



Механізація, електрифікація

УДК 631.37

© 2022

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РАЦІОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКТУВАННЯ ОРНИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

В.В. Адамчук¹, В.М. Булгаков², В.Т. Надикто³, В.М. Кюрчев⁴,
В.Ф. Камінський⁵

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

^{3,4}доктори технічних наук, професори, члени-кореспонденти НААН

⁵доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

¹Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
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

^{3,4}Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна

⁵ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників 2б, смт Чабани Києво-Святошинського р-ну
Київської обл., 08162, Україна

e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com, ²vbulgakov@meta.ua,

³volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua, ⁴office@tsatu.edu.ua, ⁵iznaan@ukr.net

ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721, ³0000-0002-1770-8297,

⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-9668-6742

Надійшла 16.05.2022

Мета. Поліпшити експлуатаційно-технологічні параметри орного машинно-тракторного агрегату способом визначення умов раціонального поєднання конструктивних параметрів плуга й агрегатуєчого трактора. **Методи.** Теоретичні дослідження здійснено на підставі використання основ теоретичної механіки та теорії сільськогосподарських машин. Експериментальні дослідження орних агрегатів із визначенням їхніх тягових і експлуатаційно-технологічних показників виконано із застосуванням тензометричного та іншого спеціального мехатронного обладнання. **Результати.** Використання орного машинно-тракторного агрегата в складі колісного агрегатуєчого трактора ХТЗ-170 і начепленого позаду 5-корпусного плуга, налаштованого згідно із розробленою методикою, дало змогу збільшити продуктивність його роботи на 13,4% за одночасного зменшення питомих витрат пального на 15,2%. **Висновки.** Проведені дослідження дали змогу запропонувати методику налаштування орного машинно-тракторного агрегата, яка передбачає поєднання конструктивних параметрів плуга і трактора для забезпе-

чення найраціональнішого розміщення «центру опору» і точки приєднання першого щодо поздовжньої осі симетрії другого. За результатами польових експериментальних досліджень встановлено, що застосування розробленої методики агрегування колісного енергетичного засобу з орним знаряддям на основі трактора ХТЗ-170 з шинами 16,9R38 та 5-корпусного плуга ПЛН-5-35 порівняно із аналогічним машинно-тракторним агрегатом зі стандартними шинами 23,1R26 дало змогу збільшити продуктивність роботи на 13,4% за одночасного зменшення питомих витрат пального на 15,2%.

Ключові слова: оранка, плуг, польова дошка, борозна, агрегування, трактор.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202205-08>

Ефективність застосування колісного енергетичного засобу загального призначення у складі орного машинно-тракторного агрегата найбільше залежить від правильного співвідношення їхніх конструктивних параметрів. Як показує практика, ефективно використовувати плуги з різними енергетичними засобами є проблемою, на яку раніше не звертали потрібної уваги. А проблема ця дійсно існує і полягає у тому, що один і той самий плуг у одних і тих самих ґрунтових умовах за однакової ширини захвату і робочої швидкості руху за використання з різними тракторами може мати (і, як правило, має) різний тяговий опір [1, 2]. Такий результат зумовлений близькими значеннями ширини захвату цього ґрунтообробного знаряддя і шириною ходової системи використовуваного енергетичного засобу. Зазвичай, машина/знаряддя, конструктивна ширина захвату якої більша за ширину ходової системи трактора у 1,5 раза і більше, приєднується до нього симетрично. За близьких значень цих параметрів плуг досить часто агрегується із тяговим засобом асиметрично.

Нині використовують 2 варіанти навісного (як найбільш розповсюдженого) орного машинно-тракторного агрегату. Згідно з першим рушії одного із бортів трактора (здебільшого правого) в агрегаті з плугом переміщуються у борозні. За другим варіантом плуг приєднується до трактора так, що рушії останнього рухаються поза борозною.

Кожний із варіантів орного машинно-тракторного агрегата має свої недоліки і переваги, предметний аналіз яких через їхню достатню вивченість [3–8] не передбачений у цій статті. Натомість ретельніше

розглянемо особливості й умови правильного агрегування плуга за кожним із них.

