

**Шифр «Орний МГА»**

**ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМИ І ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ  
ОРНОГО АГРЕГАТУ НА ОСНОВІ  
ОРНО-ПРОСАПНОГО ТРАКТОРА СІМЕЙСТВА ХТЗ-160**

## РЕФЕРАТ

Наукова робота: 22 с. тексту, 7 рисунків, 2 таблиці, 13 джерел, 1 додаток.

Об'єкт досліджень: процес агрегування колісного трактора з навісним плугом.

Предмет досліджень: закономірності впливу конструктивних параметрів колісного трактора і плуга на процес їх взаємодії у складі одного машинно-тракторного агрегату.

Методі досліджень: теоретичні дослідження із використанням основ сільськогосподарських машин і машиновикористання; експериментальні дослідження з використанням методики експлуатаційно-технологічної оцінки сільськогосподарської техніки на етапі її випробувань.

Отримані результати:

- закономірності впливу поперечного зміщення «центру опору плуга» відносно поздовжньої осі симетрії трактора на величину сили тертя польових дощок орного знаряддя об стінку борозни;
- алгоритм вибору конструктивних параметрів трактора і плуга на такий алгоритм налаштування заднього навісного механізму (ЗНМ) енергетичного засобу, який забезпечує співпадання точки центру мас трактора з точкою сходження нижніх тяг його ЗНМ;
- стандарт коливань глибини оранки агрегатом у складі трактора ХТЗ-16131 і плуга ПЛН-5-35 не перевищує нормативні  $\pm 2$  см, а коефіцієнт варіації, як і аналогічний показник коливань робочої ширини захвату плуга, є меншим за 10%;
- питомі витрати паливом даним МТА на 11% менші за той нормативний показник (18,0 л/га), який в ґрунтово-кліматичних умовах півдня України встановлено для аналогічних орних агрегатів на основі колісного трактора типу ХТЗ-170.

Ключові слова: трактор, плуг, полова дошка, оранка, поперечне зміщення плуга, сила тертя

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОСОБЛИВОСТІ ПРИЄДНАННЯ НАВІСНОГО ПЛУГА ДО КОЛІСНОГО ТРАКТОРА.....	5
2 ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ОРНОГО АГРЕГАТУ НА ОСНОВІ ОРНО-ПРОСАПНОГО ТРАКТОРА СЕРІЇ ХТЗ-160.....	10
3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОРНОГО АГРЕГАТУ.....	16
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОРНОГО МТА.....	18
ВИСНОВКИ.....	21
ЛІТЕРАТУРА.....	22
ДОДАТКИ.....	23

## ВСТУП

На думку низки науковців останнім часом важко знайти науково-практичне видання, у якому так чи інакше не висловлювалось негативне відношення до оранки. Починаючи з часів діяльності І.Є. Овсінського і закінчуючи сьогоденням, вчені та визначні виробничники систематично стверджують про техніко-економічну недоцільність і агротехнічну шкідливість полицевого обробітку ґрунту. Особливо з точки зору невпинного падіння його родючості.

Водночас, саме задля її зберігання або відновлення оранка має систематично здійснюватися. Показником цієї періодичності пропонується коефіцієнт структурності ґрунту [1,2]. Незамінним знаряддям при цьому був і залишається традиційний плуг.

До останнього часу у науковців і виробничників панує думка, що найкращим варіантом агрегування плуга є той, за якого «центр опору» плуга знаходиться у площині, яка проходить через поздовжню вісь симетрії трактора.

Водночас, аналіз наукових праць д.т.н. Надикти В.Т, Кутькова Г.М. та інших засвідчує, що цей постулат є помилковим. Більш ефективним, а тому привабливим є такий варіант агрегування плуга, за якого «центр опору» орного знаряддя розташований зліва від поздовжньої осі симетрії трактора. Інша річ, що для цього конструктивні параметри ходової системи останнього мають відповідати певним вимогам. За твердженням Надикти В.Т. ширина захвату плуга повинна бути більшою принаймні за колію енергетичного засобу [3].

З огляду на це проблема з'являється там, де колісний трактор характеризується широкою колією. До таких, першою чергою, слід віднести вітчизняні орно-просапні трактори сімейства ХТЗ-160. Їх колія, як відомо становить 2100м. За тягово-енергетичними показниками ці трактори відносяться до енергетичних засобів тягового класу 3. Типовим знаряддям, з яким вони можуть використовуватися на оранці, є плуг типу ПЛН-5-35. Але ширина його захвату становить 1,75 м (1750 мм), що значно менше колії трактора ХТЗ-160.

Нині не існує чіткої методики визначення раціонального варіанту агрегування тракторів цього сімейства з плугами. Вирішення цього важливого питання і є основною задачею даного наукового дослідження.

## 1 ОСОБЛИВОСТІ ПРИЄДНАННЯ НАВІСНОГО ПЛУГА ДО КОЛІСНОГО ТРАКТОРА

Плуг був, є і в найближчому майбутньому залишатиметься одним із основних знарядь для глибокого полицевого обробітку ґрунту [4]. Водночас, не дивлячись на відносно просту конструкцію, це знаряддя є практично єдиним, яке в одних і тих же ґрунтових умовах, за одного і того ж режиму роботи у процесі агрегування з різними колісними (і навіть гусеничними) тракторами може формувати (і, як правило, формує) різний тяговий опір [4–8].

