

# ЯК ПРАВИЛЬНО ПРИЄДНАТИ ПЛУГ ДО КОЛІСНОГО ТРАКТОРА

**Володимир НАДИКТО**, член-кореспондент НААН України  
*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

Майже 2 століття пройшло від того часу, коли людство винайшло плуг. Проте, як показує практика, ефективно використовувати його воно так і не навчилось. Причина цього явища полягає у тому, що один і той же плуг у одних і тих же ґрунтових умовах за однакової ширини захвату і робочої швидкості руху при використанні з різними тракторами може мати (і, як правило, має) різний тяговий опір. Такий результат обумовлений 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 разів і більше, приєднується до нього симетрично. За близьких значень цих параметрів плуг досить часто агрегується із тяговим засобом асиметрично.

Нині використовуються два варіанти навісного (як найбільш розповсюдженого) орного машинно-тракторного агрегату (МТА). Згідно з першим рушії одного із бортів трактора (як правило правого) в агрегаті з плугом переміщуються у борозні (рис. 1). За другим варіантом плуг приєднується до трактора так, що рушії останнього рухаються поза борозною (рис. 2).

Кожний із варіантів орного МТА має свої недоліки і переваги, предметний аналіз яких із-за їх достатньої вивченості не передбачений у даній статті. Натомість, більш ретельно розглянемо особливості і умови правильного агрегування плуга за кожним із них.

На приведених вище рисунках показане приєднання плуга до енергетичного засобу за налаштування його заднього навісного механізму (ЗНМ) за двоточковою схемою. Одна із цих точок (S) є геометричним місцем перетину нижніх тяг ЗНМ трактора. Друга точка розташована у місці приєднання центральної тяги заднього навісного механізму трактора до його рами. За правильного агрегування плуга ці точки мають знаходитися у одній поздовжньо-вертикальній площині і бажано (як на рис. 1. і рис. 2) на одній вертикальній осі. Хоча це буває не завжди.

Крім двоточнової досить розповсюдженою є триточкова схема налаштування ЗНМ трактора. На мій погляд саме їй слід віддавати перевагу. Пояснення такої точки зору буде викладено нижче.

По відношенню до поздовжньої осі симетрії трактора Х-Х точка S, як реальна точка приєднання до нього плуга, у принципі може займати 3 положення. А саме: 1) бути правіше осі Х-Х на відстані D (як на рис. 1 і 2); 2) знаходитися на осі симетрії трактора; 3) бути лівіше цієї осі на відстані D.

Перше і третє положення т. S є небажаними. В обох випадках сила опору плуга (позначимо її як  $P_{кр}$ ) на плечі D створюватиме небажаний розворотний момент  $M = P_{кр} \cdot D$ . За умови правостороннього розміщення т. S він намагатиметься розвернути трактор за годинниковою стрілкою. Саме це ми дуже часто бачимо у польових умовах.