Мета досліджень — поліпшити експлуатаційно-технологічні параметри орного машинно-тракторного агрегата способом визначення умов раціонального поєднання конструктивних параметрів плуга й агрегуючого трактора.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження здійснено на підставі використання основ теоретичної механіки та теорії сільськогосподарських машин.

Експериментальні дослідження різних орних агрегатів проведено у польових умовах Півдня України на темно-каштановому ґрунті з умістом у шарі розміром 0–20 см: гумусу — 2,5%; азоту — 21,2; фосфору — 38,5 і калію — 295 г на 1 кг ґрунту.

Визначення тягових і експлуатаційно-технологічних показників орних машинно-тракторних агрегатів передбачало використання тензометричного й іншого мехатронного обладнання. Методику його застосування для вимірювання оцінюваних показників (швидкості руху і ширини захвату машинно-тракторного агрегата, буксування рушіїв агрегуючого трактора, питомих витрат пального та ін.) наведено в праці [9].

Результати досліджень і їх обговорення. Найпоширенішим варіантом приєднання плуга до енергетичного засобу загального призначення є налаштування його заднього навісного механізму за 2-точковою схемою (рис. 1 і 2).

Одна із цих точок (точка S) є геометричним місцем перетину нижніх тяг заднього навісного механізму трактора. Друга точка розташована у місці приєднання центральної тяги заднього навісного механізму

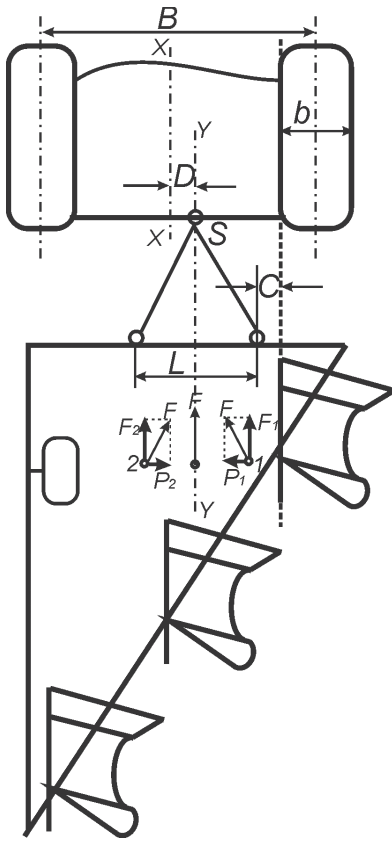


Рис. 1. Схема орного агрегата за умови руху трактора у борозні

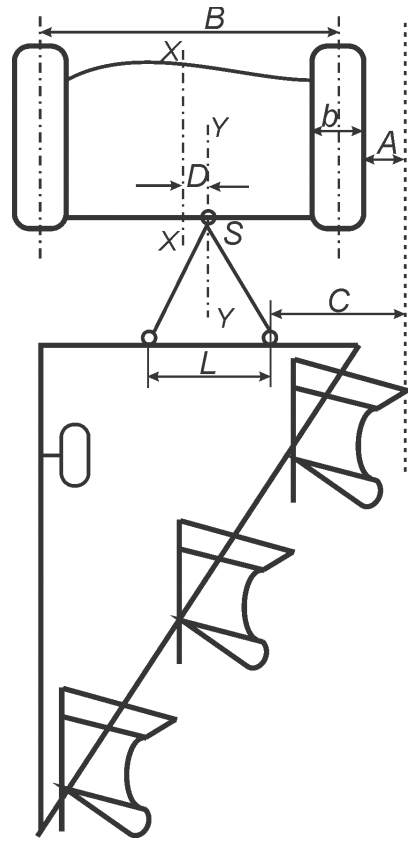


Рис. 2. Схема орного агрегата за умови руху трактора поза борозною

трактора до його рами. За правильного агрегування плуга ці точки мають знаходитися в одній поздовжньо-вертикальній площині і бажано на одній вертикальній осі. Хоча таке буває не завжди.

