

Механізація, електрифікація

УДК 631.37

© 2023

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ОРНИХ АГРЕГАТІВ, ОБЛАДНАНИХ ПЕРЕДПЛУЖНИКАМИ

*В.В. Адамчук¹, В.М. Булгаков², В.Ф. Камінський³,
В.Т. Надикто⁴, М.М. Пташнік⁵*

^{1,2}доктори технічних наук, професори, академіки НААН

³доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

⁴доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН

⁵кандидат сільськогосподарських наук

*¹Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна*

*²Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна*

*^{3,5}Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»
вул. Машинобудівників 2-Б, смт Чабани Києво-Святошинського району
Київської обл., 08162, Україна*

*⁴Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного
пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна*

e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com, ²vbulgakov@meta.ua, ³iznaan@ukr.net,

⁴volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua, ⁵obrobitok@ukr.net

ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721,

³0000-0002-9668-6742, ⁴0000-0002-1770-8297, ⁵0000-0001-8002-7139

Надійшла 29.11.2022

Мета. Визначити вплив передплужників на тяговий опір плуга й експлуатаційно-технологічні показники усього орного агрегату та поперечний профіль поверхні зораного поля. **Методи.** Теоретичні дослідження із використанням основних положень теорії сільськогосподарських машин, теоретичної механіки і вищої математики. **Відповідні розрахунки** здійснено на ПК у програмному середовищі Mathcad 15.0, а їх графічна інтерпретація реалізована за допомогою редактора Grapher 20. **Фізичними об'єктами експериментальних досліджень** слугували орні машинно-тракторні агрегати на базі трактора ХТЗ-16131, який агрегували із плугами ПЛН-5-35, ПНБ-5-40 і ПНЯ-4-42. Перше із цих орних знарядь було обладнане пристроєм для вимірювання тягового опору. **Результати.** Досліджено вплив орного знаряддя із передплужниками, кутознімачами і корпусами другого рівня (двоюрядний плуг) на такі статистичні характеристики, як-от глибина оранки, ширина захвату агрегату, поздовжній профіль поля і тяговий опір плуга. **Висновки.** Застосування орного знаряддя із передплужниками,

кутознімачами або корпусами другого ярусу забезпечує однорідність дисперсій коливань глибини оранки. Натомість застосування плуга без передплужників призводить до закономірного й істотного збільшення дисперсії коливань глибини обробітку ґрунту і поперечного профілю поля. Нормована кореляційна функція цього процесу характеризується наявністю відчутно вираженої періодичної складової. За умови застосування плуга без передплужників період цієї складової практично відповідає робочій ширині захвату орного знаряддя. Застосування передплужників із кутом кришення, приблизно рівним 25° , зумовлює деформувальний вплив на ґрунтове середовище у формі відриву, а не зсуву. У підсумку це забезпечує статистично значуще і до того ж закономірне зменшення тягового опору плуга. Для орного знаряддя ПЛН-5-35 в умовах експериментальних досліджень таке зменшення становило $1,1 \text{ кН}$, або $3,3\%$.

Ключові слова: ґрунт, оранка, орний шар, плуг, глибина оранки, профіль агротехнічного фону, тяговий опір.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202301-06>

Для забезпечення продуктивного росту та розвитку сільськогосподарських культур потрібно відповідним чином підготувати ґрунт — він повинен мати належну щільність, твердість, шпаруватість і вологість. Для цього ґрунтове середовище піддається обробітку — механічному впливу робочих органів різних ґрунтообробних машин та знарядь.

Найпоширенішим способом такого обробітку вважають оранку. Згідно з ДСТУ 4691:2006 «Загальне землеробство. Терміни та визначення понять», оранка — це спосіб полицевого обробітку ґрунту плугом, що забезпечує кришення, розпушення і обертання шару землі не менш як на 135° . За висновками зарубіжних фахівців [1], додаткове призначення оранки полягає у створенні фону для сівби сільськогосподарських культур, що, на нашу думку, далеко не завжди відповідає дійсності.

Крім того, у ДСТУ 4691:2006 підкреслюється, що у разі використання плуга з передплужниками оранка називається культурною. Звідси випливає, що звичайна оранка може здійснюватися плугом і без передплужників. Але такий конструктивний варіант орного знаряддя, на переконання всесвітньо відомого ґрунтознавця В.Р. Вільямса, можливий лише за умови загортання гною в ґрунт [2]. У решті випадків оранка має здійснюватися плугом, обов'язково обладнаним передплужниками.

Категоричність такої вимоги академіка В.Р. Вільямса зумовлена науково-обґрунтованим технологічним призначенням робочого знаряддя. Лише незнання або нерозуміння справжньої суті його функцій спонукає широке коло аграріїв до вкрай небажаної, і навіть шкідливої, практики — відмови від застосування передплужників.

