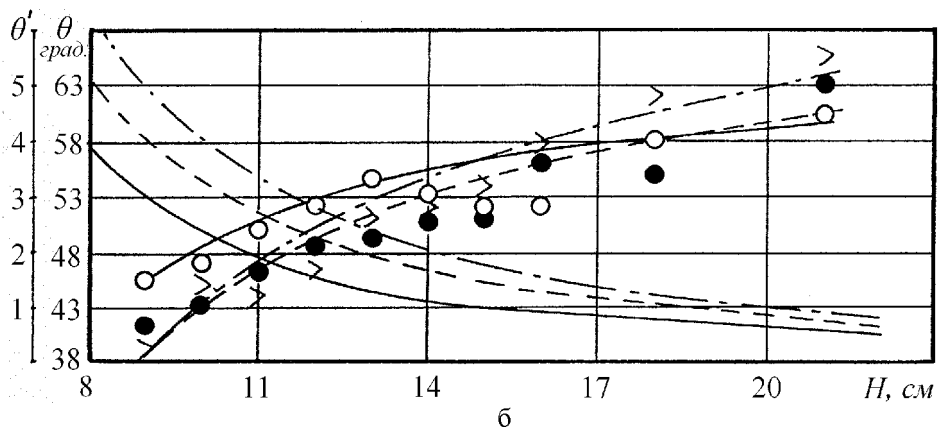
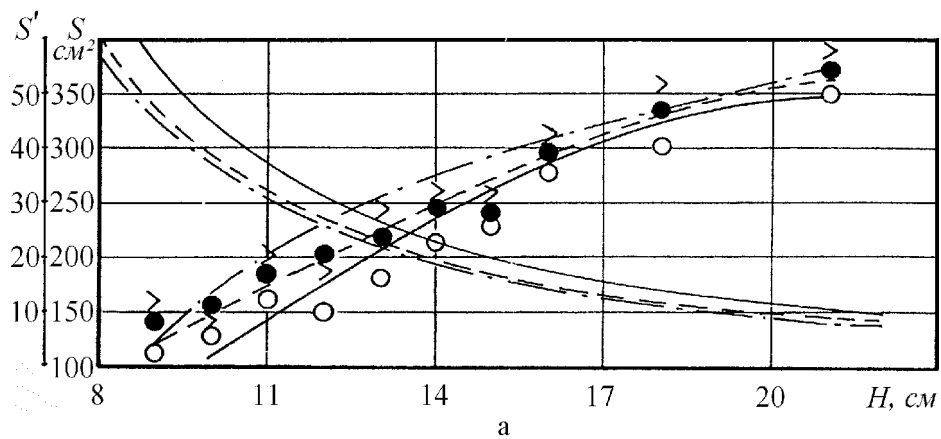
Рисунок 5 – Схема робочого органу для розпушення міжрядь просапних культур по патенту UA 295 [14]

Партія нових робочих органів для розпушення міжрядь просапних культур по патенту України № 295 була виготовлена та пройшла порівняльні експериментальні дослідження в складі культиватора УКРП-5,4 на полях Рівненської області [4].

Попередньо були проведені експериментальні дослідження по вибору деяких параметрів робочого органу, результати якого опубліковані [15, 16].

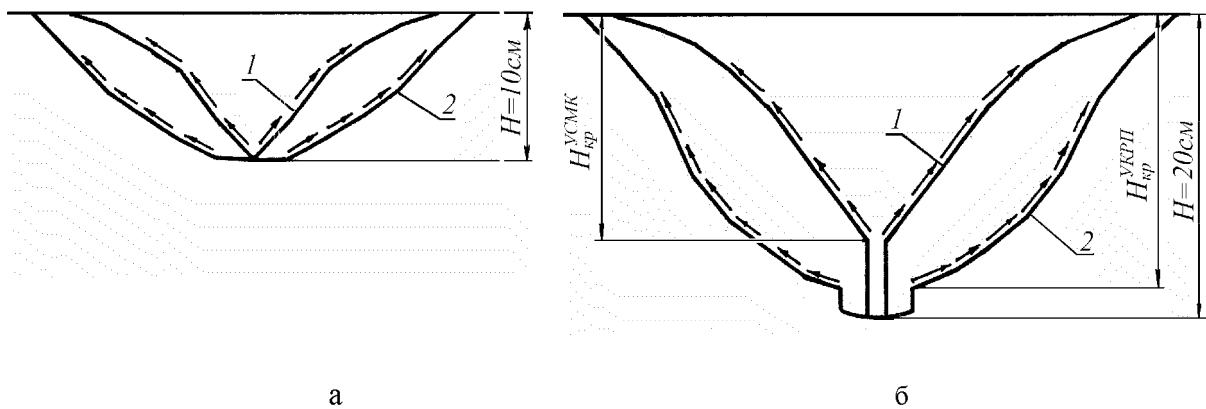
Попередні дослідження також стосувались отримання даних стосовно дії розрихлюючого елемента в залежності від форми переднього обрізу робочої поверхні. Теоретичні дані свідчать про прийнятність ввігнутої форми переднього обрізу робочої поверхні. Така форма порівнювалась з прямою та опуклою формами. Отримані експериментальні дані свідчать, що умовам міжрядного розпушення з обмеженням ширини смуги розпушеного ґрунту (що досягається обмеженням кута бічного сколювання ґрунту θ), та необхідністю збільшення об'єму розпушеного ґрунту, відповідає робочий орган саме при ввігнутій формі переднього обрізу робочої поверхні (рис. 6).

