

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РУЛЕВОЙ ТРАПЕЦИИ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С ПОВОРАЧИВАЮЩИМСЯ ПЕРЕДНИМ МОСТОМ

А. А. РУДАШКО, канд. техн. наук, доцент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Поворот колесных машин обеспечивается поворотом левого и правого управляемых колес на разные углы с помощью рулевой трапеции [1]. Для улучшения маневренности тракторов можно использовать одновременный поворот переднего моста и управляемых колес [2]. Однако такой способа поворота требует существенного изменения конструкции рулевой трапеции [3], что может привести к рассогласованию углов поворота левого и правого колес и ухудшению условий их качения. Целью работы является исследование кинематики рулевой трапеции колесного трактора при одновременном повороте колес и моста и оптимизация параметров трапеции для снижения рассогласования углов поворота колес.

Основная часть. При повороте трактора следует различать теоретические и действительные углы поворота колес. Для качения управляемых колес без бокового скольжения и боковой деформации шин колеса должны быть перпендикулярны радиусам, проведенным из центра поворота. Действительные углы поворота колес определяются конструкцией рулевой трапеции, и их значительное отклонение от теоретических углов приводит к увеличению сопротивления качению колес, износу шин и повышенному расходу топлива.

Рассмотрим поворот колесного трактора с поворачивающимся передним мостом. Теоретические углы поворота левого α_2 и правого α_1 колес относительно передней оси можно найти из треугольников AMP и BNP (рис. 1, а):

$$\operatorname{tg}(\alpha_2 + \beta) = \frac{L_{\text{л}}}{R + a_{\text{л}}}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) = \frac{L_{\text{п}}}{R - a_{\text{п}}}, \quad (2)$$

откуда

$$\alpha_2 = \arctg \frac{L_{\text{л}}}{R + a_{\text{л}}} - \beta, \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \arctg \frac{L_{\text{п}}}{R - a_{\text{п}}} - \beta. \quad (4)$$

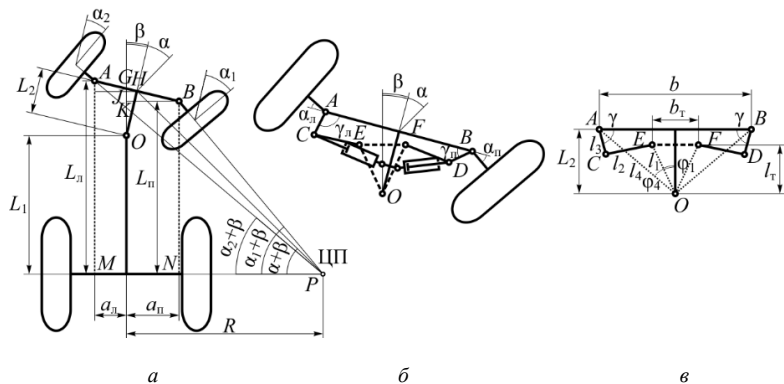


Рис. 1. Поворот колесного трактора: *а* – схема поворота; *б* – рулевая трапеция при повороте направо; *в* – рулевая трапеция при прямолинейном движении

В свою очередь, величины $a_{\text{л}}$, $a_{\text{п}}$, $L_{\text{л}}$, $L_{\text{п}}$ можно найти из треугольников AIH , GKB , JHO , AMP , BNP :

$$a_{\text{л}} = 0,5b \cos \beta - L_2 \sin \beta, \quad (5)$$

$$a_{\text{п}} = 0,5b \cos \beta + L_2 \sin \beta, \quad (6)$$

$$L_{\text{л}} = L_1 + L_2 \cos \beta + 0,5b \sin \beta, \quad (7)$$

$$L_{\text{п}} = L_1 + L_2 \cos \beta - 0,5b \sin \beta. \quad (8)$$

Радиус поворота определим, используя уравнение (5) [2]:

$$R = \frac{L_1 + L_2 (\sin \beta \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta) + \cos \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}, \quad (9)$$

где α – средний угол поворота передних колес;

β – угол поворота переднего моста.

Средний угол поворота колес α определится из полусуммы котангенсов действительных углов поворота колес:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{2}{\operatorname{ctg} \alpha_{\text{л}} + \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}}}, \quad (10)$$

где $\alpha_{\text{л}}$ и $\alpha_{\text{п}}$ – действительные углы поворота передних колес (рис. 1, б), определяемые по зависимостям (14) и (15) [3].

Для расчета действительных углов поворота по этим зависимостям следует рассчитать ряд параметров.