Такий результат досить часто обумовлюється співвідношенням між шириною ходової системи трактора та конструктивною шириною захвату орного знаряддя. Схема з'єднання навісного плуга з колісним енергетичним засобом визначає тягово-енергетичні показники, продуктивність, керованість і стабільність прямолінійного руху, а у підсумку – агротехнічні показники якості роботи орного машинно-тракторного агрегату (МТА).

Як виявляється, на практиці важко знайти оптимальне співвідношення між шириною захвату плуга і параметрами ходової системи колісного трактора. Першою чергою це стосується його колії. Унаслідок невдалого поєднання цих параметрів у одній конструкції агрегату виникає розвортний момент, який діє на МТА у горизонтальній площині. І цей момент може бути меншим або більшим, а показники роботи орного агрегату відповідно кращі або гірші.

Здавна більшість науковців вважали і нині вважають, що усі сили опору, які діють на плуг у горизонтальній площині, зосереджені у точці, яку називають «центром опору» [9]. По відношенню до поздовжньої осі симетрії трактора (ОУ, рис. 1) ця точка може займати три положення. А саме:

- бути правіше вказаної осі на відстані  $d$  (т.  $D_1$ );
  - знаходитися у площині, яка проходить через цю вісь вісь (т.  $D_0$ );
  - розташовуватися лівіше даної осі на відстані  $d$  (т.  $D_2$ ).
- Якщо «центр опору» плуга розташований у т.  $D_1$  (рис. 1), то силу тяги трактора  $T_1$ , прикладену до плуга у цій же точці, можна розкласти на дві складові: поздовжню  $T_{1v}$  та поперечну  $T_{1r}$ .

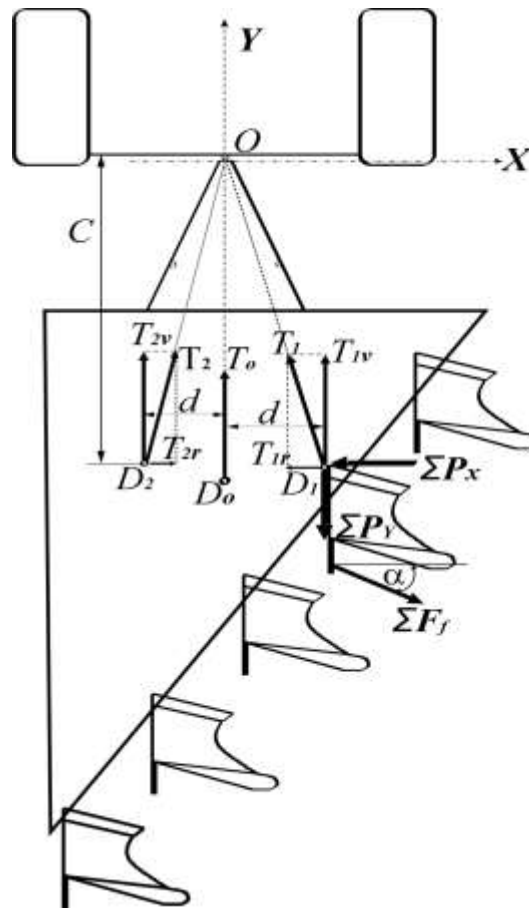


Рис. 1. Схема дії тягових зусиль ( $T_1$ ,  $T_0$ ,  $T_2$ ) трактора на плуг за різних при різних варіантів розміщення його «центру опору» (точки  $D_1$ ,  $D_0$ ,  $D_2$ ) [3]

Перша із них здійснює корисну роботу, оскільки переміщує плуг у напрямку руху трактора. Друга складова, тобто  $T_{1r}$ , є непродуктивною, позаяк додатково притискує плуг польовими дошками до стінки борозни.

Реакцію ґрунту на корпусах плуга можна представити трьома складовими (див. рис. 1):

- 1) сумарною горизонтальною ( $\Sigma P_x$ );
- 2) сумарною вертикальною (поздовжньою,  $\Sigma P_y$ );
- 3) сумарною нормальною реакцією польових дощок ( $\Sigma F_f$ ), яка відхилена від поперечної осі  $OX$  на кут  $\alpha$ .

Як відомо [10]:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma F_f \cdot \cos \alpha &= \Sigma F_{tr} / f_{tr}; \\ \Sigma F_f \cdot \sin \alpha &= \Sigma F_{tr}; \\ \Sigma P_x &= \Sigma P_y \cdot \cot(\varphi + \gamma), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $f_{tr}$  – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі. У більшості випадків можна вважати, що  $f_{tr} = 0.5$ ;

$\varphi$  – кут тертя ґрунту по сталі. Для звичайних чорноземів  $\varphi = 28^\circ$ ;

$\gamma$  – кут у плані між лезом лемеша корпусу плуга та стінкою борозни. Для використовуваних в Україні плугів типу ПЛН-5-35 тощо  $\gamma = 42^\circ$ .

Аналіз рис. 1 показує, що справедливою є наступна умова:

$$T_{1r} \cdot C - T_{1v} \cdot d = 0, \quad (2)$$

де  $C$  – плече дії сили  $T_{1r}$ .

