



УДК 631.312.4.072.3

УМОВИ СТАБІЛЬНОСТІ РУХУ ЗАГЛИБЛЕНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА

Кістечок О.Д., асп.,*

Надикто В.Т., д.т.н.,

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619)-42-06-94

Анотація – викладено результати аналізу стабільності руху заглибленого фронтального плуга за умови, коли кут нахилу центральної тяги переднього навісного механізму трактора є меншим за кут нахилу нижніх тяг.

Ключові слова – оранка, фронтальний плуг, трактор, передній навісний механізм, заглиблення, стійкість руху.

Постановка проблеми. Для зменшення енергетичних витрат на оранці трактор, який в агрегаті з плугом рухається правими рушіями в борозні або напівборозні, повинен мати вузьку колію і високі тягово-зчіпні властивості. При цьому, збільшення останніх пропонується здійснювати не шляхом баластування енергетичного засобу чи зміною параметрів його ходової системи, а використанням як самої маси передньонавісного (фронтального) плуга, так і вертикальної складової його тягового опору [1]. Передбачається, що при такому агрегуванні зчіпна маса енергетичного засобу повинна збільшуватися, а буксування рушіїв і питомі витрати палива – відповідно зменшуватися.

Аналіз останніх досліджень. Проте, переваги орних агрегатів за схемою “push - pull” можуть бути практично реалізовані лише за умови правильного вибору їх схеми та параметрів. Пошукам шляхів розв’язання цієї проблеми в Україні присвячені роботи В.Т.Надикти та його послідовників [2-4]. В своїх дослідженнях вони вперше розглянули умови заглиблення переднього плуга, аналіз яких дозволив сформулювати вимоги до конструктивних параметрів як зчіпного механізму фронтального знаряддя, так і переднього навісного механізму (ПНМ) трактора.

Водночас, поза їх увагою залишилися питання аналізу умов стабільності руху заглибленого фронтального знаряддя. Тим більше з урахуванням різних варіантів налагодження ПНМ енергетичного засобу.

* Науковий керівник – Надикто В.Т., д.т.н., член-кореспондент НААН України,
© О.Д. Кістечок, В.Т. Надикто

Формулювання мети статті. В даній статті викладено результати одного із варіантів розв'язання цієї проблеми для орного агрегату на схемі «push-pull» на основі вітчизняного трактора серії ХТЗ-160.

Основна частина.

Методика. Розглянемо варіант приєднання фронтального плуга, у якому кут нахилу центральної тяги ПНМ енергетичного засобу є меншим за кут нахилу нижніх тяг ($\alpha < \beta$, рис.1).