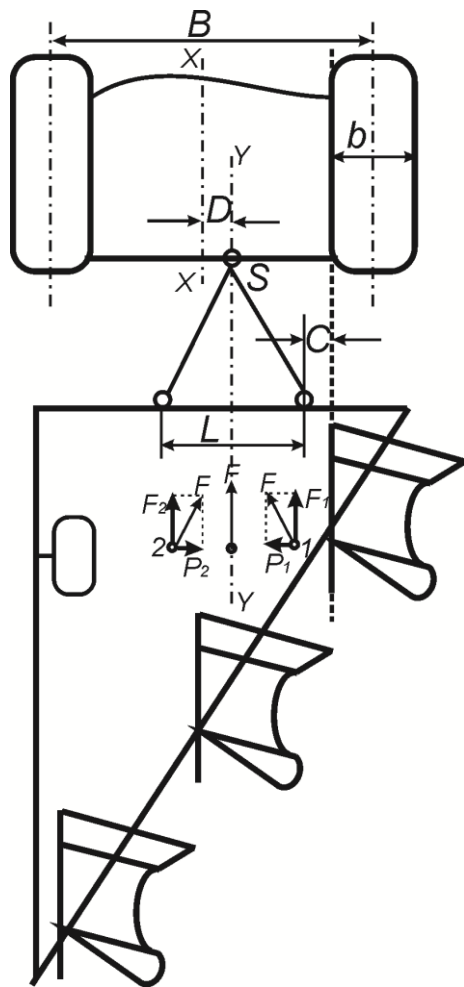


Рис. 1. Схема орного агрегату за умови руху трактора у борозні

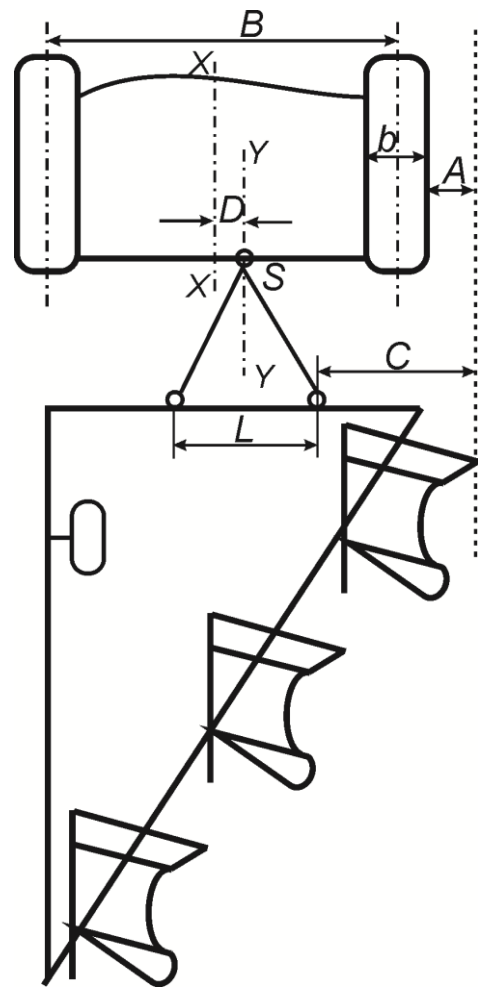


Рис. 2. Схема орного агрегату за умови руху трактора поза борозною

За умови лівостороннього положення т. S – розворотний момент  $M$  намагатиметься повернути трактор проти ходу годинниковою стрілкою.

У варіанті симетричного приєднання плуга (тобто коли  $D = 0$ ) розворотний момент від дії сили тягового опору плуга зникає. Але це має місце тільки тоді, коли між поздовжніми осями симетрії орного знаряддя (вісь  $Y-Y$ ) і трактора (вісь  $X-X$ ) відсутній кут у горизонтальній площині.

На практиці ж такий кут завжди має місце, оскільки плуг і трактор постійно повертається вліво/вправо відносно один одного. Із-за цього тяговий опір плуга проявляється у вигляді двох складових: поздовжньої і поперечної. І якщо за симетричного приєднання орного знаряддя до трактора (коли  $D = 0$ ) поздовжня складова тягового опору плуга не створює розворотного моменту, то поперечна складова це робить. До речі, суттєво зменшити (але не до нуля) розворотний момент від дії поперечної складової тягового опору плуга можна саме застосуванням триточкової схеми ЗНМ трактора. 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.

Із викладеного вище випливає висновок, що оптимальне приєднання плуга до трактора матиме місце за умови  $D = 0$ . За руху трактора поза борозною (рис. 2) цю умову описує наступне досить просте рівняння:

$$D = (B + b + 2A - L - 2C)/2 = 0. \quad (1)$$

У цьому виразі:  $B$  – 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 плугами,  $C$  – відстань від правого приєднувального бугеля плуга до кінця лемеша його переднього корпусу.

У варіанті руху трактора правими колесами у борозні (рис. 1) умова симетричного приєднання плуга описується ще простішим рівнянням:

$$D = (B - b - L - 2C)/2 = 0. \quad (2)$$

У процесі формування орного МТА умови (1) і (2) можна досягти шляхом підбору параметрів  $B$ ,  $A$ ,  $L$  і  $C$ . Але нині з цим не усе гаразд. По-перше, колія багатьох сучасних тракторів змінюється ступінчасто. І досить часто це заважає розв'язати обговорювану нами задачу. По-друге, конструкція плуга повинна передбачати можливість поперечного переміщення приєднувальних бугелів (рис. 3).



Рис. 3. Приєднувальний бугель плуга

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

Що стосується параметра  $A$ , тобто відстані від крайки шини заднього колеса трактора до стінки борозни, то методика його вибору наступна. На механічно слабких ґрунтах величину  $A$  рекомендується приймати рівною глибині оранки. На думку фахівців це запобігає руйнуванню стінки борозни під час руху орного машинно-тракторного агрегату.

За результатами досліджень автора цієї статті у ґрунтових умовах півдня України величина параметра  $A$  має бути такою, яка б унеможливила сповзання коліс правого борту трактора у борозну. Для цього, як показує багаторічна практика, значення величини  $A$  достатньо витримувати у межах 10-12 см.