З іншої сторони, ці сили можна виразити так [10]:

$$\begin{aligned} T_{1r} &= \Sigma F_f \cdot \cos\alpha - \Sigma P_x; \\ T_{1v} &= \Sigma F_f \cdot \sin\alpha + \Sigma P_y. \end{aligned} \quad (3)$$

Підставивши вирази (1) і (3) у формулу (2), після перетворень отримаємо:

$$\Sigma F_{tr} = \Sigma P_y \cdot \frac{C \cdot \operatorname{ctg}(\varphi + \gamma) + d}{C/f_{tr} - d}. \quad (4)$$

Далі проаналізуємо варіант розміщення «центру опору» плуга у в т.  $D_o$ , яка знаходиться у площині, що проходить через поздовжньо вісь симетрії трактора. Нині є науковці, які вважають такий варіант приєднання плуга найкращим [7]. Водночас, у реальних умовах експлуатації орного агрегату положення сили тяги трактора  $T_o$  в точці  $D_o$  (рис. 1) є непостійним.

У горизонтальній площині плуг приєднується до трактора не жорстко, а шарнірно: за двоточною або триточною схемами. Із-за цього орне знаряддя по суті є фізичним маятником, який відносно трактора здійснює у ґрунті незалежні кутові коливання у горизонтальній площині.

Але трактор і сам здійснює власні аналогічні коливання. Як результат, між поздовжніми осями симетрії трактора і плуга завжди існує кут. Нульове його значення є миттєвим і випадковим. Саме із-за цього в реальних умовах експлуатації орного агрегату точка  $D_o$  знаходиться у одному із трьох перемінних положень:

- 1) правіше осі ОУ;
- 2) у площині, яка проходить через вісь ОУ;
- 3) лівіше осі ОУ.

Третій варіант заслуговує більш ретельного аналізу. За умови роботи плуга із розміщенням його «центру опору» у т.  $D_2$  (рис. 1) силу тяги трактора  $T_2$  теж можна розкласти на дві складові: поздовжню  $T_{2v}$  и поперечну  $T_{2r}$ . Як і у варіанті з т.  $D_1$ , перша із цих сил виконує корисну роботу, а саме: переміщує плуг у напрямку руху трактора. Друга складова (тобто  $T_{2r}$ ) є теж ефективною, оскільки вона намагається «відштовхнути» плуг від стінки борозни. У підсумку це обумовлює розвантаження його польових дощок, із-за чого зменшується їх сила тертя об ґрунт.

Природа сили  $F_{tr}$  при цьому дещо змінюється і стає такою:

$$\Sigma F_{tr} = \Sigma P_Y \cdot \frac{C \cdot ctg(\varphi + \gamma) - d}{C/f_{tr} + d}. \quad (5)$$

Тепер розглянемо вплив параметра  $d$  на характер зміни сили тертя польових дощок  $\Sigma F_{tr}$  (рис. 1). Для прикладу розрахунки виразів (4) і (5) будемо здійснювати для орного агрегату у складі колісного трактора тягового класу 3 і плуга ПЛН-5-35 за таких умов. Поздовжню складову тягового опора плуга у вигляді суми сил  $\Sigma P_Y$  приймемо рівною 30 кН. Тобто

$$\Sigma P_Y = 30 \text{ кН.}$$

Значення інших параметрів, які входять до виразів (4) і (5), є такими:

$$C = 2.55 \text{ м; } \varphi = 28^\circ; \gamma = 42^\circ; f_{tr} = 0.5.$$

Аналіз розрахунків за виразом (4) показує, що за збільшення зміщення координати «центру опору» плуга  $d$  вправо сила тертя польових дощок плуга зростає. При збільшенні  $d$  від 0 до 40 см це зростання становить приблизно 3 кН або 54,5% (лінія 1, рис. 2). На практиці таке зміщення «центру опору» плуга призводить до зростання тягового опору плуга, збільшення буксування коліс трактора і зростання питомих витрат пального [3,7,11].

Водночас, за такого ж по поперечного, але лівостороннього переміщення «центру опору» плуга отримуємо практично таке ж зменшення сумарної сили тертя польових дощок об ґрунт (лінія 2, рис. 2). Унаслідок цього тяговий опір орного знаряддя зменшується. Меншими стають і буксування трактора та питомі витрати пального орним МТА [3,7].



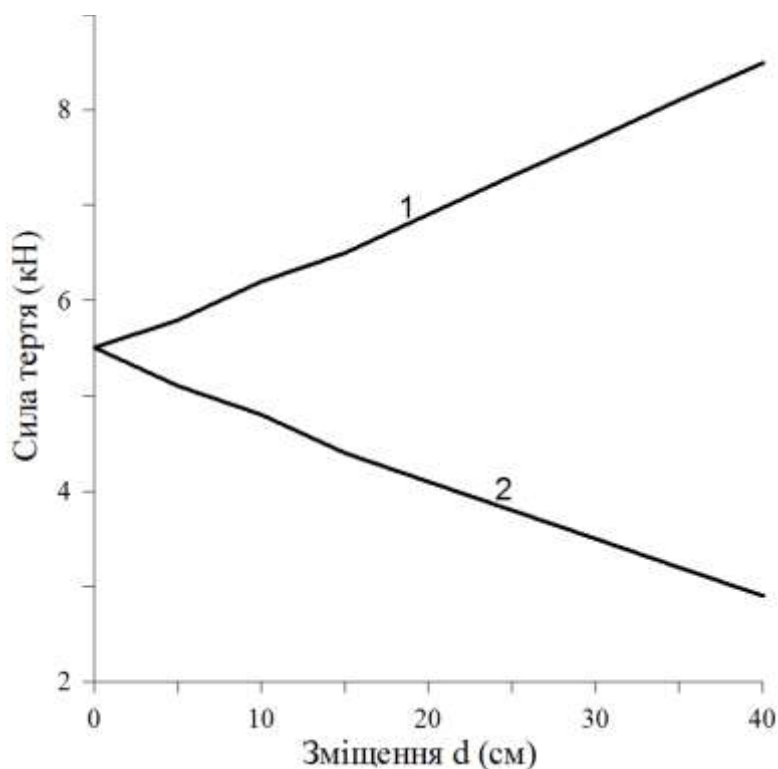


Рис. 2. Залежність сили тертя польових дощок плуга від величини правостороннього (1) і лівостороннього (2) поперечних зміщень «центру опору» плуга