Щодо поздовжньої осі симетрії трактора (пряма $X-X$) точка S як реальна точка приєднання до нього плуга може займати 3 положення [9], а саме: 1) бути правіше осі $X-X$ на відстані D (як це показано на рис. 1 і 2); 2) знаходитися на осі симетрії трактора $X-X$; 3) бути лівіше цієї осі на відстані D .

Перше і третє положення точки S є небажаними. В обох випадках сила опору плуга (позначимо як $P_{кр}$) на плечі D створюватиме небажаний розворотний момент, який дорівнюватиме $M = P_{кр} \cdot D$. За умови правостороннього розміщення точки S цей момент намагатиметься розвернути трактор

за годинниковою стрілкою. Саме це і дуже часто спостерігається у польових умовах.

За умови лівостороннього положення точки S розворотний момент M , який створюється, навпаки, намагатиметься повернути агрегуючий трактор у напрямі проти руху годинникової стрілки.

У варіанті симетричного приєднання плуга (тобто коли $D=0$) розворотний момент M від дії сили тягового опору плуга зникає. Проте це відбувається тільки тоді, коли між поздовжніми осями симетрії орного знаряддя (вісь $Y-Y$) і агрегуючого трактора (вісь $X-X$) немає кута у горизонтальній площині.

У реальних експлуатаційних умовах орних машинно-тракторних агрегатів такий кут завжди є, оскільки плуг і агрегуючий трактор постійно намагаються повертатись вліво (або вправо) щодо один одного завдяки статистичній природі зовнішніх

навантажень. Унаслідок цього тяговий опір плуга $P_{кр}$ проявляється у вигляді двох складових: поздовжньої і поперечної. І якщо за симетричного приєднання орного знаряддя до агрегатуючого трактора (коли $D=0$) поздовжня складова тягового опору плуга не створює розворотного моменту, то поперечна складова, навпаки, це робить. До речі, істотно зменшити (але не до нуля) розворотний момент від дії поперечної складової тягового опору плуга можна саме застосуванням 3-точкової схеми заднього навісного механізму трактора [10]. А от зведення до нуля цього моменту можливе тільки при застосуванні так званого «маятникового» причіпного пристрою. На жаль, конструкцією сучасних тракторів вони практично не передбачені.

Отже, оптимальне приєднання плуга до агрегатуючого трактора матиме місце за умови, коли $D=0$. Якщо вважати, що рух агрегатуючого трактора відбувається поза борозною (див. рис. 2), то цю умову описує таке рівняння:

$$D = (B + b + 2A - L - 2C) \cdot 2^{-1} = 0, \quad (1)$$

де B — колія трактора; b — ширина шини задніх коліс енергетичного засобу; A — відстань від крайки шини заднього колеса трактора до стінки борозни; L — відстань

між приєднувальними бугелями плуга; C — відстань від правого приєднувального бугеля плуга до кінця леміша його переднього корпусу.

У варіанті руху трактора правими колесами у борозні (див. рис. 1) умову симетричного приєднання плуга описує таке рівняння:

$$D = (B - b - L - 2C) \cdot 2^{-1} = 0. \quad (2)$$

У процесі формування орного машинно-тракторного агрегата умови, що описані виразами (1) і (2) можуть бути досягнутими способом відповідного підбору геометричних параметрів B , A , L і C . Проте зробити це, на жаль, не завжди вдається. *По-перше*, колія багатьох сучасних колісних тракторів змінюється ступінчасто. І досить часто саме це заважає успішно розв'язати обговорюване нами завдання. *По-друге*, конструкція плуга має передбачати можливість поперечного переміщення приєднувальних бугелів, наприклад, як це показано на рис. 3.

На жаль, у багатьох плугів такої опції немає, а це, своєю чергою, не дає змоги здійснити правильний вибір параметрів L і C (див. рис. 1 і 2) та забезпечити тим самим симетричне приєднання орного знаряддя до агрегатуючого трактора.