Проаналізуємо відомі дані про технологічне призначення передплужника і розглянемо позитивні та негативні наслідки від його застосування, а також приписані йому недоліки. У широковідомій літературі землеробського спрямування підкреслюється, що цей робочий орган має підрізати верхній шар ґрунту на глибину 12 см, перевертати його і вкладати на дно борозни [3] для забезпечення глибокого загортання бур'янів [4] і поживних залишків. Інші науковці стверджують [5], що основне призначення передплужника — це загортання верхнього задернілого шару ґрунту. У роботі [6] наголошується, що передплужник потрібен для зменшення брилуватості зораного шару ґрунту і робиться висновок, що такий робочий орган здійснює блокуване різання ґрунтового середовища, через що сила, потрібна для виконання цієї дії, зростає у 3–5 разів. До того ж передплужник сприяє небажаному збільшенню сили, що притискає плуг до стінки борозни. А це, як відомо [7], призводить до зростання тягового опору всього орного знаряддя.

Аналіз викладених фактів породжує низку запитань, на які проблематично знайти відповіді. *По-перше*, чи доцільно проводити оранку плугом з передплужниками за відсутності задернілості верхнього шару ґрунту?

По-друге, чи наявність брил під час основного обробки ґрунту можна трактувати як ознаку його незадовільної структури? Передусім через здійснення у попередній період щорічної оранки плугом без передплужників. Добре структурований ґрунт обробляється без утворення брил. Саме тому їх наявність не означає, що запобігання брилуватості агрофону було передумовою винаходу і застосування робочих органів на кшталт передплужника.

Твердження, що цей ґрунтообробний орган здійснює блоковане різання, більше схоже на гіпотезу, ніж на постулат. Хоча б тому, що основним деформаційним впливом передплужника на скибу ґрунту є, як зазначається далі, не різання, а відрив [8]. А витрати енергії на його здійснення значно менші, ніж у разі різання або зсуву ґрунту [9].

Слід враховувати і той факт, що передплужник вносить певний (апріорі — досить незначний) вклад у процес притискання плуга до стінки борозни. Але ж цим самим він зменшує аналогічну дію основного корпусу плуга. Адже останній деформує скибу ґрунту, висота якої стає меншою на глибину роботи передплужника.

Найбільш доказову позицію щодо призначення цього ґрунтообробного робочого органу порівняно із зазначеними вище надано у роботі [2]. Згідно із науково-обґрунтованим твердженням академіка В.Р. Вільямса, передплужник призначений для того, щоб міняти місцями верхній деструктурований шар ґрунту висотою 8–10 см і нижній структурний шар. Причому ці шари необов'язково додатково розпушувати, кришити, перевертати, а тим більше зміщувати вбік. Таке технологічне рішення у процесі оранки потрібне для відновлення верхнім шаром своєї структури за час перебування в анаеробних умовах. Інша справа, що таке відновлення може тривати не один, а кілька років. Тому, за нашим переконанням, оранку плугом за обов'язкового використання передплужників слід проводити не

щорічно і навіть не періодично, а систематично. Індикатором такої систематичності має бути значення коефіцієнта структурності верхнього (8–10 см) шару ґрунту — воно не повинне перевищувати позначки 0,67 [10]. У протилежному випадку проблеми, пов'язані з необхідністю розпушення і кришіння ґрунту, забур'яненістю агрофону тощо, доведеться розв'язувати не за рахунок проведення оранки, а за допомогою інших технологічних прийомів.

З усіх причин відмови від передплужників вагомою, напевно, є одна. Суть її полягає у тому, що використання цих робочих органів призводить до зростання тягового опору плуга, і цю думку підтримують відомі практики та навіть науковці [1, 6, 11, 12]. Водночас отримані ними дані можна розглядати лише як констатацію факту, закономірність прояву якого не містить будь-яких доказів, а тому потребує подальшого розгляду і ретельного аналізу.

Попри консервативність конструкції плуга, взаємодія леміша та полиці його корпусу із передплужником науковцями майже не досліджувалась. Основну увагу зосереджували на розгляді системи «леміш і полиця — ґрунт» [13, 14]. Якщо передплужники і виступали фізичним об'єктом вивчення, то лише у разі розв'язання проблеми забур'яненості агротехнічного фону [15]. При цьому як компромісний варіант розглядалося застосування двоярусного плуга. Перші спроби обґрунтувати конструктивні параметри робочої поверхні передплужника здійснювалися ще в минулому столітті [11]. У результаті автором зазначеної роботи було встановлено, що застосування передплужників збільшує тяговий опір плуга на 5–8%. Водночас внутрішня природа цього факту не аналізувалась, а встановлену закономірність ніяк не підтверджено.

У роботі [12] також викладено результати дослідження впливу передплужників на тяговий опір плуга. Проте отримані вони були не безпосереднім вимірюванням, а завдяки теоретичним розрахункам із використанням методів дискретного модулювання. Саме за допомогою цих методів авторами роботи [1] проведено досить ємкі дослідження з метою визначити вплив кутів робочої поверхні передплужника на повноту обертання

і переміщення ним ґрунтового середовища. Цікаво, що глибину обробітку ґрунту, як і у роботі [12], змінювали в діапазоні 5–10 см. Питання стосовно того, чим зумовлена потреба досліджувати процес роботи передплужника на глибинах, менших за 8 см, в обох роботах залишилося без відповіді. Крім того, залишилося відкритим і питання впливу передплужників на формування поперечного профілю обробленого поля. Цей фактор потребує ретельного дослідження, оскільки є вельми важливим для забезпечення якісного обробітку зораного агротехнічного фону.