Однак при цьому є слушним наступне міркування. За певної величини лівостороннього поперечного зміщення плуга може трапитися, що плуг втратить свою рівновагу у горизонтальній площині. Це може відбутися тоді, коли нормальна реакція ґрунту на польові дошки зменшиться до нуля і плуг критично відхилиться управо (при погляді на МТА ззаду).

Дослідженнями встановлено, що для унеможливлення такого явища повинна виконуватися наступна вимога [3]:

$$d \leq C \cdot ctg(\varphi + \gamma). \quad (6)$$

Слід підкреслити, що величина поперечного зміщення «центру опору» плуга  $d$  залежить від схеми руху орного машинно-тракторного агрегату на полі.

Таких нині існує дві:

- 1) рух трактора поза борозною;
- 2) рух трактора колесами одного борту у борозні.

Величина параметру  $d$  при цьому визначається наступним чином [4]:

- під час руху трактора поза борозною:

$$d = [B_k + 2 \cdot A + b - b_k \cdot (n + 1)]/2; \quad (7)$$

- під час руху трактора у борозні:

$$d = [B_k - b - b_k \cdot (n + 1)]/2, \quad (8)$$

де  $B_k$  – колія трактора;

$A$  – відстань від стінки борозни до крайки колеса трактора;

$b$  – ширина шини трактора;

$b_k$  – ширина захвату корпусу плуга;

$n$  – число корпусів плуга.

## 2 ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ОРНОГО АГРЕГАТУ НА ОСНОВІ ОРНО-ПРОСАПНОГО ТРАКТОРА СЕРІЇ ХТЗ-160

Відкритим акціонерним товариством «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» розроблено сімейство тракторів серії ХТЗ-160 інтегральної компоновки із жорсткою («нешарнірнозчленованою») рамою і однаковими рушійними, передні із яких – керовані. Збільшення їх діаметру до розміру задніх коліс обумовлено потребою у передньому навісному механізмі зі значно вищою, ніж у тракторів класичної компоновки, вантажопідйомністю.

### Коротка технічна характеристика трактора серії ХТЗ-16131

- потужність двигуна, кВт (к.с.)	139,7 (190)
- кількість передач переднього ходу	20
- кількість передач заднього ходу	20
	} реверсивна трансмісія
- база, мм	2860
- колія, мм	2100
- шини	16,9R38 ( $b = 430$ мм)
- маса експлуатаційна, кг	8260
- поздовжня координата центру мас, мм	1900

Задовільна поворотність тракторів з великим діаметром передніх керованих коліс може бути забезпечена лише за відповідної колії. Саме тому у енергозасобів ХТЗ серії 160 вона збільшена і становить 2100 мм. За такої колії досить важливим моментом є вибір схеми приєднання до нього плуга.

За своїми тягово-зчіпними властивостями трактори серії ХТЗ-16131 відносяться до енергетичних засобів тягового класу 3. На оранці в умовах півдня України вони потенційно можуть використовуватися принаймні з п'ятикорпусними ( $n = 5$ ) плугами типу ПЛН-5-35, для яких  $b_k = 350$  мм. Як показує практика роботи подібних орних МТА [7], при рухові трактора поза борозною величина  $A$  може становити 150 мм.

За руху ХТЗ-16131 з ПЛН-5-35 поза борозною з виразу (7) маємо:

$$d = \frac{2100 + 2 \cdot 150 + 430 - 350(5 + 1)}{2} = 365 \text{ мм.}$$

У варіанті руху ХТЗ-16131 з ПЛН-5-35 у борозні із виразу (8) отримуємо:

$$d = \frac{2100 - 430 - 350(5 + 1)}{2} = -215 \text{ мм.}$$

Як бачимо, за руху ХТЗ-16131 з п'ятикорпусним навісним плугом ПЛН-5-35 поза борозною «центр опору» даного орного знаряддя буде зміщений управо на 365 мм. А таке конструктивне рішення, як уже підкреслювалося вище, є енерговитратним, а тому недоцільним.

Навпаки, за умови руху даного трактора з означеним вище плугом правими колесами у борозні «центр опору» орного знаряддя буде зміщений у поперечному напрямку уліво на 215 мм. Умова (6) при цьому не буде порушена, оскільки дійсне значення величини  $d$ , яке становить 215 мм, не перевищує граничне, визначене із виразу (6).