Що стосується параметра A , тобто відстані від крайки шини заднього колеса

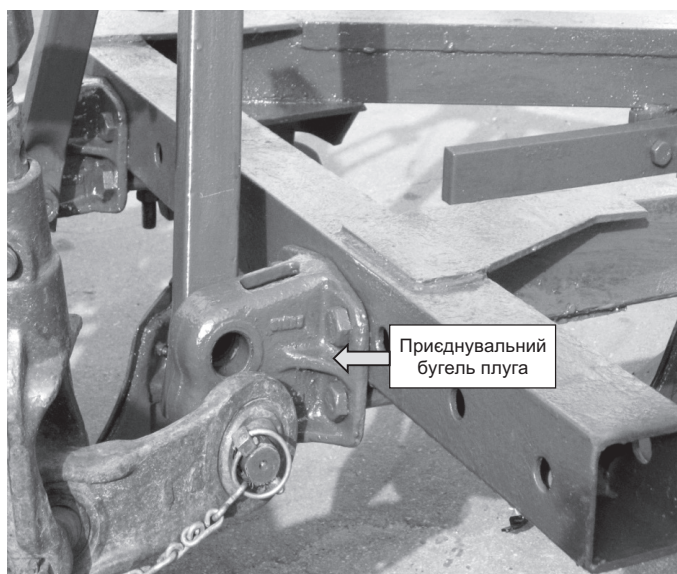


Рис. 3. Розміщення приєднувального бугеля плуга на його рамі

трактора до стінки борозни, то методика його вибору може бути такою. На механічно слабких ґрунтах величину A рекомендується приймати рівною глибині оранки [1]. На думку багатьох фахівців, це запобігає руйнуванню стінки борозни під час руху орного машинно-тракторного агрегату.

За результатами раніше проведеного нами дослідження, у ґрунтових умовах Півдня України величина параметра A має бути такою, яка б унеможливила сповзання коліс правого борту трактора у борозну. Для цього, як підтверджує багаторічна практика, значення величини A достатньо витримувати у межах 10–12 см [1].

Слід підкреслити, що симетричне приєднання плуга до трактора — це не єдина і не основна проблема ефективного агрегування цього ґрунтообробного знаряддя. Важливішим є завдання, розв'язання якого маловідоме. Справа у тому, що усі сили, які діють на плуг у горизонтальній площині, умовно можна сконцентрувати в одній точці, яку прийнято називати «центром опору». Ефективність агрегування плуга істотно залежить від місця розташування цього «центру» у горизонтальній площині щодо поздовжньої осі $Y-Y$, яка проходить крізь точку S приєднання орного знаряддя до трактора (див. рис. 1 і 2).

Щодо вказаної осі $Y-Y$ «центр опору» плуга може займати також 3 положення: 1) бути правіше неї (точка 1, рис. 1); 2) знаходитися лівіше цієї осі (точка 2, рис. 1); 3) розташовуватися на самій осі $Y-Y$.

За умови правостороннього розміщення «центру опору» плуга щодо осі $Y-Y$ (тобто у точці 1, рис. 1) силу тяги трактора F можна зобразити у вигляді двох складових: поздовжньої F_1 і поперечної P_1 . Перша із цих складових виконує корисну роботу, переміщуючи плуг у поздовжньому (робочому) напрямку. Друга складова (тобто сила P_1) є контрпродуктивною, оскільки намагається додатково притиснути плуг до стінки борозни. За даними дослідження, сила тертя польових дощок орного знаряддя об ґрунт при цьому збільшується на 15–20% [10]. У підсумку правостороннє поперечне зміщення «центру опору» плуга призводить до небажаного зростання його тягового опору, збільшення буксування рушіїв трактора

і відповідного зростання питомих витрат пального за одночасного зменшення продуктивності роботи орного агрегата.

Коли «центр опору» плуга розташований на осі $Y-Y$ (див. рис. 1), то додаткового притискання плуга до стінки борозни практично немає. Водночас таке положення «центру опору» орного знаряддя є тимчасовим і нестійким. Адже, як уже підкреслювалося вище, між віссю $Y-Y$ і поздовжньою віссю симетрії трактора $X-X$ практично завжди є кут. Через це «центр опору» плуга займає «плаваюче» положення, переважно знаходячись або правіше, або лівіше осі $X-X$.