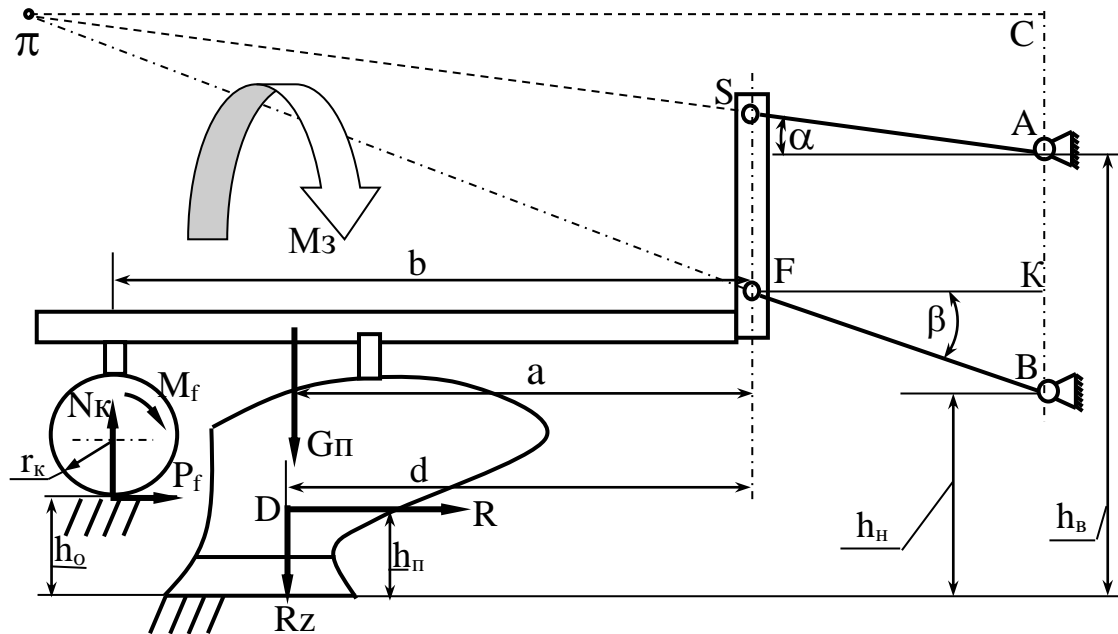


Рис.1. Схема сил, які діють на фронтальний плуг при $\alpha < \beta$

Для подальшого аналізу приймемо наступні припущення:

1. Фронтальний плуг представимо одним «еквівалентним» корпусом. Горизонтальну (R_x) і вертикальну (R_z) складові його тягового опору зосередимо в «центрі опору» - т. D (див. рис.1).
2. Зміна координати установки опорного колеса плуга (**b**) мало впливає на поздовжню координату його центру мас (**a**, рис.1).
3. Координата «центру опору» плуга (**d**) і поздовжня координата його центру мас (**a**) практично співпадають (тобто $a \approx d$).

Не дивлячись на те, що сили, які діють на плуг у поздовжньо-вертикальній площині, до рівнодіючої привести не можна, перше припущення практично без зменшення достовірності розрахунків дуже широко використовується науковцями у своїх дослідженнях [5].

Основну долю маси плуга складають його корпуси та рама. У зв'язку з цим переміщення опорного колеса мало впливає на поздовжню координату центру мас зняряддя, чим і пояснюється правомірність другого припущення.



Поздовжня координата «центру опору» двокорпусного фронтального плуга знаходиться приблизно в зоні носка лемеша його другого корпусу. Як показують розрахунки, практично в тій-же зоні розташовується проекція «центру мас» знаряддя на горизонтальну площину. Саме цей факт і обумовлює правомірність третього припущення.

Після заглиблення фронтального плуга під дією моменту M_z умовою стійкого його руху у поздовжньо-вертикальній площині є рівність нулю суми моментів, які діють відносно миттєвого центру повороту (МЦП) переднього навісного механізму енергетичного засобу (т.п, рис.1). Тобто

$$\Sigma M(\pi) = G_{\pi} \cdot (\pi C - a - r_n \cdot \cos\beta) + R_z \cdot (\pi C - d - r_n \cdot \cos\beta) - N_k \cdot (\pi C - b - r_n \cdot \cos\beta) - P_f \cdot (h_b + AC - h_o) - R_x \cdot (h_b + AC - h_n) + M_f = 0, \quad (1)$$

в отриманому рівнянні (1) прийнято наступні позначення:

G_{π} – сила ваги орного знаряддя;

r_n – довжина нижніх тяг ПНМ трактора;

N_k – вертикальна реакція на опорному колесі плуга;

P_f, M_f – сила та момент опору кочення опорного колеса плуга;

h_b – координата кріплення центральної тяги ПНМ трактора;

h_o – глибина оранки;

h_n – координата кріплення нижніх тяг ПНМ трактора;

h_{π} – вертикальна координата «центру опору» фронтального плуга – «еквівалентного корпусу» - т.Д, рис.1;

$\pi C, AC = \pi C \cdot t d \alpha$ – параметри, природа яких зрозуміла із рис.1.

Із теорії трактора та основ землеробської механіки відомо [6,7], що:

$$\left. \begin{aligned} P_f &= N_k / f_{\pi}; \\ M_f &= N_k \cdot r_k / f_{\pi}; \\ R_x &= k_o \cdot V_p \cdot h_o \\ R_z &= 0,2 \cdot R_x, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де f_{π} – коефіцієнт опору коченню;

r_k – радіус опорного колеса фронтального плуга;

k_o – коефіцієнт попру орного знаряддя;

V_p – робоча ширина захвату фронтального плуга.