Мета досліджень — визначити вплив передплужників на тяговий опір плуга і експлуатаційно-технологічні показники усього орного агрегату та поперечний профіль поверхні зораного поля.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проведено на підставі основних положень теорії сільськогосподарських машин, теоретичної механіки і вищої математики. Відповідні розрахунки здійснено на персональному комп'ютері у програмному середовищі Mathcad 15.0, а їх графічна інтерпретація реалізована за допомогою редактора Grapher 20.

Польові експериментальні дослідження включали дві серії дослідів, кожна з яких здійснювали двічі. Фізичними об'єктами досліджень першої серії слугували орні агрегати на базі вітчизняного орно-просапного трактора тягового класу 3 ХТЗ-16131. Трактор почергово агрегатували з оснащеним передплужником плугом ПЛН-5-35, плугом ПНБ-5-40 із кутознімами і двоярусним плугом ПНЯ-4-42. Всі орні знаряддя було налаштовано на глибину оранки 25 см. У процесі лабораторно-польових експериментальних досліджень для кожного орного агрегату реєстрували робочу ширину захвату, швидкість руху, глибину обробітку, вологість і щільність ґрунту, а також поперечний профіль поверхні зораного поля. Для цього відповідний комплект реєструючо-вимірювального обладнання використовували за методиками, викладеними у роботах [16–18].

Фізичними об'єктами другої серії лабораторно-польових експериментальних досліджень слугували два орні агрегати на базі трактора ХТЗ-16131. Один із них

включав плуг ПЛН-5-35, обладнаний передплужниками і пристроєм для реєстрації тягового опору орного знаряддя (рис. 1). До складу другого орного агрегату входив той самий плуг, але без передплужників. Перед проведенням польових експериментальних досліджень із використанням відповідних приладів та методик вимірювали вологість і щільність вихідного агротехнічного фону.

На підставі отриманих даних розраховували й аналізували такі статистичні характеристики досліджуваних параметрів, як середні значення і їх найменша істотна різниця ($НIP_{05}$), величина дисперсії, середні квадратичні відхилення (стандарти), коефіцієнти варіації і нормовані кореляційні функції.

Результати досліджень та їх обговорення. У процесі робочого руху передплужник із кутом кришення β під дією сили \bar{R} переміщує на висоту h скибу ґрунту товщиною a і шириною b . Вертикальна складова сили \bar{R} є реакцією на дію сили ваги скиби ґрунту. Горизонтальна складова R_x , долаючи опір ґрунтового середовища, по суті, репрезентує тяговий опір передплужника. Згідно із [5], силу R_x можна розрахувати за такою формулою:

$$R_x = a \cdot b \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{\operatorname{tg}(\beta + \varphi)}{\sin \beta}, \quad (1)$$

де ρ — щільність ґрунту, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; g — прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$; φ — кут тертя ґрунту, град.



Рис. 1. Плуг ПЛН-5-35 із пристроєм для вимірювання тягового опору: 1 — передплужник; 2 — тензометрична рамка; 3 — датчик

Якщо останню частину виразу (1) позначити як

$$k = \frac{\operatorname{tg}(\beta + \varphi)}{\sin \beta}, \quad (2)$$

то вираз (1) можна подати у вигляді

$$R_x = a \cdot b \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot k. \quad (3)$$

Аналіз залежності (3) свідчить, що зі зменшенням значень параметрів a , b , h та ρ величина тягового опору передплужника також зменшується, і навпаки. Стверджувати те саме стосовно коефіцієнта k однозначно не можна. Принаймні хоча б тому, що кожному значенню кута тертя ґрунту φ відповідає таке значення кута кришення β передплужника, за якого значення коефіцієнта k є оптимальним, тобто найменшим [5].

З огляду на це для з'ясування природи залежності $R_x = f(k)$ достатньо проаналізувати залежність (2), тобто $k = f(\beta; \varphi)$.

Графічна інтерпретація останньої залежності свідчить (рис. 2), що у разі збільшення значення кута кришення β передплужника до певної величини зменшується значення коефіцієнта k , причому незалежно від величини кута тертя ґрунту φ . Інша справа, що за більших значень φ крутизна зменшення/зростання функції $k = f(\beta; \varphi)$ стає інтенсивнішою.

Значення кута β (β_{opt}), за яких коефіцієнт k є найменшим, можна знайти із першої похідної виразу (2):

$$\frac{\partial k}{\partial \beta} = \frac{\operatorname{tg}(\beta + \varphi)}{\sin \beta} \cdot [\operatorname{tg}(\beta + \varphi) - \operatorname{ctg} \beta + 1] = 0. \quad (4)$$

Розрахунки за виразом (4) свідчать, що кутам тертя ґрунту, рівним 20, 30 і 40°, відповідають значення β_{opt} , які дорівнюють 27, 25 і 22°. З урахуванням цього отримуємо закономірність, згідно з якою за умови збільшення значень кута кришення β до рівня β_{opt} слід очікувати зменшення значення коефіцієнта k , а отже, і тягового опору передплужника. І навпаки: застосування цього ґрунтообробного органу із кутом кришення, більшим за β_{opt} , призведе до отримання протилежного, тобто небажаного результату, причому за будь-якого прийняттого значення кута тертя ґрунту φ .