Проаналізуємо варіант розміщення «центру опору» плуга лівіше щодо осі плуга $Y-Y$ (точка 2, рис. 1). У цьому разі тягова сила трактора F також має дві складові. Перша із них F_2 здійснює поздовжнє переміщення плуга, а друга — P_2 намагається відштовхнути плуг від стінки борозни. При цьому сила P_2 здійснює корисну роботу, оскільки завдяки її дії зменшується сила тертя польових дощок плуга об ґрунт. Завдяки цьому тяговий опір плуга, буксування рушіїв трактора і питомі витрати пального орним машинно-тракторним агрегатом зменшуються приблизно на ті самі 15–20% [10].

З огляду на це за лівостороннього поперечного зміщення «центру опору» плуга всі його польові дошки, крім останньої, можна знімати (рис. 4).

За результатами наших досліджень [1, 10], стійкість руху плуга у горизонтальній площині при цьому не погіршується, а от витрати пального орним агрегатом зменшуються.

Отже, найефективніше використання плуга можливе за лівостороннього поперечного зміщення його «центру опору» щодо поздовжньої осі симетрії трактора. За руху трактора поза борозною (див. рис. 2) досягти цього можна за умови:

$$b_k \cdot (n+1) \geq L + 2C, \quad (3)$$

де b_k — ширина захвату одного корпусу плуга; n — кількість цих корпусів.

У варіанті руху трактора рушіями у борозні (див. рис. 1) умова (3) є іншою:

$$b_k \cdot (n-1) \geq L + 2C. \quad (4)$$

Дотриматися цих умов можна підбором параметрів L та C . Про негаразди, пов'язані із цим вибором, уже було зазначено вище.



Рис. 4. *Вигляд плуга із польовою дошкою, яка закріплена тільки на його останньому корпусі*

Якщо порівнювати між собою аналітичні умови згідно з виразами (1) і (2) — з одного боку, та виразами (3) і (4) — з другого, то більш визначальними є дві останні. Невиконання умов згідно з виразами (1) і (2) призводить до появи розглянутого вище розворотного моменту $M = P_{кр} \cdot D$. Тяговий опір плуга і зумовлені ним тягово-енергетичні показники орного машинно-тракторного агрегата при цьому істотно не змінюються. Натомість, недотримання умов згідно з виразами (3) і (4) призводить до істотного погіршення саме тягово-енергетичних показників орного машинно-тракторного агрегата, що фактично є небажаним.

З огляду на це методика правильного приєднання задньоначіпного плуга до колісного агрегатуючого трактора така:

- із технічного паспорта обраної марки агрегатуючого трактора визначають його колію B і ширину шин задніх пневматичних коліс b ;

- для обраного плуга установлюють: ширину захвату корпусу b_k , кількість корпусів n , відстань між приєднувальними бугелями L і параметр C . Значення останнього вимірюють для обох передбачуваних варіантів налагодження орного машинно-тракторного агрегата (див. рис. 1 і 2);

- оцінюють можливість виконання вимог, які описані аналітичними виразами (1), (2), (3) і (4);

- у разі неповного виконання або невиконання цих вимог обирають компромісний варіант, віддаючи при цьому перевагу саме

умовам, які зумовлені аналітичними виразами (3) і (4).

Втілення цієї методики можна відтворити, якщо провести конкретні розрахунки, використовуючи як агрегатуючий вітчизняний трактор серії ХТЗ-170 і навісний плуг ПЛН-5-35.

Так, колія коліс цього енергетичного засобу є незмінною і становить 1860 мм (тобто $B = 1,86$ м). Трактор ХТЗ-170 обладнаний пневматичними шинами 23,1R26, для яких $b = 0,59$ м. Параметри агрегатуючого плуга ПЛН-5-35 є такими: $n = 5$; $b_k = 0,35$ м. Відстань L є практично незмінною і становить 0,9 м. Значення параметра C вибирається із таких логічних міркувань. Оскільки ширина захвату корпусу плуга ПЛН-5-35 становить 0,35 м, а ширина пневматичної шини трактора ХТЗ-170 — 0,59 м, то рух останнього своїми колесами у борозні технічно можливий, а от технологічно — відповідно до цілком зрозумілих причин — категорично ні.