Як впливає із аналізу рис.1, поздовжня координата МЦП переднього навісного механізму трактора (πC) знаходиться із наступного виразу

$$\pi C = \frac{h_b - h_n}{\text{tg}\beta - \text{tg}\alpha} \quad (3)$$

Рівняння (1) в загальному вигляді описує стан рівноваги фронтального плуга після його заглиблення на задану глибину оранки. Водночас, при цьому слід розуміти, що вказаний стан буде стабільним



лише за умови позитивної реакції на опорному колесі орного знаряддя. Тобто тоді, коли

$$N_k > 0$$

Оцінити вплив усіх складових рівняння (1) на значину сили N_k можна із залежності, яка безпосередньо впливає із (1) з урахуванням системи (2)

$$N_k = \frac{G_{\text{п}} \cdot (\pi C - a - r_{\text{н}} \cdot \cos \beta) + k_0 \cdot V_{\text{р}} \cdot h_0 \cdot [0,2 \cdot (\pi C - d - r_{\text{н}} \cdot \cos \beta) - h_{\text{в}} - \pi C \cdot \text{tg} \alpha + h_{\text{п}}]}{\pi C - b - r_{\text{н}} \cdot \cos \beta + (h_{\text{в}} + \pi C \cdot \text{tg} \alpha - h_0 - r_{\text{к}}) / f_{\text{п}}} \quad (4)$$

При обґрунтуванні конструктивних параметрів переднього навісного механізму трактора з позиції забезпечення стійкого руху фронтального знаряддя на заданій глибині обробітку ґрунту важливим параметром є висота стояка приєднувального трикутника плуга – SF. Як впливає із рис.1, визначити цю величину можна із наступного виразу

$$SF = h_{\text{в}} - h_{\text{н}} + r_{\text{н}} \cdot (\cos \beta \cdot \text{tg} \alpha - \sin \beta) \quad (5)$$

Результати і обговорення. Розрахунки залежностей (4) і (5) здійснювали за наступних значин конструктивних параметрів: $G_{\text{п}} = 1 \dots 3$ кН; $a = 0,55$ м; $r_{\text{н}} = 0,82$ м; $k_0 = 50 \dots 80$ кН/м²; $V_{\text{р}} = 0,35 \dots 1,05$ м; $h_0 = 0,22 \dots 0,30$ м; $d = 0,4 \dots 0,8$ м; $h_{\text{в}} = 1,15 \dots 1,40$ м; $h_{\text{н}} = 0,4 \dots 0,8$ м; $h_{\text{п}} = h_0/2$; $b = 0,5 \dots 1,5$ м; $r_{\text{к}} = 0,23$ м; $f_{\text{п}} = 0,1$.

У варіанті налаштування переднього навісного механізму трактора згідно зі схемою, представленою на рис.1, можливий діапазон зміни кута нахилу центральної тяги є таким

$$0 \leq \alpha < \beta \quad (6)$$

Варіант $\alpha < 0^\circ$ в даному дослідженні не розглядається, оскільки таке налаштування навісного механізму характерне неприйнятною кінематикою підйому фронтального знаряддя [8].

Мінімальна значина кута нахилу нижніх тяг ПНМ трактора має бути більшою за 0° . Варіант $\beta = 0^\circ$ теж не аналізується, оскільки коли при цьому $\alpha = 0^\circ$ - отримуємо паралелограмний механізм, який здійснює підйом знаряддя без його повороту у поздовжньо-вертикальній площині (а це небажано!).

При подальшому аналізі будемо враховувати, що в ідеалі вертикальна реакція на опорному колесі фронтального плуга повинна бути з одного боку більшою за нуль, а з другого – близькою до нього. Цього буде досить для стійкого руху знаряддя по глибині оранки при мінімальних витратах енергії на перекочування його опорного колеса та незначній деформації ґрунту останнім.

З рахуванням прийнятих діапазонів величин α і β результати розрахунків виразу (4) показують, що в цілому зі збільшенням кута нахилу центральної тяги переднього навісного механізму вертикальна реакція на опорному колесі плуга зростає (рис.2).