Останнє в даному випадку дорівнює:

$$C \cdot ctg(\varphi + \gamma) = \frac{C}{tg(\varphi + \gamma)} = \frac{2550}{tg(28 + 42)} = \frac{2550}{tg(70)} = 928 \text{ мм.}$$

Тепер виникає питання як приєднати плуг ПЛН-5-35 до трактора ХТЗ-16131 так, аби забезпечити лівостороннє зміщення «центру опору» орного знаряддя на величину 215 мм? Для отримання відповіді на це запитання розглянемо наступну конструктивну схему орного агрегату (рис. 3).

При цьому першочергово слід визначитися зі схемою налаштування заднього навісного механізму розглядуваного трактора. Його конструкція, як відомо, допускає дві: доточкову та триточкову.

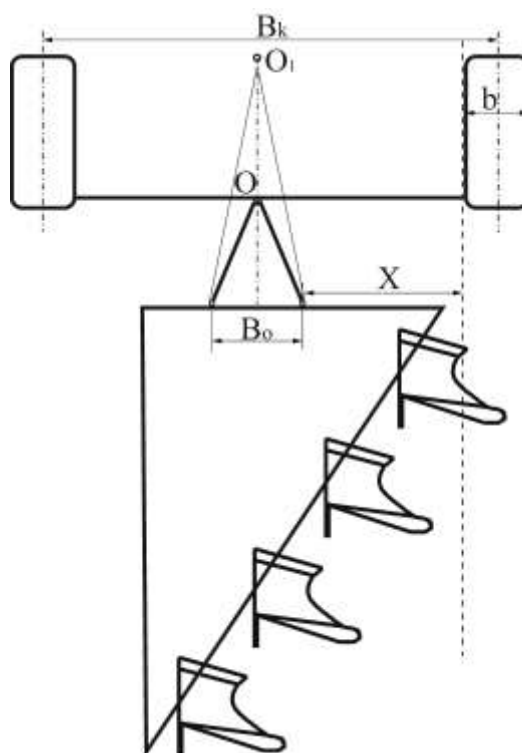


Рис. 3. Конструктивна схема приєднання плуга до трактора

Досить предметно ця проблема розглянута і описана у монографії [4]. У ній підкреслюється, що поява двоточної схеми налаштування заднього навісного механізму (ЗНМ) трактора (і то лише гусеничного!) обумовлена проблемою його агрегуванням з плугом. Як відомо, гусеничний енергетичний засіб змінює свій курсовий кут шляхом повороту усієї рами у горизонтальній площині. За малого кута сходження нижніх тяг його ЗНМ і більш-менш значного повороту трактора це може призводити до «викидання» плуга із борозни.

Для забезпечення більшої повороткості плуга відносно трактора [4] була запропонована двоточкова схема налаштування його ЗНМ. Так як кут сходження його нижніх тяг при цьому є більшим, то орне знаряддя зберігає стабільність свого положення у горизонтальній площині при тих максимальних кутах повороту трактора (до  $\pm 8^\circ$ ), які мають місце за реальних умов роботи орного МТА.

У цілому ж триточкова система налагодження ЗНМ трактора із-за високої універсальності є більш ефективною. Для її безпроблемного застосування при агрегуванні енергетичного засобу (у т.ч. і гусеничного) із плугом слід вибрати правильне значення кута сходження нижніх тяг ЗНМ трактора. У роботі [5]

викладено аналітичні залежності, які дозволять вирішити це питання з урахуванням конкретних значень відповідних конструктивних параметрів того чи іншого орного машинно-тракторного агрегату.

Ми ж будемо виходити із наступних міркувань. Насамперед розглянемо можливість вибору триточкової схеми. Причому налагодженої так, щоб точка сходження нижніх тяг заднього навісного механізму трактора (т.  $O_1$ , рис. 3) знаходилася на поздовжній осі симетрії енергетичного засобу і співпадала із поздовжньою координатою його центру мас. Як впливає із результатів досліджень [5], таке налаштування заднього навісного механізму трактора за його агрегування із плугом сприятиме максимальному зменшенню дії розворотного моменту, який формує орне знаряддя у процесі оранки.

Для цього спочатку визначимо величину конструктивного параметра  $X$  (див. рис. 3). Він є відстанню від різальної крайки полиці першого корпусу орного знаряддя до точки приєднання правої нижньої тяги ЗНМ трактора до рами плуга. Знайти цей параметр легко із наступного співвідношення (див. рис. 3):

$$X + \frac{B_o}{2} = \frac{B_k - b}{2},$$

де  $B_o$  – відстань між точками приєднання нижніх тяг ЗНМ трактора до рами плуга;

$B_k$  – колія трактора;

$b$  – ширина шини трактора.

Із приведено виразу маємо:

$$X = \frac{B_k - b - B_o}{2}.$$

Приймаючи рекомендовану для плуга ПЛН-5-35 величину  $B_o = 900$  мм, отримуємо:

$$X = (2100 - 430 - 900)/2 = 385 \text{ мм.}$$

Наступним кроком є забезпечення умови співпадання точки сходження нижніх тяг ЗНМ трактора з центром його мас (т.  $O_1$ , рис. 3). Для цього спочатку розглянемо триточкову схему навісного механізму енергетичного засобу у горизонтальній площині (рис. 4).