Для варіанта руху цього агрегатуючого трактора поза борозною параметр C для плуга ПЛН-5-35 становить 0,75 м. До речі, в останніх варіантах конструкції цих плугів даний параметр, на жаль, є також технічно незмінним. Щодо величини параметра A , то її приймаємо за 0,10 м.

За таких вихідних даних спочатку перевіряємо виконання умови згідно з виразом (3). Наразі маємо $b_k \cdot (n + 1) = 0,35 \cdot (5 + 1) = 2,10$ м, що є дещо меншим за $L + 2 \cdot C = 0,90 + 2 \cdot 0,75 = 2,40$ м. Тобто умова (3) не виконується. Отже, за такого приєднання

плуга ПЛН-5-35 до трактора ХТЗ-170 «центр опору» орного знаряддя буде дещо зміщений у поперечному напрямку вправо щодо осі $Y-Y$ (див. рис. 2) на величину, яка дорівнює різниці: $2,40 - 2,10 = 0,30$ м. Через це його тяговий опір стане істотніше більшим, що призведе до негативних наслідків.

Перевірка умови згідно з аналітичним виразом (1) свідчить, що саме за такого приєднання цього плуга до агрегуючого колісного трактора ХТЗ-170 величина D становитиме: $D = (1,86 + 0,59 + 2 \cdot 0,10 - 0,90 - 2 \cdot 0,75) \cdot 2^{-1} = 0,125$ м. Тобто замість симетричного маємо асиметричне агрегування цього орного знаряддя. Як уже підкреслювалося вище, це призведе до того, що сила тягового опору плуга (що становитиме 30–35 кН) на плечі 0,125 м створить постійно діючий розворотний момент, який намагатиметься повернути трактор за годинниковою стрілкою (тобто у напрямку до вже зораної частини поля). Це свідчить про те, що розглянуте приєднання плуга ПЛН-5-35 до трактора ХТЗ-170 є неефективним. Слід зауважити, що, наприклад, агрегуючий колісний трактор Т-150К (який раніше широко використовувався під час оранки), який мав вужчі на 4,5 см пневматичні шини і колія його коліс становила 1,68 м проти 1,86 м

у ХТЗ-170, краще агрегувався з аналізованим плугом. В агрегаті з ним плуг ПЛН-5-35 хоч і мав правостороннє поперечне зміщення «центру опору» на рівні 0,30 м, але міг приєднуватися до трактора практично симетрично.

Проведеними нами дослідженнями встановлено, що агрегуючий колісний трактор серії ХТЗ-170 потрібно обладнати шинами 16,9R38, ширина яких становить 0,43 м. Це, насамперед, дає змогу налаштовувати цей енергетичний засіб з плугом ПЛН-5-35 для руху правими колесами у борозні. Хоча найкраще для цього підходить плуг, ширина захвату корпусів якого становить 0,40–0,45 м.

На рамі плуга ПЛН-5-35 його приєднувальні бугелі потрібно переставити так, щоб параметр C (див. рис. 1) становив 0,25 м. Із виразу (4) отримуємо: $b_k \cdot (n-1) = 0,35 \cdot (5-1) = 1,40$ м. У такому разі це точно відповідатиме величині $L + 2 \cdot C = 0,90 + 2 \cdot 0,25 = 1,40$ м. У підсумку, виконання умови згідно з виразом (4) досягнуто.

Далі потрібно оцінити величину параметра D . Згідно з аналітичним виразом (2) $D = (1,86 - 0,43 - 0,90 - 2 \cdot 0,25) \cdot 2^{-1} = 0,015$ м (тобто 1,5 см). Виходить, що за умовами згідно з виразами (2) і (4) плуг ПЛН-5-35 зі зміщеними бугелями можна



Рис. 5. Орний машинно-тракторний агрегат на основі трактора ХТЗ-170 із шинами 16,9×38 під час проведення польових експериментальних досліджень