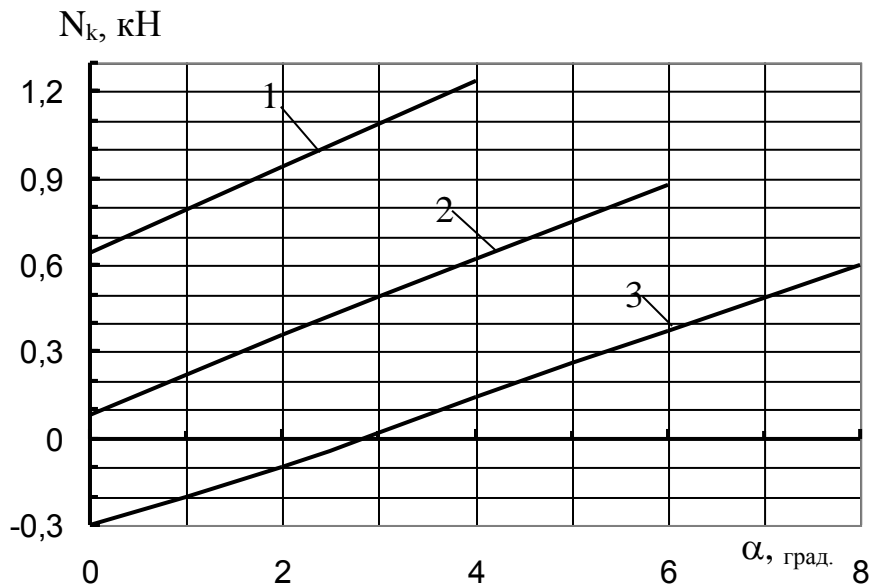


Рис.2. Залежність вертикальної реакції на опорному колесі плуга від кута нахилу центральної тяги (α) при різних значинах кута нахилу нижніх тяг (β) переднього навісного механізму трактора: 1- $\beta = 6^\circ$; 2 - $\beta = 8^\circ$; 3 - $\beta = 10^\circ$.

Інтенсивність цього процесу практично не залежить від кута нахилу нижніх тяг (β). Водночас, величина даного параметру досить суттєво впливає на значину сили N_k . По-перше, зі зменшенням β вона практично прямопропорційно збільшується. По-друге, коли кут нахилу нижніх тяг ПНМ трактора становить 10° , а кут нахилу центральної тяги знаходиться в межах $0 \dots 3^\circ$, опорне колеса плуга повністю розвантажуються. Про це свідчить від'ємна значина сили N_k (лінія 3, рис.2).

Як бачимо із рис.2, для налаштування переднього навісного механізму трактора згідно з умовою $\alpha < \beta$ вибір кутів нахилу його (ПНМ) центральної і нижніх тяг слід здійснювати з урахуванням наступних вимог:

$$0 \leq \alpha < \beta;$$
$$0 < \beta \leq 8^\circ.$$

Проаналізуємо, як впливають на динаміку зміни сили N_k ті конструктивні параметри і величини, які входять до виразу (4). Встановлено, що зі збільшенням поздовжньої координати «центру опору» плуга (т.Д, рис.1) вертикальна реакція на опорному колесі плуга хоча і не суттєво, але зменшується. Такий результат пояснюється зменшенням плеча дії заглиблювальної сили R_z при збільшенні поздовжньої координати d . З урахуванням незначної кількісної зміни залежності $N_k = f(d)$ параметр d слід приймати якомога меншим, оскільки його збільшення призводить до небажаного зростання габаритів фронтального плуга.



Ще менш суттєвий вплив на значину N_k (в межах 0,60...0,61 кН) створює зміна поздовжньої координати установки опорного колеса b (див. рис.1). В якісному вираженні зростання параметра b обумовлює збільшення даної сили. Тому, з принципової точки зору поздовжня координата установки опорного колеса має бути якомога меншою.