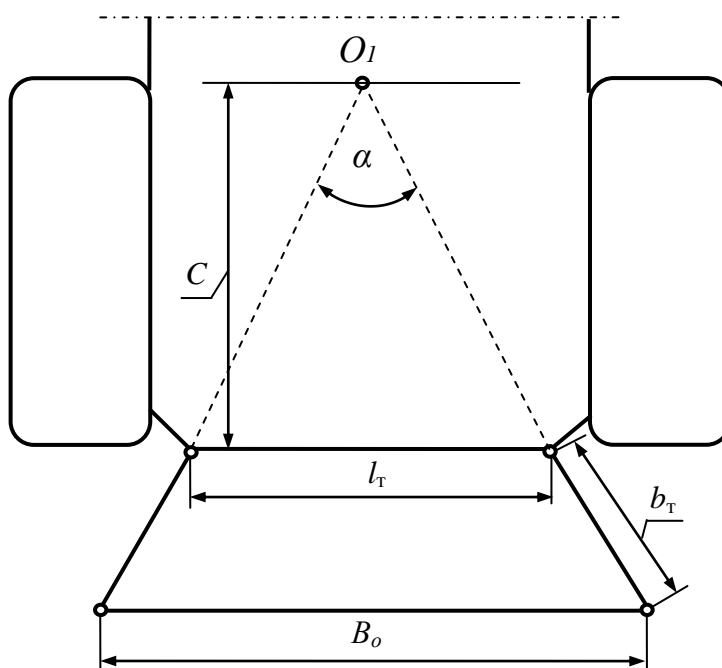


Рис. 4. Схема заднього навісного механізму трактора в плані

У монографії [4] відмічається, що співпадання точок сходження нижніх тяг ЗНМ трактора і його центру можливе за наступної умови:

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \frac{C \cdot (B_o - l_T)}{l_T \cdot b_T} \geq 0.38,$$

де  $\alpha$  – кут сходження нижніх тяг ЗНМ трактора в горизонтальній площині. Мінімальним його значенням є  $22^\circ$  або 0.38 рад.;

$b_T$  – довжина нижніх тяг ЗНМ трактора;

$C$ ,  $B_o$  і  $l_T$  – конструктивні параметри, природа яких зрозуміла із рис. 4.

Із приведеного виразу маємо:

$$\cos(0.19) = \frac{C \cdot (B_o - l_T)}{l_T \cdot b_T} = 0.982.$$

Звідси, своєю чергою, знаходимо параметр  $l_T$  – відстань між точками приєднання нижніх тяг ЗНМ трактора до його рами. Слід підкреслити, що конструкція заднього навісного механізму трактора ХТЗ-16131 дозволяє регулювати цей параметр.

Наразі отримуємо:

$$l_T = \frac{C \cdot B_o}{0.982 \cdot b_T + C}. \quad (9)$$

Для трактора ХТЗ-16131 значення конструктивних параметрів, які входять до рівняння (9), є такими:

$$C = 2540 \text{ мм};$$

$$B_o = 900 \text{ мм};$$

$$b_T = 970 \text{ мм}.$$

З урахуванням цього отримуємо, що  $l_T = 655 \text{ мм}$ .

Водночас, згідно з конструкцією трактора максимальне значення цього параметру може бути 597 мм. Аналіз рівняння (9) показує, що досягти такого значення параметру  $l_T$  можна за рахунок зменшення значення параметру  $B_o$ . Причому лише на 80 мм. Тобто величина параметру  $B_o$  має становити 820 мм. На практиці це досить легко реалізувати шляхом переустанови причіпних бугелів плуга. Цілком зрозуміло, що параметр  $X$  при цьому слід збільшити на 40 мм. Тобто:  $X = 385 + 40 = 425 \text{ мм}$ .

#### **У підсумку маємо:**

- 1) орний агрегат у складі трактора ХТЗ-16131 і п'ятикорпусного плуга ПЛН-5-35;
- 2) схема руху трактора з плугом під час оранки – правими колесами у борозні;
- 3) схема налаштування ЗНМ трактора – триточкова;
- 4) відстань між точками кріплення нижніх тяг ЗНМ трактора до рами плуга ( $B_o$ ) – 820 мм;
- 5) відстань від крайки полиці першого корпусу плуга до точки кріплення правої (при погляду на орний агрегат іззаду) нижньої тяги ЗНМ трактора до рами орного знаряддя ( $X$ ) – 425 мм;
- 6) відстань між точками кріплення нижніх тяг ЗНМ трактора до його рами ( $l_T$ ) – 597 мм;
- 7) лівостороннє поперечне зміщення «центру опору» плуга – 215 мм.

Для проведення польових випробувань даного орного агрегату навісний плуг ПЛН-5-35 і задній механізм трактора ХТЗ-16131 були відрегульовані у відповідності з викладеними вище вимогами.

### 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОРНОГО АГРЕГАТУ

У процесі експериментальних польових випробувань орного МТА здійснювали хронографію робочого дня за методикою, викладеною у Додатку А.

Під час випробувань агрегату додатково реєстрували та визначали наступні параметри:

- вологість ґрунту у шарі 0-30 см – 30 проб;
- щільність ґрунту у шарі 0-30 см – 30 проб;
- швидкість робочого руху МТА – 2 повторності (рух туди і назад);
- глибину оранки – 100 замірів з кроком 20 см;
- робочу ширину захвату – 30 замірів з кроком 1 м.

Для вимірювання вологості ґрунту використовували електронний вологомір під маркою МГ-44 (рис. 5б). Похибка вимірювання цим приладом не перевищує  $\pm 1\%$ .