Експлуатаційно-технологічні показники роботи орного машинно-тракторного агрегата

Показник	Типорозмір шин	
	16,9R38	23,1R26
Склад машинно-тракторного агрегата:		
трактор	ХТЗ-170	
плуг	ПЛН-5-35	
Режим роботи:		
ширина захвату, м	1,76	1,77
швидкість робочого руху, км·год ⁻¹	8,64	7,56
встановлена глибина оранки, см	25	
Об'єм виконаної роботи, га	21	
Продуктивність роботи, га·год ⁻¹ :		
основного часу	1,52	1,34
змінного часу	1,34	1,17
Питомі витрати пального, кг·га ⁻¹	14,5	17,1
Експлуатаційно-технологічні коефіцієнти:		
використання змінного часу	0,88	0,87
надійності технологічного процесу	0,99	0,99
використання робочих ходів	0,92	0,91
Агротехнічні показники, см:		
середнє значення глибини оранки	24,5±0,3	24,9±0,2
стандарт глибини оранки	±1,7	±1,9
стандарт ширини захвату	±5,3	±6,0

приєднати до трактора серії ХТЗ-170, обладнаного шинами 16,9R38, практично симетрично.

Проведені нами польові експериментальні дослідження і випробування орного

машинно-тракторного агрегата такого складу (рис. 5) здійснювали в умовах, де в шарі ґрунту 0–25 см вологість становила 18,1%; твердість — 2 МПа; щільність ґрунту — 1,27 г·см⁻³.



Рис. 6. Орний машинно-тракторний агрегат на основі агрегатуючого колісного трактора ХТЗ-170, обладнаного пневматичними шинами 23,1R26

Плуг ПЛН-5-35 був відрегульований на глибину оранки 25 см. Орний машинно-тракторний агрегат рухався з поступальною швидкістю $2,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Робоча ширина захвату орного агрегата — 1,76 м (таблиця).

Дійсне середнє значення глибини оранки змінювалось у межах $24,50 \pm 0,30 \text{ см}$. Середнє квадратичне відхилення цього показника ($\pm 1,7 \text{ см}$) не перевищувало агро-технічно допустиме ($\pm 2 \text{ см}$). Продуктивність дослідного орного машинно-тракторного агрегата за 1 год основного часу у середньому становила 1,52 га. Буксування рушіїв трактора не перевищувало 11%, а питомі витрати пального були на рівні $14,5 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$.

За використання на одному і тому самому полі трактора ХТЗ-170 зі штатними шинами 23,1R26 і плугом ПЛН-5-35 без

переобладнання (рис. 6) швидкість робочого руху цього агрегата була меншою і становила $7,56 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ (див. таблицю) за продуктивності основної роботи на рівні $1,34 \text{ га} \cdot \text{год}^{-1}$. Буксування рушіїв трактора становило при цьому 13%, а питомі витрати пального — $17,1 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$.

Цілком імовірно, що таке поліпшення показників орного машинно-тракторного агрегата на основі трактора ХТЗ-170 з нештатними рушіями 16,9R38 зумовлене ефективною схемою його агрегування з плугом. Остання, як підкреслювалося вище, характеризується відсутністю правостороннього поперечного зміщення «центру опору» орного знаряддя з одночасним майже симетричним його приєднанням до колісного енергетичного засобу (трактора).

Висновки

Проведені дослідження дали змогу запропонувати методику налаштування орного машинно-тракторного агрегата, яка передбачає поєднання конструктивних параметрів плуга і трактора для забезпечення найраціональнішого розміщення «центру опору» і точки приєднання першого щодо поздовжньої осі симетрії другого.

За результатами польових експериментальних досліджень встановлено, що

застосування розробленої методики агрегування колісного енергетичного засобу з орним знаряддям на основі трактора ХТЗ-170 з шинами 16,9R38 та 5-корпусного плуга ПЛН-5-35 порівняно із аналогічним машинно-тракторним агрегатом зі стандартними шинами 23,1R26 дало змогу збільшити продуктивність роботи на 13,4% за одночасного зменшення питомих витрат пального на 15,2%.