Як зі збільшенням глибини оранки (h_o), так і питомого опору плуга (k_o) вертикальна реакція на опорному колесі фронтального плуга зменшується. Справа в тому, що зі зростанням параметра h_o сила R_x (яка є виглиблювальною) зростає, але зменшується плече її дії, оскільки «центр опору» знаряддя при цьому підіймається вище. Так як зростання значини сили R_x випереджає зменшення плеча її дії, виглиблювальний момент збільшується. В результаті цього зменшується сила N_k .

При збільшенні величини k_o поздовжня складова тягового опору плуга (R_x) теж збільшується. Але оскільки заглиблювальний момент при цьому зростає, то відповідним чином зменшується вертикальна реакція на опорному колесі плуга. Інша справа, що у кількісному вираженні вплив зміни параметрів h_o і k_o є несуттєвим і в практичних розрахунках ним можна знехтувати. Цей результат дуже важливий, оскільки він при виборі глибини оранки того чи іншого ґрунту визначальними залишає агротехнічні вимоги.

Тепер проаналізуємо, як впливають на характер зміни сили N_k вертикальні координати кріплення центральної (h_b) та нижніх (h_n) тяг ПНМ трактора. Розрахунками залежності (4) встановлено, що зі збільшенням параметра h_n вдвічі (з 0,4 до 0,8 м) значина вертикальної реакції на опорному колесі плуга зменшується практично в стільки ж разів (рис.3).

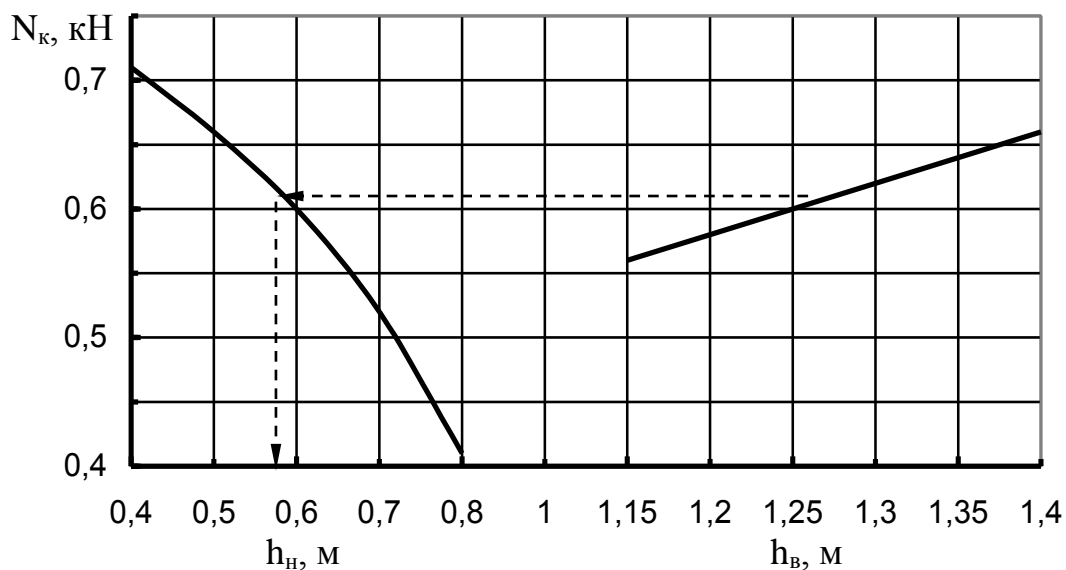


Рис.3. Залежність вертикальної реакції на опорному колесі плуга від висоти кріплення до трактора нижніх (h_n) та центральної (h_b) тяг фронтального навісного механізму.



Водночас, при збільшенні координати висоти установлення центральної тяги ПНМ трактора маємо протилежний результат. Хоча процес при цьому характеризується значно меншою інтенсивністю.