Щільність ґрунту реєстрували розробленим у Таврійському ДАТУ способом [12]. Особливістю використовуваного при цьому щільноміру (рис. 5в) є те, що його електронні ваги безпосередню фіксують не вагу, а щільність ґрунту, виражену в  $\text{г/см}^3$ .

Для визначення швидкості руху орного МТА на полі з допомогою чотирьох віх виділяли дві залікові ділянки, довжиною по 100 м кожна. На цих ділянках досліджуваний орний агрегат рухався на одній і тій же передачі.

На кожній ділянці з допомогою механічного секундоміра з точністю до 0,02 с фіксували час її проходження орним агрегатом. Робочу швидкість його руху ( $V_p$ , м/с) визначали із наступного виразу:

$$V_p = \frac{2 \cdot 250}{t_1 + t_2} = \frac{500}{t_1 + t_2},$$

де  $t_1, t_2$  – час руху МТА на заліковій ділянці у напрямку туди і назад.

Для заміру глибини оранки використовували спеціально розроблений у Таврійському ДАТУ глибиномір (рис. 5а). Точність вимірювання цього приладу становить  $\pm 1$  см.





Рис. 5. Прилади для вимірювання глибини оранки (а), вологості ґрунту (б) і щільності агрофону (в).

Вимірювання робочої ширини захвату орного агрегату здійснювали за наступною методикою. Від стінки борозни попереднього проходу орного МТА у поперечному напрямку на відстані  $L = 2$  м установлювали 30 кілочків з кроком 1 м. Після проходу МТА здійснювали 30 замірів відстані  $h_i$  (рис. 6).

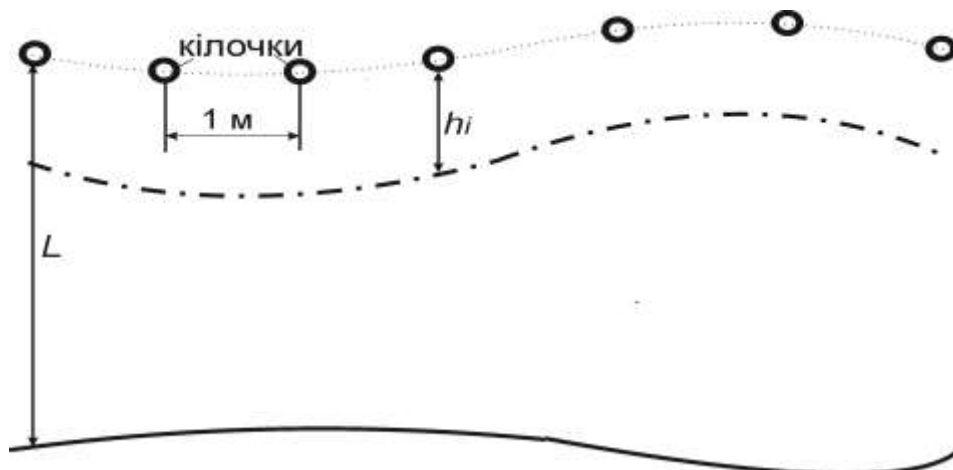


Рис. 6. Методика визначення ширини захвату орного МТА:  
 ————— — стінка борозни попереднього проходу орного МТА;  
 - - - - - — стінка борозни останнього проходу МТА.

Робочу ширину захвату орного агрегату у кожній вимірюваній точці знаходили із виразу:

$$B_p = L - h_i.$$

#### 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОРНОГО МТА

Машинно-тракторний агрегат у складі трактора ХТЗ-16131 і навісного п'ятикорпусного плуга, налаштований у відповідності до результатів викладених вище досліджень, здійснював оранку поля після попередника, яким була озима пшениця (рис. 7).



Рис. 7. Орний агрегат на базі ХТЗ-16131 в роботі

Грунтові умови польових випробувань агрегату відображені у табл. 1.

Таблиця 1

Умови проведення експлуатаційно-технологічної оцінки орних МТА

Показник	Значення
Тип ґрунту	Темно-каштановий
Рельєф	Рівний
Мікрорельєф	Вирівняний
Агротехнічний фон	Стерня озимої пшениці
Вологість ґрунту в шарі 0...30 см, %	19...21
Щільність ґрунту в шарі 0...30 см, г/см <sup>3</sup>	1,23...1,26

Аналіз результатів експериментальних польових випробувань агрегату показав, що середня швидкість його робочого руху становила 2,36 м/с або 8,5 км/год . За середнього значення робочої ширини захвату МТА 1,78 м продуктивність його роботи за 1 год основного (чистого) часу була 1,51 га (табл. 2).

Таблиця 2

## Експлуатаційно-технологічні показники роботи орного МТА

Показник	Значення
Склад МТА: трактор	ХТЗ-16031
плуг	ПЛН-5-35
Режим роботи :	
- ширина захвату, м	1,78
- швидкість робочого руху, км/год.	8,5
- встановлена глибина оранки, см	25
- довжина гону, м	1150
Об'єм виконаної роботи, га	32
Продуктивність роботи, га/год.:	
- основного часу	1,51
- змінного часу	1,33
- експлуатаційного часу	1,31
Питомі витрати палива, кг/га	13,8
Експлуатаційно-технологічні коефіцієнти :	
- використання змінного часу	0,88
- використання експлуатаційного часу	0,87
- надійності технологічного процесу	1,00
- використання робочих ходів	0,94
Агротехнічні показники:	
- середня значина глибини оранки, см	25,7
- стандарт глибини оранки, $\pm$ см	1,9
- коефіцієнт варіації глибини оранки, %	7,4
- стандарт ширини захвату, $\pm$ см	5,3
- коефіцієнт варіації ширини захвату, %	2,9
- наявність огріхів	відсутнє

Продуктивність роботи за 1 год змінного часу становила при цьому 1,33 га. Звідси випливає, що коефіцієнт використання часу зміни орним агрегатом дорівнює 0,88. Практично таким же високим (0,87) є і коефіцієнт використання орним агрегатом експлуатаційного часу.