Під час проведення експериментальних досліджень використовували передплужники із кутом кришення $\beta = 25^\circ$. Значення параметра φ при цьому не визначали. Однак

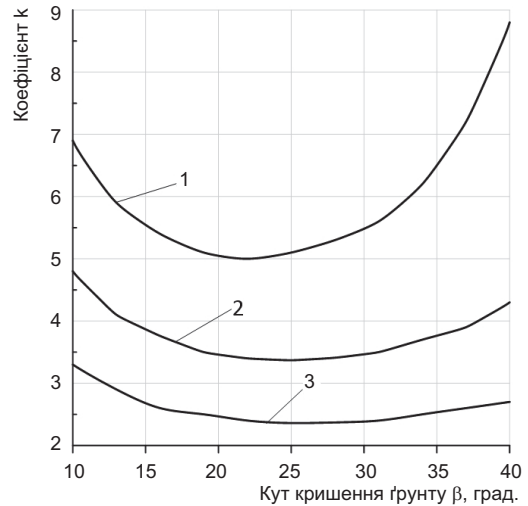


Рис. 2. Залежність коефіцієнта k від кута кришення передплужника β за різних значень кута тертя ґрунту φ : 1 – 40°; 2 – 30°; 3 – 20°

з високою ймовірністю можна стверджувати, що в шарі ґрунту глибиною 0–30 см за вологості, що не перевищує 12,5%, і щільності $1,3 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ значення кута φ дорівнюватиме 40–45°.

За установочної глибини оранки 25 см найменшу швидкість робочого руху ($2,08 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) має агрегат із найбільшою шириною захвату, а найбільшу ($2,25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) — агрегат із найменшою шириною захвату (табл. 1), що є цілком логічним результатом.

Дисперсії коливань глибини оранки орних машинно-тракторних агрегатів порівнювали за критерієм Кохрена [19]. Проведені нами лабораторно-польові вимірювання та розрахунки критерію Кохрена показали, що дійсне значення цього показника $G_f = 0,37$, а табличне $G_t = 0,43$. Оскільки $G_f < G_t$, то нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій коливань глибини оранки використаними плугами на статистичному рівні значущості 0,05 не відхиляється.

Також було проведено дисперсійний аналіз отриманих результатів польових експериментальних досліджень. За даними однофакторного дисперсійного аналізу дійсне значення F -критерію Фішера ($F_f = 5,17$) для порівнюваних середніх значень глибини оранки трьома плугами виявилось

1. Показники роботи порівнюваних орних агрегатів

Параметр	Показник	Орний агрегат на основі плуга		
		ПЛН-5-35	ПНБ-5-40	ПНЯ-4-42
Робоча швидкість	Середнє значення, м · с ⁻¹	2,20	2,08	2,25
Глибина оранки (НІР ₀₅ = 0,31 см)	Середнє значення, см	25,2	26,0	25,0
	Дисперсія, см ²	3,06	4,12	3,93
Ширина захвату	Стандарт, ± см	1,75	2,03	1,98
	Коефіцієнт варіації, %	6,9	7,8	7,9
	Середнє значення, м	1,77	2,02	1,71
	Дисперсія, см ²	3,1	2,9	1,9
Профіль поля	Стандарт, ± см	1,8	1,7	1,4
	Коефіцієнт варіації, %	1,7	0,8	0,8
	Дисперсія, см ²	4,10	6,80	3,50
	Стандарт, ± см	2,02	2,61	1,87

більшим за табличне ($F_t = 3,03$). У такому разі нуль-гіпотеза про приналежність цих статистичних показників до однієї генеральної вибірки відхиляється. За показником $НІР_{05} = 0,31$ (табл. 1) середнє значення глибини оранки плугом ПНБ-5-40 є не випадково більшим за аналогічні показники для плугів ПЛН-5-35 і ПНЯ-4-42. Проте довести закономірність цього факту проблематично. Найімовірнішою причиною його прояву є неточність установлення на плугові ПНБ-5-40 заданої глибини оранки (25 см).

Такі самі порівняльні дослідження було виконано щодо ширини захвату орних агрегатів. При порівнянні дисперсій коливань цього параметра дійсне значення критерію Кохрена $G_f = 0,39$, а табличне $G_t = 0,46$. Оскільки $G_f < G_t$, то нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій коливань глибини оранки різними плугами на статистичному рівні значущості 0,05 не відхиляється. Практично це означає, що за різної ширини захвату трьох орних агрегатів дисперсії коливань цього експлуатаційного параметра не відрізняються. З достовірністю 95% вони репрезентують одну й ту саму генеральну сукупність.