На практиці у ПНМ того чи іншого трактора значно легше змінити координату h_n , ніж h_b . У зв'язку з цим в нашому випадку останню приймаємо такою, якою вона є у серійного трактора сімейства ХТЗ-160. А саме: $h_b = 1,27$ м. Вибір компромісного рішення між двома альтернативними варіантами щодо параметрів h_b і h_n має здійснюватися за наступним алгоритмом:

- 1) із залежності $N_k = f(h_b)$ визначаємо вертикальну реакцію на колесі фронтального плуга за прийнятої значини координати установки центральної тяги переднього навісного механізму трактора;
- 2) за отриманою значиною сили N_k із графічної залежності $N_k = f(h_n)$ визначаємо вертикальну координату установки нижніх тяг ПНМ трактора;
- 3) при вибраних значинах h_b і h_n та прийнятих кутах нахилах тяг ПНМ трактора α і β із залежності (2.5) встановлюємо висоту стояка SF приєднувального трикутника начіпного механізму фронтального плуга.

В даному випадку для двокорпусного фронтального плуга при $\alpha = 0^\circ$; $\beta = 8^\circ$; $G_{п} = 2$ кН; $a = 0,55$ м; $r_n = 0,82$ м; $k_o = 65$ кН/м²; $V_p = 0,70$ м; $h_o = 0,26$ м; $d = 0,6$ м; $b = 1,0$ м; $r_k = 0,23$ м; $f_n = 0,1$ маємо: $h_b = 1,27$ м; $h_n = 0,58$ м; $SF = 0,58$ м. Вертикальна реакція на опорному колесі фронтального плуга становить при цьому 0,2 кН, що є цілком прийнятним.

Висновки. Для забезпечення мінімального вертикального навантаження на опорне колесо фронтального плуга, приєднаного до переднього навісного механізму трактора з кутом нахилу центральної тяги меншим за кут нахилу нижніх, останній має бути більшим за нуль, але не повинен перевищувати 8° .

З урахуванням незначного впливу на вертикальне довантаження фронтального плуга і суттєвого – на його габарити, поздовжні координати «центру опору» і точки установки опорного колеса орного знаряддя, приєднаного до трактора, повинні бути якомога меншими.

Зі збільшенням висоти установки нижніх тяг ПНМ трактора вдвічі (з 0,4 до 0,8 м) значина вертикальної реакції на опорному колесі фронтального плуга, налаштованого за варіантом 1, зменшується практично в стільки ж разів. При збільшенні координати висоти установлення центральної тяги ПНМ трактора маємо протилежний результат.

*Література.*

1. Булгаков В.М. Агрегативання плугів /В.М.Булгаков, В.І.Кравчук, В.Т.Надыкто. – К.: Аграрна наука. – 2008. – 152 с.
2. Генев О.І. Умови заглиблення фронтального плуга / О.І.Генев, В.Т.Надыкто, А.М.Аюбов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь, 2003. – Вип.12. – С.16 – 24.
3. Надыкто В.Т. Аналіз рівноваги заднього та фронтального плугів у поздовжньо-вертикальній площині / В.Т.Надыкто, О.І.Генев, А.М.Аюбов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2003. – Випуск 21. – С.105 – 112.
4. Патент №57247А. Україна, МПК⁷ А01В59/048. Фронтальний плуг/ В.Т.Надыкто, С.І.Лисицький, А.М.Аюбов, О.І.Генев.- №2002054226; заявлено 23.05.2002; опубл. 16.06.2003. Бюл. №6.
5. Касымов А.Ш. Установившееся прямолинейное движение пахотного агрегата с задней и передней навеской / А.Ш.Касымов, В.В.Золотарев // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1988, №1. – С.34 – 37.
6. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков.- М.: КолосС, 204.- 504 с.
7. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н.Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 312 с.
8. Надыкто В.Т. Агрегатирование модульных энергетических средств / ВТ.Надыкто. – Мелітополь: КП «ММД», 2003. – 240 с.

УСЛОВИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ УГЛУБЛЯЮЩЕГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА

Кистечек А.Д., Надыкто В.Т.

Аннотация – изложены результаты анализа стабильности движения заглибленного фронтального плуга при условии, когда угол наклона центральной тяги переднего навесного механизма трактора является меньше угла наклона нижних тяг.

TERMS STABILITY MOTION OF DEEPENING FRONTAL PLOUGH

A. Kistechek, V. Nadykto

Summary

The results of analysis stability motion of frontal plough are expounded subject to the condition, when an angle slope of central traction of front mounting mechanism of tractor is less angle slope of lower tractions.