Експерименти показали, що параметри та форма стандартної долотоподібної лапи спричиняють до щілиноутворювання у ґрунті при роботі глибше ніж 12–15 см, тобто об'єм розпушеного ґрунту не зростає при рості енерговитрат. Значення критичної глибини $H_{кр}^{УСМК}$ нового робочого органу значно більше значення критичної глибини $H_{кр}^{УКРП}$ стандартної долотоподібної лапи культиватора УКРП (рис. 7, 8, табл.).



———— - ввігнута форма; ———— - пряма форма; — · — · — · — - опукла форма

Рисунок 6 – Експериментальні залежності впливу форми переднього обрізу робочої поверхні на значення площі поперечного перетину S розпушеного шару ґрунту (а) та кута бічного сколювання ґрунту θ (б) у залежності від глибини рихлення H [4]



а – глибини розпушення $H = 10$ см; б - глибини розпушення $H = 20$ см;

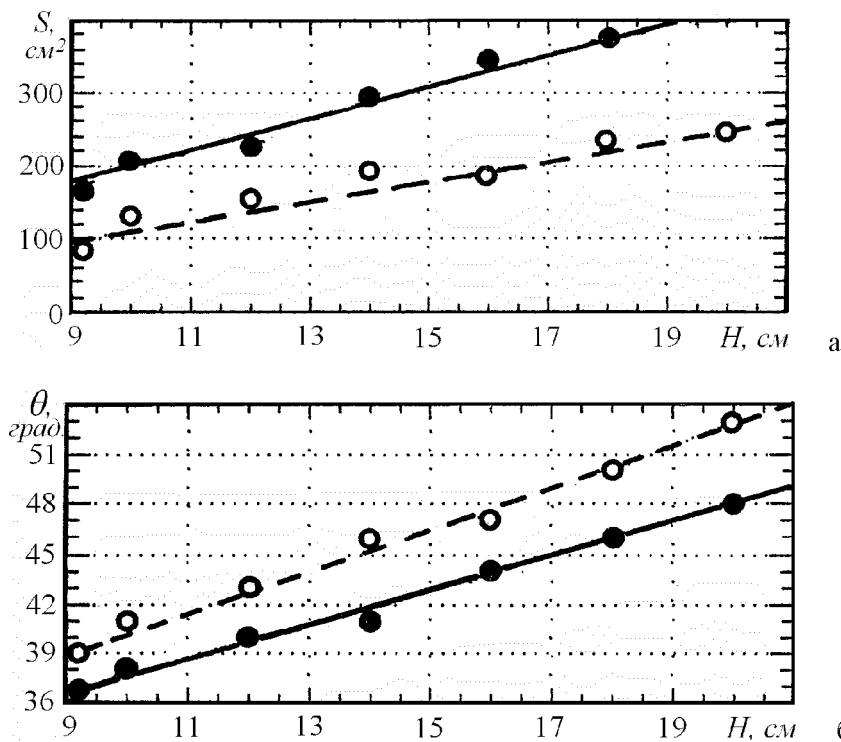
1 – базовий робочий орган культиватора УСМК-5,4В;

2 – новий робочий орган на культиваторі УКРП-5,4;

$H_{кр}^{УКРП}$ - критична глибина роботи нового робочого органу культиватора УКРП;

$H_{кр}^{УСМК}$ - критична глибина роботи базового робочого органу культиватора УСМК