Оцінювання статистичних характеристик поперечного профілю поля після оранки засвідчило, що дійсне значення критерію Кохрена $G_f = 0,47$, а табличне $G_t = 0,42$. Оскільки у цьому випадку $G_f > G_t$, то нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій

на статистичному рівні значущості 0,05 відхиляється. Отримані статистичні характеристики є неоднорідними. Водночас було встановлено низку закономірностей. Дисперсії коливань профілю поля після оранки плугами ПЛН-5-35 і ПНЯ-4-42 є однорідними. За дійсним значенням F-критерію Фішера ($F_f = 1,17$), який є меншим за своє табличне значення ($F_t = 1,60$), обидві ці статистичні характеристики репрезентують одну й ту саму генеральну сукупність.

Натомість дисперсія коливань профілю поля після проходу плуга ПНБ-5-40 (6,8 см²) є істотно більшою за аналогічні показники у разі використання двох інших плугів. На користь такого висновку свідчить порівняння дійсних і табличних значень F-критерію Фішера. А саме: для пари плугів ПНБ-5-40 — ПЛН-5-35 $F_f = 1,66 > F_t = 1,60$; для пари ПНБ-5-40 — ПНЯ-4-42 ця різниця ще більша, $F_f = 1,86 > F_t = 1,60$. Звідси випливає, що застосування плуга з кутознімачами замість передплужників призводить до небажаного збільшення амплітуди коливань поперечного профілю обробленого (зораного) поля.

Що стосується внутрішньої (частотної) природи цього процесу, то аналіз нормованих кореляційних функцій свідчить (рис. 3): кореляційний зв'язок (абсциса перетину кривими 1, 2 і 3 нульової позначки) між ординатами профілю поля після проходу кожного із трьох орних агрегатів зникає досить

швидко — через 0,2 м. Коливна природа процесів 2 і 3 приблизно однакова. Обидва містять приховані періодичні складові, генератори яких визначити досить проблематично. Найімовірніше, вони зумовлені нерівномірністю структури оброблюваного ґрунтового середовища.

Нормована кореляційна функція коливань ординат профілю поля після його оброблення плугом ПНД-5-40 (рис. 3, крива 1) характеризується наявністю більш вираженої періодичної складової. Причому як за амплітудою (що підтверджується згаданим вище аналізом дисперсій), так і за періодом, генератор якого також досить складно виявити. Не виключається, що певну роль у цьому відіграли кутознімачі, встановлені на плугові ПНД-5-40 замість передплужників.

Дослідження впливу передплужників на тяговий опір плуга ПЛН-5-35 показало, що середнє значення глибини оранки цим знаряддям у порівнянні із варіантом, коли передплужники не використовувалися, дещо більше. Попри своє мале значення, отримана різниця (0,8 см) є статистично значущою, оскільки перевищує $НІР_{05} = 0,6$ см (табл. 2). Щоправда, для визнання цього факту закономірним отриманих експериментальних даних недостатньо. Для остаточного доказу

такої закономірності, а також для з'ясування її природи треба здійснити серію спеціальних дослідів.

Різниця між дисперсіями коливань глибини оранки плугом ПЛН-5-35 з передплужниками і без них також значуща. Дійсне значення F-критерію Фішера $F_f = 1,45$ є більшим за табличне $F_f = 1,39$. Звідси виходить, що застосування передплужників забезпечує меншу дисперсію коливань глибини оранки у порівнянні з варіантом, коли ці робочі органи відсутні. Пояснюється це тим, що передплужники переміщують де-структурований шар ґрунту на дно борозни. Основні корпуси плуга при цьому переміщують нижній шар ґрунтового середовища на місце верхнього.

Завдяки структурованості шару ґрунту в ньому практично немає глиб (ґрунтових агрегатів діаметром понад 1 см). Через те що більшість агрономічно цінних ґрунтових агрегатів перебуває на поверхні поля, дисперсії коливань його поперечного профілю істотно зменшуються. За своєю природою цей процес є низьковаріабельним [19], оскільки коефіцієнт варіації коливань глибини оранки плугом ПЛН-5-35 з передплужниками не перевищує 10% (табл. 2).

Як впливає з аналізу даних, поданих у табл. 2, нуль-гіпотеза про рівність середніх значень ширини захвату плуга ПЛН-5-35 з передплужниками і без них не відхиляється. Дійсна різниця цього параметра становить 0,01 м, що у 5 разів менше за $НІР_{05}$, яка дорівнює 0,05 м.

Аналогічні закономірності відслідковуються і стосовно дисперсій коливань ширини захвату порівнюваних орних агрегатів, оскільки дійсне значення F-критерію Фішера $F_f = 1,06$ значно менше за табличне $F_f = 1,86$. Загалом отриманий результат є логічним, оскільки правильне встановлення передплужників на плугові не створює (і не має створювати) передумов для зміни його ширини захвату.