Слід підкреслити, що симетричне приєднання плуга до трактора, це не єдина і не основна проблема ефективного агрегування цього ґрунтообробного знаряддя. Більш важливою є задача, розв'язання якої мало хто знає і розуміє. Справа у тому, що усі сили, які діють на плуг у горизонтальній площині, умовно можна сконцентрувати у одній точці, яку прийнято називати «центром опору». Ефективність агрегування плуга суттєво залежить від місця розташування цього «центру» у горизонтальній площині відносно поздовжньої осі  $Y-Y$ , яка проходить через точку  $S$  приєднання орного знаряддя до трактора (рис. 1, 2).

По відношенню до вказаної осі  $Y-Y$  «центр опору» плуга може займати теж три положення: 1) бути правіше неї (т. 1, рис. 1); 2) знаходитися лівіше цієї осі (т. 2, рис. 1); 3) розташовуватися на самій осі  $Y-Y$ .

За умови правостороннього розміщення «центру опору» плуга відносно осі  $Y-Y$  (тобто у т. 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. Як показали дослідження, сила тертя польових дощок орного знаряддя об ґрунт при цьому збільшується на 15-20%. 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 агрегату.

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

Насамкінець проаналізуємо варіант розміщення «центру опору» плуга лівіше відносно осі плуга  $Y-Y$  (т. 2, рис. 1). У цьому випадку тягова сила трактора  $F$  теж розкладається на 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 МТА зменшуються приблизно на ті ж 15-20%.

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

Як показують результати наших досліджень, стійкість руху плуга у горизонтальній площині при цьому не погіршується, а от витрати пального орним агрегатом зменшуються.

Таким чином, найбільш ефективно використання плуга можливе за лівостороннього поперечного зміщення його «центру опору» відносно поздовжньої осі симетрії трактора. За руху трактора поза борозною (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, а  $n$  – кількість цих корпусів.

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

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

Дотриматися цих умов можна підбором параметрів  $L$  і  $C$ . Про негарзди, пов'язані із цим вибором, ми уже говорили вище.



Рис. 4. Вигляд плуга із польовою дошкою на його останньому корпусі

Якщо порівнювати між собою умови (1) і (2) – з одного боку, і (3) та (4) – з іншого, то більш визначальними є дві останні. Невиконання умов (1) і (2) призводить до появи вищерозглянутого розворотного моменту  $M = P_{кр} \cdot D$ . Тяговий опір плуга і обумовлені ним тягово-енергетичні показники орного МТА при цьому суттєво не змінюються. Натомість, недотримання умов (3) і (4) призводить до суттєвого погіршення саме тягово-енергетичних показників орного агрегату, що є у край небажаним.

З огляду на це методика правильного приєднання плуга до трактора полягає у наступному:

- 1) із технічного паспорту обраної марки трактора визначають його колію ( $B$ ) і ширину шин задніх коліс ( $b$ );
- 2) 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 МТА (див. рис. 1 і рис. 2);
- 3) оцінюють можливість виконання вимог (1), (2), (3) і (4);
- 4) у разі неповного виконання або невиконання цих вимог обирають компромісний варіант, віддаючи при цьому перевагу умовам (3) і (4).

Для кращого розуміння викладеного продемонструємо застосування даної методики на конкретному прикладі. Розглянемо досить розповсюджені на теренах України вітчизняний трактор серії ХТЗ-170 і навісний плуг ПЛН-5-35. Колія коліс даного енергетичного засобу є незмінною і становить 1860 мм (тобто  $B = 1,86$  м). ХТЗ-170 обладнаний шинами 23,1R26. Перша цифра означає ширину шини, а



друга – її посадковий діаметр у дюймах. Оскільки один дюйм становить 25,4 мм, то наразі знаходимо, що ширина шин трактора ХТЗ-170 становить майже 590 мм (тобто  $b = 0,59$  м).

Параметри плуга ПЛН-5-35 є такими:  $n = 5$ ;  $b_k = 0,35$  м. Відстань  $L$  є практично незмінною і рівною 0,90 м. Значення параметра  $C$  вибирається із наступних логічних міркувань. Так як ширина захвату корпусу плуга ПЛН-5-35 становить 0,35 м, а ширина шини трактора ХТЗ-170 дорівнює 0,59 м, то рух останнього своїми колесами у борозні технічно можливий, а от технологічно – із-за цілком зрозумілих причин – категорично ні.