Рисунок 7 – Вигляд поперечного перетину розпушеного шару ґрунту в залежності від типу робочого органа та глибини розпушення H [4]



● - новий робочий орган на культиваторі УКРП-5,4; ○ - робочий орган культиватора УСМК-5,4В
Рисунок 8 – Експериментальні залежності впливу глибини рихлення H на значення площі поперечного перетину S розрихленого шару ґрунту (а) та кута бічного сколювання ґрунту θ (б) в залежності від типу робочого органу [4]

Таблиця – Показники роботи культиваторів при глибокому розпушенні ґрунту в міжряддях цукрових буряків

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Марка культиватора			
			УСМК-5,4У	КОЗР-5, 4-0,2	КМС-5,4	УКРП-5,4*
1.	Глибина розпушення установочна	см	15,0	15,0	15,0	15,0
2.	Глибина розпушення фактична	см	13,2	12,5	9,5	14,9
3.	Середнє квадратичне відхилення глибини розпушення	см	2,3	2,2	1,8	2,1
4.	Площа поперечного перерізу зони деформації ґрунту	см ²	194	268	175	343
5.	Якість кришення, кількість фракції по масі:	%				
	- до 10 мм:					
	- від 10 до 50 мм					
	- від 25 до 50 мм					
	- більше 50 мм					
6.	Врожайність (НСР _{0,05} – 2,39 т/га)	т/га	42,6	43,2	39,6	47,3

* - нові робочі органи

Отримані дані свідчать про високу якість виконання технологічного процесу новими робочими органами (див. табл.). Встановлено, що площа поперечного перетину зони деформації ґрунту новими робочими органами перевищує в 1,7 рази цей показник для серійного культиватора УСМК-5,4В, при кращій якості кришення шару та утворенням до 52,3% агротехнічно корисних часток розміром до 10 мм, замість 33,7% у базовому варіанті, з одночасним зменшенням у 1,9 рази долі грудок розміром більш ніж 50 мм.

Дані, наведені в таблиці, свідчать, що новий робочий орган забезпечує утворення зони розпушення більшого розміру, а саме площею 342,5 см², порівняно з показником 194,4 см² у серійного культиватора. Цей факт у сукупності зі значно кращою якістю кришення ґрунту призвів до суттєвого підвищення врожайності цукрових буряків.

Дані дослідів по врожайності були піддані однофакторному дисперсному аналізу по повній схемі з повтореннями та ранговому аналізу методом довірчих інтервалів на 5% рівня значущості. Проведений аналіз показав, що існує достеменно різниця у врожайності цукрових буряків на ділянках, де працювали порівнювані культиватори. Так, найвища врожайність цукрових буряків була досягнута на ділянках, де працював культиватор з новими робочими органами – 47,3 т/га ($HCP_{0,05} = 2,39$ т/га, фактичне значення критерію Фішера $F_{\phi} = 15,44$).

Висновки і перспективи подальших розвідок.

Проведені дослідження підтвердили адекватність запропонованої загальної методики, але необхідно зазначити, що проектування нових робочих органів ґрунтообробних знарядь є творчим та досить специфічним процесом. Використання формогенного принципу побудови форм робочих поверхонь та періодичної таблиці форм робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь у сукупності з напрацьованою теоретичною базою скорочує та належним чином спрямовує цей процес.

Отримані експериментальні дані свідчать, що більш ефективне кришення ґрунту розробленими новими робочими органами при сталому виконанні технологічного процесу, без перемішування слоїв ґрунту, покращує фізико-механічний стан ґрунту на протязі усього вегетаційного періоду та умови розвитку рослин. Ці фактори у результаті призводять до підвищення питомої продуктивності цукрових буряків.

Наступні дослідження варто спрямувати на деталізацію запропонованої загальної методики та насичення її теоретичною базою.

Список літератури

1. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: підруч. студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладн. с.-г. вир-ва» / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропивний; За ред. М.І. Черновола. – Кн.1: Машини для рільництва. - К.: Урожай, 2001. – 384 с.
2. Синееков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н.Синеков, И.М.Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
3. Свекловодство: Проблемы интенсификации и ресурсосбережения / В.Ф. Зубенко, А.А. Ивашенко, В.Т. Саблук, А.С. Заришняк и С.П. Цвей; Под ред. акад. УААН и РАСХН В.Ф. Зубенко. – Обухов: НПП ООО «Альфа-стевия ЛТД», 2005. - 400 с.
4. Кутя П.А. Обоснование параметров процесса и разработка рабочих органов для глубокого рыхления почвы в междурядьях сахарной свеклы: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / П.А. Кутя. – К.: ВНИС, 1993. - 184 с.
5. Ветехин В.И. Систематизация рабочих органов для рыхления почвы на основе физики процесса / В.И. Ветехин // Техніка АПК. – 2008. - № 9-10. - С. 21–25.