Менша дисперсія коливань глибини оранки плугом з передплужниками сприяє формуванню кращого поперечного профілю поверхні поля. У такому разі випадку дисперсія коливань безпосередньо цього параметра (табл. 2, $6,48 \text{ см}^2$) є значно меншою за дисперсію коливань профілю поля після

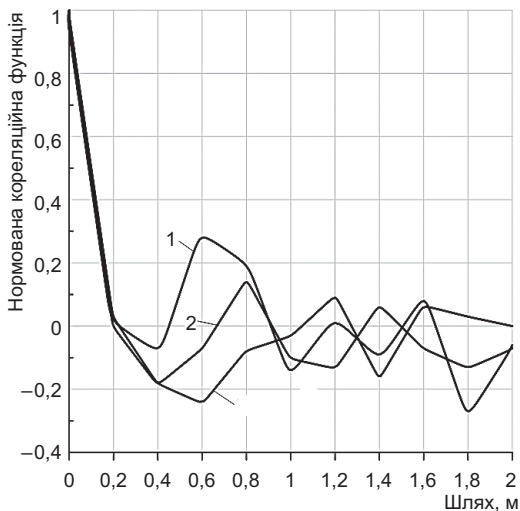


Рис. 3. Нормовані кореляційні функції коливань поперечного профілю поверхні поля після його обробки плугами ПНД-5-40 (1), ПЛН-5-35 (2) і ПНЯ-4-42 (3)

2. Показники роботи плуга ПЛН-5-35 з передплужниками і без них

Параметр	Показник	Варіант плуга*	
		1	2
Робоча швидкість	Середнє значення, м · с ⁻¹	2,30	2,10
Глибина оранки (НІР ₀₅ =0,6 см)	Середнє значення, см	25,9	25,1
	Дисперсія, см ²	3,65	5,29
	Стандарт, ± см	1,91	2,30
	Коефіцієнт варіації, %	7,4	9,2
Ширина захвату (НІР ₀₅ =0,05 м)	Середнє значення, см	176	177
	Дисперсія, см ²	3,6	3,4
	Стандарт, ± см	1,9	1,8
	Коефіцієнт варіації, %	1,1	1,1
Профіль поля	Дисперсія, см ²	6,48	19,60
	Стандарт, ± см	2,55	4,43
	Коефіцієнт варіації, %	1,1	1,1
Тяговий опір (НІР ₀₅ =0,27 кН)	Середнє значення, кН	32,00	33,10
	Дисперсія, кН ²	2,82	3,65
	Стандарт, ± кН	1,68	1,91
	Коефіцієнт варіації, %	5,3	5,8

*1 — з передплужниками; 2 — без передплужників.

його оброблення тим самим плугом, але без передплужників (19,60 см²). Нуль-гіпотеза про приналежність цих дисперсій одній генеральній вибірці однозначно відхиляється, оскільки дійсне значення F-критерію Фішера ($F_f = 3,0$) значно перевищує табличне ($F_t = 1,39$). Вказана нуль-гіпотеза підтверджується і на рівні значущості 0,01, оскільки у цьому випадку табличне значення F-критерію Фішера дорівнює лише 1,59.

Якщо дисперсія репрезентує амплітуду коливань ординат профілю поля, то кореляційна функція — їх частоту [20]. Аналіз цих характеристик свідчить, що коливання поперечного профілю поля після проходження плуга ПЛН-5-35 з передплужниками (рис. 4, крива 1) носять більш низькочастотний (вирівняний) характер у порівнянні з коливаннями профілю, який формує цей самий плуг без передплужників (рис. 4, крива 2).

Доказом цього факту є різні значення довжини кореляційного зв'язку порівнюваних нормованих кореляційних функцій. Так, для кривої 1 як виразника більш низькочастотного процесу цей показник становить майже 0,9 м, тоді як для кривої 2 він не перевищує позначки 0,2 м. Отже, характер коливань нормованої кореляційної функції 2

вказує на наявність складової, період якої становить приблизно 1,7 м. А це, практично, збігається з шириною захвату плуга ПЛН-5-35 без передплужників (табл. 2, 1,77 м).

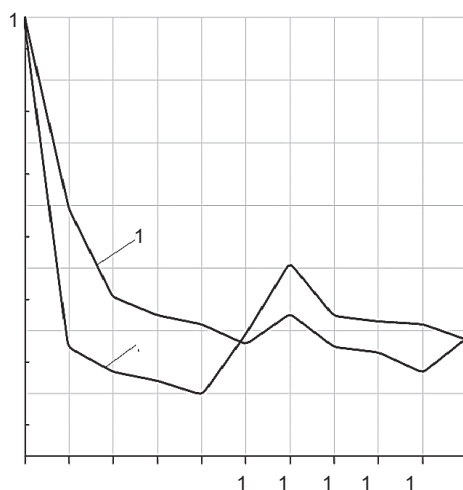


Рис. 4. Нормовані кореляційні функції коливань ординат поперечного профілю поля після його обробки плугом ПЛН-5-35 з передплужниками (1) і без них (2)

Відсутність передплужників, як впливає з експериментальних даних, не приводить до збільшення тягового опору плуга, про що йдеться у роботах [1, 11]. Навпаки, його середнє значення зменшується на 1,1 кН (табл. 2). І ця величина є статистично значущою, оскільки вона більша за $HP_{05} = 0,27$ кН. Причому зменшення тягового опору плуга із передплужниками є, на нашу думку, результатом закономірним. Проаналізуємо цей висновок детальніше. З погляду впливу на ґрунт передплужник діє як тригранний клин. А згідно з даними [5, 9], за умови, коли $\beta + \varphi > 90^\circ$, сила тиску клину на ґрунт діє горизонтально. У цьому випадку ґрунтове середовище постійно піддається деформації зсуву.