Adamchuk V.¹, Bulhakov V.², Nadykto V.³, Kiurchev V.⁴, Kaminskiy V.⁵

¹Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of NAAS, 11 Vokzalna Str., Glevakha vil., Fastiv district, Kyiv oblast, Ukraine, 08631; ²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroyiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, 03041; ³⁴Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, 18 B. Khmelnytskyi Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, Ukraine, 72310; ⁵National Science Center of the Institute of Agriculture of NAAS, 2-b Mashynobudivnykiv Str., Chabany vil., Kyiv-Sviatoshyn dist., Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com; ²vbulgakov@meta.ua; ³volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua; ⁴office@tsatu.edu.ua; ⁵iznaan@ukr.net; ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721, ³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-9668-6742

Research of conditions of rational build-up of arable machine tractor units

Goal. To improve the operational and technological parameters of the plowing machine-tractor unit by determining the conditions of the rational combination of constructive parameters of the plow and the aggregating tractor. **Methods.** Theoretical research was carried out based on using the basics of theoretical mechanics and the theory of agricultural machinery. Experimental studies of plowing units to the determination of their traction and operational-technological indicators were performed with the use of strain gauges and other special mechatronic equipment. **Results.** The use of an arable machine-tractor unit as a part of the KhTZ-170 wheeled aggregate tractor and a 5-body plow attached to the rear, adjusted according to the developed methodology, allowed to increase its productivity by 13.4% while reducing specific fuel consumption by 15.2%. **Conclusions.** The research

made it possible to propose a method of adjusting the plow machine-tractor unit, which involves a combination of design parameters of the plow and tractor to ensure the most rational placement of the «center of bearing part» and the point of attachment of the first relative to the longitudinal axis of symmetry of the second. According to the results of field experimental studies, it was found that the application of the developed method of aggregation

of wheeled power tools with plow implements based on KhTZ-170 tractor with 16.9R38 tires and 5-body plow PLN-5-35 compared to similar machine tractor unit with standard 23.1R26 tires allowed to increase productivity by 4% with reducing the specific fuel consumption by 15.2%.

Key words: *plowing, plow, field board, furrow, aggregation, tractor.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202205-08>

Бібліографія

1. Надикто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств. Мелитополь: КП «ММД», 2003. 240 с.

2. Кутьков Г.М., Габай Е.В., Капиновский В.И. и др. Выбор рациональной схемы агрегатирования мобильного энергетического средства с плугом. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1990. № 3. С. 20–22.

3. Simikić M., Dedović N., Savin L. et al. Influence of eccentric drawbar force on power delivery efficiency of a wheeled tractor. *Turkish J. of Agriculture and Forestry*. 2012. V. 36. P. 486–500. doi: 10.3906/tar-1012-1616

4. Bauer F., Porteš P., Polcar A. et al. Differences in the wheel loads and contact pressure of the in-furrow and on-land rear tractor tyres with mounted and semi-mounted ploughs. *Soil and Tillage Research*. 2022. V. 215. P. 105190. doi: 10.1016/j.still.2021.105190

5. Лобачевский Я.П., Панов А.И., Панов И.М. Перспективные направления совершенствования лемешно-отвальных плугов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2000. № 5. С. 23–26.

6. Heiß A., Paraforos D.S., Griepentrog H.W.

Determination of cultivated area, field boundary and overlapping for a plowing operation using ISO 11783 communication and D-GNSS position data. *Agriculture*. 2019. V. 9. P. 1–17. doi: 10.3390/agriculture9020038

7. Kim Y.S., Kim T.J., Kim Y.J. et al. Development of a Real-Time Tillage Depth Measurement System for Agricultural Tractors: Application to the Effect Analysis of Tillage Depth on Draft Force during Plow Tillage. *Sensors (Basel)*. 2020. V. 20. P. 912. doi: 10.3390/s20030912

8. Trendafilov K. Theoretical determination of the width of strip for turning when ploughing with trailed and semi-mounted reversible ploughs in a field with irregular shape. *Agriculture Science and Technology*. 2014. V. 2. P. 218–220.

9. 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. 1–8. doi: 10.4081/jae.2021.1109

10. Булгаков В.М., Кравчук В.І., Надикто В.Т. Агрегативання плугів. Київ: Аграрна наука, 2008. 152 с.