Для варіанту руху цього трактора поза борозною параметр  $C$  для плуга ПЛН-5-35 становить 0,75 м. До речі, у останніх варіантах конструкції цих плугів даний параметр, на жаль, є теж технічно незмінним.

Що стосується величини параметра  $A$ , то її приймаємо рівною 0,10 м.

За таких вихідних даних спочатку перевіряємо виконання умови (3). Наразі маємо  $b_k \cdot (n + 1) = 0,35 \cdot (5 + 1) = 2,10$  м що є меншим за  $L + 2 \cdot C = 0,90 + 2 \cdot 0,75 = 2,40$  м. Тобто, умова (3) не виконується. Із-за такого приєднання плуга ПЛН-5-35 до трактора ХТЗ-170 «центр опору» орного знаряддя буде зміщений у поперечному напрямку вправо по відношенню до осі  $Y-Y$  (рис. 2) на величину  $2,40 - 2,10 = 0,30$  м. За рахунок цього його тяговий опір стане суттєво більшим із усіма впливаючими звідси негативними наслідками.

Перевірка умови (1) показує, що за такого приєднання розглядуваного плуга до ХТЗ-170 величина  $D = (1,86 + 0,59 + 2 \cdot 0,10 - 0,90 - 2 \cdot 0,75) / 2 = 0,125$  м. Тобто, замість симетричного, маємо асиметричне агрегування даного орного знаряддя. Як уже підкреслювалося вище, це призведе до того, що сила тягового опору плуга (на рівні 30-35 кН) на плечі 0,125 м створить постійно діючий розворотний момент, який намагатиметься повернути трактор на годинниковою стрілкою (тобто у напрямку до зораної частини поля). Усе це вказує на те, що розглянуте приєднання плуга ПЛН-5-35 до трактора ХТЗ-170 є неефективним. Слід додати, що трактор Т-150К, який мав вужчі на 4,5 см шини і колія коліс якого становила 1,68 м проти 1,86 м у ХТЗ-170, краще агрегувався з розглядуваним плугом. У 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.

У Таврійському ДАТУ ім. Дмитра Моторного (м. Мелітополь) трактор серії ХТЗ-170 був обладнаний шинами 16,9R38, ширина яких дорівнює 0,43 м. Це дозволяє налаштувати даний 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 переставили так, щоб параметр  $C$  (рис. 1) становив 0,25 м. У цьому випадку згідно з умовою (4) отримуємо  $b_k \cdot (n - 1) = 0,35 \cdot (5 - 1) = 1,40$  м. Це точно відповідає величині  $L + 2 \cdot C = 0,90 + 2 \cdot 0,25 = 1,40$  м. У підсумку виконання умови (4) досягнуто.

Далі оцінимо величину параметру  $D$ . Згідно з виразом (2)  $D = (1,86 - 0,43 - 0,90 - 2 \cdot 0,25) / 2 = 0,015$  м (тобто 1,5 см). Виходить, що за умовами (2) і (4) плуг ПЛН-5-35 зі зміщеними бугелями можна приєднати до трактора серії ХТЗ-170, обладнаного шинами 16,9R38 практично симетрично.

Випробування орного МТА такого складу (рис. 5) здійснювали на агрофоні, вологість ґрунту якого в шарі 0-25 см складала 18,1%. Плуг ПЛН-5-35 був відрегульований на глибину оранки 25 см. Орний агрегат рухався зі швидкістю 2,3-2,5 м/с. Його робоча ширина захвату становила при цьому 1,76 м. Дійсне середнє значення глибини оранки змінювалась у межах  $24,50 \pm 0,30$  см. Середнє квадратичне відхилення цього показника ( $\pm 1,7$  см) не перевищувало агротехнічно допустиме ( $\pm 2$  см).

Продуктивність дослідного агрегату за 1 год. основного часу у середньому становила 1,5 га. Буксування рушіїв трактора не перевищувало 11%. Питомі витрати пального були на рівні 14,5 кг/га.



Рис. 5. Орний МТА на основі ХТЗ-170 з шинами 16,9х38

Водночас, за використання на одному і тому ж полі трактора ХТЗ-170 зі штатними шинами 23,1R26 і плугом ПЛН-5-35 без переобладнання питомі витрати пального цим орним МТА були на рівні 17,1 кг/га. Тобто майже на 18% більшими. Цей факт однозначно вказує на користь застосування на практиці викладеної у даній статті методики правильного приєднання плуга до колісного трактора.

## Література

1. Надикто В.Т. Агрегатирование МЭС с передненавесным плугом. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1994. №7. С. 21-23.
2. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ\_ПЛЮС. 2017. 268 с.