У застосовуваних нами під час експериментів передплужників значення кута кришення $\beta = 25^\circ$. Навіть за умови максимального значення кута тертя ґрунту (45°) маємо результат, згідно з яким $\beta + \varphi = 70^\circ < 90^\circ$. У такому разі сила впливу клину на ґрунт відхиляється від горизонтального напрямку на кут $[90 - (\beta + \varphi)]$. Це зумовлює деформування ґрунтового середовища не зсувом,

а відривом, здійснення якого потребує менше енергії [9]. У підсумку саме цей факт і є підґрунтям для тієї закономірності, згідно з якою правильно підібрані й установлені передплужники сприяють зменшенню тягового опору плуга. В усякому разі не збільшують його.

Дисперсії коливань тягового опору плуга за наявності передплужників і за їх відсутності є однорідними (табл. 2). Це підтверджується тим, що за F-критерієм Фішера нуль-гіпотеза про їх рівність на статистичному рівні значущості 0,05 не відхиляється. За даними експериментальних досліджень, дійсне значення цього показника $F_f = 1,29$ є меншим за табличне $F_f = 1,39$.

Результати проведеного аналізу свідчать, що застосування передплужників дає змогу зменшити не лише дисперсію і частоту коливань поперечного профілю поверхні зораного поля, а й тяговий опір плуга. Враховуючи при цьому роль зазначених робочих органів у збереженні і відтворенні структури ґрунту, доцільно погодитись із рекомендаціями систематично проводити оранку плугом із передплужниками.

Висновки

Теоретичними дослідженнями встановлено, що за умови збільшення кута кришення передплужника до оптимального значення слід очікувати зменшення його тягового опору. Застосування цього ґрунтообробного органу з кутом кришення, більшим за оптимальний, призведе до протилежного результату за будь-якого прийнятного значення кута тертя ґрунту.

Застосування орного знаряддя із передплужниками, кутознімачами або корпусами другого ярусу забезпечує однорідність дисперсій коливань глибини оранки. За G-критерієм Кохрена на статистичному рівні значущості 0,05 нуль-гіпотеза про рівність цих статистичних параметрів не відхиляється. Натомість застосування плуга без передплужників викликає закономірне й істотне збільшення дисперсії коливань глибини обробітку ґрунту.

Дисперсія коливань ширини захвату плуга практично не залежить від його конструкції, тобто від наявності

передплужників, кутознімачів чи корпусів другого ярусу.

Оранка ґрунту плугом із використанням кутознімачів замість передплужників або корпусів другого ярусу зумовлює істотне зростання дисперсії коливань поперечного профілю поля. При цьому нормована кореляційна функція цього процесу характеризується наявністю відчутно вираженої періодичної складової. За умови застосування плуга без передплужників період цієї складової практично відповідає робочій ширині захвату орного знаряддя.

Застосування передплужників із кутом кришення, приблизно рівним 25° , зумовлює його деформувальний вплив на ґрунтове середовище у формі відриву, а не зсуву. У підсумку це забезпечує статистично значуще і до того ж закономірне зменшення тягового опору плуга. Для орного знаряддя з плугом ПЛН-5-35 в умовах експериментальних досліджень таке зменшення становило 1,1 кН, або 3,3%.

Adamchuk V.¹, Bulgakov V.², Kaminsky V.³,
Nadykto V.⁴, Ptashnik M.⁵

¹Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 11 Vokzalna Str., Glevakha stl, Fastiv District, UA 08631, Kyiv Region, Ukraine, ²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroyiv Oborony Str., Kyiv, UA 03041, Ukraine, ^{3,5}National Science Center, «Institute of Agriculture of NAAS of Ukraine», 2-b Mashynobudivnykiv Str., Chabany vil., Kyiv-Sviatoshyn Dist., UA 08162, Kyiv Region, Ukraine, ⁴Dmytro Motorny Tavriya State Agrotechnological University, 18-B Khmelnytskyi Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, 72312, Ukraine e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com, ²vbulgakov@meta.ua, ³iznaan@ukr.net, ⁴volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua, ⁵obrobitok@ukr.net; ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721, ³0000-0002-9668-6742, ⁴0000-0002-1770-8297, ⁵0000-0001-8002-7139

Study of the operational and technological indicators of the work of arrow units equipped with pre-pullers