Значення коефіцієнту надійності технологічного процесу на рівні 1,00 (див. табл. 2) вказує на те, що досліджуваний орний агрегат у процесі експлуатаційно-технологічних випробувань на площі 32 га практично не мав технологічних відмов.

Питомі витрати пального оцінюваним орним МТА склали 13,8 кг/га. За питомої ваги дизельного пального 0,86 г/см<sup>3</sup> – це 16,0 л/га. Це на 11% менше за той нормативний показник (18,0 л/га), який в ґрунтово-кліматичних умовах півдня України встановлено для аналогічних орних агрегатів на основі колісного трактора типу ХТЗ-170.

Тепер що стосується агротехнічних показників роботи. Середнє квадратичне відхилення глибини оранки (який ще називають стандартом) даним агрегатом дорівнює  $\pm 1,9$  см. Це не перевищує показник агротехнічних вимог, чинний на рівні  $\pm 2,0$  см [4]. Більше того, коефіцієнт варіації глибини оранки становить 7,4%. Оскільки це значення не перевищує 10%, то даний процес (тобто коливання глибини оранки) прийняти вважати низьковаріабельним, що є бажаним [13].

Низьковаріабельним є і процес коливання ширини захвату плуга, оскільки дійсне значення коефіцієнту варіації цього параметру, як показали результати експериментальних досліджень (див. табл. 2), не перевищує 3%.

## ВИСНОВКИ

1. Теоретичним розрахунками встановлено, що лівостороннє поперечне зміщення «центру опору» плуга відносно поздовжньої осі симетрії трактора обумовлює бажане зменшення сумарної непродуктивної сили тертя польових дощок об ґрунт. За даними проведених теоретичних досліджень збільшення такого (тобто лівостороннього) зміщення «центру опору» орного знаряддя від 0 до 40 см майже на 3 кН або 54,5% зменшує вказану силу тертя.
2. Для забезпечення агрегування трактора ХТЗ-16131 з лівостороннім поперечним зміщення «центру опору» плуга ПЛН-5-35 даний енергетичний засіб має рухатися колесами правого борту у борозні.
3. Задній навісний механізм трактора ХТЗ-6131 має бути налагоджений за триточковою схемою таким чином, щоб відстань між точками приєднання нижніх тяг цього механізму до рами енергетичного засобу дорівнювала 597 мм.
4. Відстань між точками приєднання нижніх тяг заднього навісного механізму трактора ХТЗ-16131 до бугелів плуга ПЛН-5-35 повинна становити 820 мм.
5. Показники якості роботи досліджуваного орного агрегату, налагодженого у відповідності із розробленими вимогами, відповідають агротехнічним вимогам. Так, стандарт коливань глибини оранки не перевищує нормативні  $\pm 2$  см, а коефіцієнт варіації, як і аналогічний показник коливань робочої ширини захвату плуга, є меншим за 10%.
6. За час здійснення оранки досліджуваним агрегатом на площі 32 га будь-яких відмов технологічного процесу не виявлено.
7. Питомі витрати паливом даним МТА на 11% менші за той нормативний показник (18,0 л/га), який в ґрунтово-кліматичних умовах півдня України встановлено для аналогічних орних агрегатів на основі колісного трактора типу ХТЗ-170.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Надикто В.Т. Механіко-технологічні аспекти оранки // Вісник аграрної науки. 2012. № 4. Р. 56–60.
2. Надикто В. Науково-практичні аспекти оранки // Техніка і технології АПК. 2017. № 5. Р. 10–15.
3. Надикто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств. Мелитополь: КП “ММД,” 2003. 240 р.
4. Булгаков В.М., Кравчук В.І., В.Т. Н. Агрегативання плугів. К.: Аграрна наука, 2008. 152 р.
5. Кутьков Г.М. et al. Выбор рациональной схемы агрегатирования мобильного энергетического средства с плугом // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1990. № 3. Р. 21–23.
6. Надикто В.Т. Агрегатирование МЭС с передненавесным плугом // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1994. № 7. Р. 21–23.
7. Надикто В.Т. Снижение энергозатрат пахотными МТА на основе МЭС // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1996. № 10. Р. 8–11.
8. Кюрчев В., Надикто В. Орний агрегат на основі трактора серії ХТЗ-160 // Техніка і технології АПК. 2010. № 4. Р. 5–7.
9. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 р.
10. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1965. 312 р.
11. Кутьков Г.М. et al. Модульное энерготехнологическое средство МЭС-300 кл. 3-5 // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 2. Р. 16–20.
12. Nadykto V., Kotov O. Method for determining soil bulk density (in Ukrainian: Sposib viznachennya shchilnosti gruntu): pat. UA 97828, G 01N 1/00 USA. Ukraine, 2015.
13. Lur'e A.B. Statistical dynamics of agricultural sets. L.: Kolos (in Russian), 1970. 376 р.