Длину поперечной тяги l_2 (рис. 1, в) можно вычислить аналогично расчетам шестизвенной трапеции [4] по формуле определения расстояния между двумя точками C и E с известными координатами:

$$l_2 = \sqrt{(x_C - x_E)^2 + (y_C - y_E)^2}, \quad (11)$$

где

$$x_C = l_3 \cos \gamma; \quad x_E = 0,5(b - b_{\text{т}}); \quad y_C = l_3 \sin \gamma; \quad y_E = L_2 - l_{\text{т}}.$$

Величины l_1 и l_4 определим по теореме Пифагора:

$$l_1 = \sqrt{(L_2 - l_{\text{т}})^2 + 0,25b_{\text{т}}^2}, \quad (12)$$

$$l_4 = \sqrt{L_2^2 + 0,25b^2}. \quad (13)$$

Угол φ_4 определится из выражения

$$\operatorname{tg}(\varphi_4 + \varphi_1) = \frac{0,5b}{L_2}, \quad (14)$$

откуда

$$\varphi_4 = \operatorname{arctg} \frac{0,5b}{L_2} - \varphi_1, \quad (15)$$

где

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \frac{0,5b_{\text{т}}}{l_{\text{т}}} + \beta \text{ при повороте на право.}$$

Исследование кинематики рулевой трапеции колесного трактора при одновременном повороте колес и моста произведем, задаваясь следующими величинами: $L_1 = 2225$ мм; расстояние между шкворнями $b = 1095$ мм; координаты присоединения поперечных тяг $b_T = 420$ мм и $l_T = 420$ мм; длина рулевого рычага $l_3 = 210$ мм; первоначальный угол наклона рулевых рычагов $\gamma = 70^\circ$; первоначальный вылет переднего моста $L_2 = 250$ мм.

Оптимизация параметров рулевой трапеции осуществляется методом наименьших квадратов [5] по критерию δ – наименьшей сумме квадратов отклонений действительных углов поворота управляемых колес α_{di} от теоретических α_{ti} :

$$\delta = \sum_{i=1}^n (\alpha_{di} - \alpha_{ti})^2 \quad (16)$$

На рис. 2, а представлена зависимость параметра δ от вылета переднего моста, на рис. 2, б – от угла установки рулевых рычагов γ .

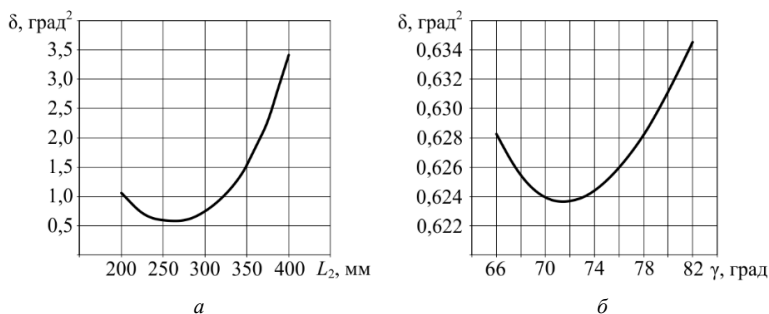


Рис. 2. Зависимость критерия δ : а – от вылета переднего моста L_2 ; б – от угла установки рулевых рычагов γ

Оптимальная величина вылета переднего моста $L_2 = 261$ мм получена методом золотого сечения. Аналогично определяем оптимальный угол установки рулевых рычагов: $\gamma = 71,4^\circ$.

Анализ приведенных зависимостей позволяет определить такие параметры рулевой трапеции, при которых отклонение действительных углов поворота управляемых колес относительно теоретических будут минимальными во всем диапазоне углов поворота моста и колес.

После оптимизации параметров рулевой трапеции отклонение действительных углов поворота от теоретических не превышает $1,6^\circ$ для

наружного от центра поворота колеса и $1,9^\circ$ – для внутреннего. При этом продольная база трактора с поворачивающимся мостом в сравнении с классической компоновкой увеличивается с $L = 2370$ мм до $L = L_1 + L_2 = 2486$ мм, что не приводит к ухудшению маневренности [2].

Расчеты показывают, что применение комбинированного способа поворота снижает минимальный радиус поворота на $10,7...14,1$ %. Эти данные сопоставимы с результатами применения поворачивающегося передний моста SuperSteer на тракторах New Holland [6].

Заключение. Маневренность колесного трактора улучшается при одновременном повороте управляемых колес и переднего моста. Представленные аналитические зависимости позволяют определить оптимальные параметры рулевой трапеции и снизить погрешность изменения углов поворота управляемых колес при повороте переднего моста трактора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карташевич, А. Н. Теория автомобилей и двигателей / А. Н. Карташевич, Г. М. Кухаренок, А. А. Рудашко. – Минск: РИПО, 2018. – 307 с.
2. Рудашко, А. А. Улучшение маневренности колесного трактора с передними управляемыми колесами поворотом переднего моста / А. А. Рудашко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 247–250.
3. Рудашко, А. А. Кинематика рулевой трапеции колесного трактора с поворачивающимся передним мостом / А. А. Рудашко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки, 2024. – Вып. 9. – С. 305–308.
4. Сазонов, И. С. Кинематика шестизвенной рулевой трапеции и оптимизация ее параметров / И. С. Сазонов, Ю. Е. Атаманов, С. Н. Турлай // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 3. – С. 40–46.
5. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
6. T4 F/N/V – AXLES & TRACTION [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://agriculture.newholland.com/apac/en-nz/equipment/products/tractors-telehandlers/t4fnv/details/axles-traction>. – Дата доступа: 14.11.2023.

Аннотация. Приведены результаты оптимизации параметров рулевой трапеции колесного трактора с передними управляемыми колесами и поворачивающимся передним мостом, получены расчетные формулы для сравнения теоретических и действительных углов поворота управляемых колес в зависимости от угла поворота переднего моста.

Ключевые слова: колесный трактор, способ поворота, радиус поворота, рулевая трапеция, маневренность.