Goal. Determination of the influence of plow front plows on its traction resistance and operational and technological indicators of the plow unit and the transverse profile of the surface of the plowed field. **Methods.** Theoretical studies were carried out using the main provisions of the theory of agricultural machines, theoretical mechanics and higher mathematics. The corresponding calculations were carried out on a PC in the Mathcad 15.0 software environment, and their graphic interpretation was implemented using the Grapher 20 editor. The

physical objects of the experimental research were plowing machine-tractor units based on the KhTZ-16131 tractor, which was aggregated with plows PLN-5-35, PNB-5-40 and PNYA-4-42. The first of these plowing tools was equipped with a device for measuring traction resistance. **Results.** The impact of the use of plowing implements with front plows, angle cutters and second-level bodies (two-tier plow) on the statistical characteristics of the plowing depth, the width of the unit, the longitudinal profile of the field and the traction resistance of the plow was studied. **Conclusions.** The use of plowing implements with front plows, angle cutters or second-tier housings ensures homogeneity of variances of plowing depth fluctuations. On the other hand, the use of a plow without front plows installed on it leads to a natural and significant increase in the dispersion of fluctuations in the depth of soil cultivation and the transverse profile of the field. The normalized correlation function of this process is characterized by the presence of a significantly pronounced periodic component. Under the condition of using a plow without front plows installed on it, the period of this component practically corresponds to the working width of the plow implement. The use of front plows with a collapse angle of 25° determines its deforming effect on the soil environment in the form of detachment, not shear. As a result, this provides a statistically significant and, moreover, natural reduction in the traction resistance of the plow. For plow tool PLN-5-35 in the conditions of experimental studies, this reduction was 1.1 kN or 3.3%.

Key words: soil, plowing, arable layer, plow, plowing depth, profile agricultural background, traction resistance.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-06>

Бібліографія

1. Saunders C., Ucgul M., Godwin R.J. Discrete element method (DEM) simulation to improve performance of a mouldboard skimmer. *Soil and Tillage Research*. 2021. V. 205, 104764. doi: 10.1016/j.still.2020.104764
2. Вильямс В.П. Почвоведение с основами земледелия. Москва: Гос. изд-во с.-х. лит.-ры. 1949. 472 с.
3. Лурье А.Б., Любимов А.И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Ленинград: Машиностроение, 1981. 270 с.
4. Ringselle B., Berge T.W., Stout D. et al. Effects of renewal time, taproot cutting, ploughing practice, false seedbed and companion crop on docks (*Rumex* spp.) when renewing grassland. *European J. of Agronomy*. 2019. V. 103. P. 54–62. doi: 10.1016/j.eja.2018.11.005
5. Синееков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1977. 328 с.
6. Sidorenko S.M., Petunin A.F., Efremova V.N. Layer Destruction with the Trihedral Wedge. *Science magazine KubGAU*. 2014. V. 101(07). P. 1–12.
7. Bulgakov V., Nadykto V., Ivanovs S., Dukulis I. Improving the performance of a ploughing tractor by means of an auxiliary carriage with motorized axle. *J. of Agricultural Engineering*. 2021. V. 52. P. 9–16. doi: 10.4081/jae.2021.1109
8. Дьяков В.П. Сдвиг или отрыв? *Достижения науки и техники АПК*. 2008. № 2. С. 42–45.
9. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Москва: Колос, 1994. 751 с.
10. Bulgakov V., Gadzalo I., Ivanovs S. et al. Analysis of the State and Assessment of Possible Ways of Preservation of Soil Fertility During its Mechanical Treatment. *J. Ecological Engineering*. 2022. V. 23. Is. 4. P. 128–136. doi: 10.12911/22998993/146334

11. Огородникова Н.А. Исследование работы предплужников. *Тракторы и сельхозмашины*. 1958. № 4. С. 27–32.
12. Ucgul M., Saunders C., Fielke J.M. Discrete element modelling of top soil burial using a full scale mouldboard plough under field conditions. *Biosystem Engineering*. 2017. V. 160. P. 140–153. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.06.008
13. Godwin R.J., O'Dogherty M.J., Saunders C., Balafoutis A.T. A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystem Engineering*. 2007. V. 97. P. 117–29. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.02.001
14. Karmakar S., Ashrafizadeh S.R., Kushwaha R.L. Experimental validation of computational fluid dynamics modeling for narrow tillage tool draft. *J. of Terramechanics*. 2009. V. 46. P. 277–283. doi: 10.1016/j.jterra.2009.06.001
15. Gruber S., Claupein W. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil and Tillage Research*. 2009. V. 105. P. 104–111.
16. Bulgakov V., Findura P., Nadykto V. et al. Experimental Study of Two Fallow Field Treatment Influence Methods On Soil Moisture Dynamics. *Acta Technologica Agriculturae*. 2022. V. 4. P. 176–182. doi: 10.2478/ata-2022-0026
17. Bulgakov V., Nadykto V., Kaminskiy V. et al. Experimental research into the effect of harrowing unit's operating speed on uniformity of cultivation depth during tillage in fallow field. *Agronomy Research*. 2020. V. 18. P. 1962–1972. doi: 10.15159/AR.20.200
18. Nadykto V., Kyurchev V., Bulgakov V. et al. Influence of the Plough with Tekrone Mouldboards and Landsides on Ploughing Parameters. *Acta Technologica Agriculturae*. 2020. V. 23. P. 40-45. doi: 10.2478/ata-2020-0007
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 350 с.
20. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Ленинград: Колос, 1970. 376 с.