6. Ветохин В.И. Проектирование глубокорозпушувачів з урахуванням деяких аспектів деформування ґрунту / В.И. Ветохин // Техніка в с.-г. виробн., галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – Вип. 20. – С. 104–109.
7. Ветохин В.И. Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-ґрунт» / В.И. Ветохин // Техніка в с.-г. виробн., галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. – Кіровоград, 2009. – Вип. 22. – С.119–124.
8. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами.– Изд. 2-е / А.Н.Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.
9. А.с. 1396975 СССР, МКИ А 01 В 13/16. Рабочий орган для нарезки щелей в почве / В.С. Глуховский, В.И. Ветохин, В.Н. Данченко, Ю.С. Мухин, К.К. Бернасовский, Г.В. Чернявский. - № 4054661/30-15; заявл. 15.04.86; опубл. 23.05.88, Бюл. № 19.
10. Ветохин В.И. Периодическая система форм поверхностей почвообрабатывающих рабочих органов / В.И. Ветохин // Научно-технические достижения и передовой опыт в области с.-х. и тракторного маш-я: сб. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш. - 1992. - Вип. 2-3. - С. 22–27.
11. Vetochin V.I. PERIODIC TABLE OF SHAPES OF THE SURFACE FOR SOIL TILLAGE TOOLS / V.I Vetochin // Proceedings of TEN International Conference on Geometry and Graphics (ICGG), In 3 Vol. - Ukraine, Kyiv. - 2002. - Vol. 3. - P. 49–52.
12. Ветохин В.И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Владимир Иванович Ветохин. - М. : ВИСХОМ, 1991. – 309 с.
13. Ветохин В.И. Метод проектирования безотвальных рабочих органов / В.И. Ветохин // Тракторы и с.-х. машины. – 1993. - № 9.- С. 17–19.
14. Патент 295 Україна, МКП А 01 В 39/00, А 01 В 3/00, А 01 В 49/04. Рабочий орган ґрунтообробного знаряддя / В.И. Ветохин, Б.П. Федчук, В.С. Глуховський, П.О. Кутя. - № 5016762/SU; заяв. 18.12.91; опубл. 30.04.93, Бюл. № 1.
15. Кутя П.А. Определение высоты подъема заднего обреза рыхлительного элемента рабочего органа для обработки почвы в междурядьях сахарной свеклы / П.А. Кутя, В.И. Ветохин. – М.: Ин-т сахарной свеклы УААН; НПО «ВИСХОМ», 1992. – 11 с. - Рус. - Депонир. в ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш. - №1548-тс93. Реферат опубл. в библиогр. указат. ВИНТИ «Депонированные научные работы». – 1993.– № 11. - С. 51.
16. Ветохин В.И. Влияние формы поперечного профиля рабочей поверхности рыхлителей на величину объема разрыхленной почвы / В.И. Ветохин, П.А. Кутя. – М.: Ин-т сахарной свеклы УААН; НПО «ВИСХОМ», 1992. – 9 с. - Рус. - Депонир. в ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш. - №1549-тс93. Реферат опубл. в библиогр. указат. ВИНТИ «Депонированные научные работы», 1993.– № 11.- С.51.

В. Ветохин, П. Кутя

Проектирование и результаты испытаний рабочего органа для глубокого рыхления междурядий сахарной свеклы

В статье предложена общая методика проектирования безотвальных почвообрабатывающих рабочих органов. Проанализированы недостатки известного рабочего органа орудия для глубокого рыхления междурядий сахарной свеклы. Определены теоретические основы и описано проектирование нового рабочего органа. Приведены данные сравнительных полевых исследований показателей работы орудий, в том числе с определением урожайности культуры.

B.Vetohin, P. Kutya

Planning and results of tests of working tool for the deep loosening of spaces between the rows of sugar beet

In the article the described general method of projecting of mold boardless soil loosening working tools. The disadvantages of working tools dip loosening of row-spacing of sugar beet. The theoretical bases were specified and the projecting of new working tool was described. The data of comparative field research of characteristic, including the ones with the determination of crop productivity were cited positions.

Одержано 01.10.09