

КИНЕМАТИКА РУЛЕВОЙ ТРАПЕЦИИ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С ПОВОРАЧИВАЮЩИМСЯ ПЕРЕДНИМ МОСТОМ

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

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

Введение. Криволинейное движение тракторов с колесными формулами 4К2 и 4К4а обеспечивается поворотом передних управляемых колес. Радиус поворота зависит от углов поворота левого и правого передних колес [1] и ограничивается их предельными значениями, достигающими до 50° . Одновременный поворот переднего моста и управляемых колес улучшает маневренность колесного трактора [2]. Однако реализация данного способа поворота вызывает необходимость существенного изменения конструкции рулевой трапеции. Целью работы является исследование кинематики рулевой трапеции колесного трактора при одновременном повороте колес и моста.

Основная часть. Для реализации комбинированного способа поворота передний мост выполнен поворачивающимся относительно точки O (рис. 1, а). Поперечные тяги рулевой трапеции CE и DF шарнирно закреплены на раме трактора в точках E и F . Поворот обеспечивается двумя гидроцилиндрами, одним концом связанными с рычагами рулевой трапеции CA и DB , а другим – с передним мостом.

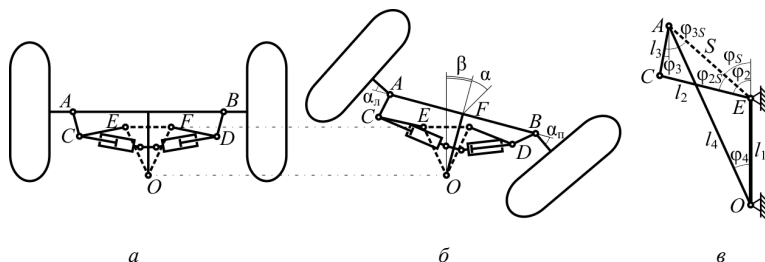


Рис. 1. Рулевая трапеция: а – прямолинейное движение;
б – поворот направо; в – расчетная схема

При перемещении штоков гидроцилиндров передний мост поворачивается на угол β относительно точки O , при этом рычаги рулевой

трапеции и, соответственно, переднего колеса, поворачиваются на углы α_n и $\alpha_{п}$ относительно переднего моста, обеспечивая поворот управляемых колес на средний угол α (рис. 1, б).

Определим зависимости $\alpha_n = f(\beta)$ и $\alpha_{п} = f(\beta)$. Для этого рассмотрим левую часть рулевой трапеции $AEOC$ как плоский механизм шарнирного четырехзвенника (рис. 1, в), в котором звено OE является неподвижным [3]. При этом звено OA (l_4 на рис. 1, в) представляет часть поворачивающегося моста, а звено AC (l_3 на рис. 1, в) – левый рычаг рулевой трапеции. Соответственно, угол поворота переднего моста $\beta = \Delta\varphi_4$, а угол поворота левого рычага рулевой трапеции по абсолютной величине составит

$$\alpha_n = |\Delta\varphi_{3л} - \beta|. \quad (1)$$

Правую часть рулевой трапеции можно представить в виде шарнирного четырехзвенника $BFOD$, расположенного зеркально относительно четырехзвенника $AEOC$. Для четырехзвенника $BFOD$ угол поворота правого рычага рулевой трапеции составит

$$\alpha_{п} = |\Delta\varphi_{3п} + \beta|. \quad (2)$$

Аналитическое исследование четырехзвенника $AEOC$ проведем методом векторных контуров. Для этого замкнутый контур $AEOC$ разобьем на два треугольника: AOE и CAE . Для треугольника AOE составим векторное уравнение

$$\vec{l}_4 - \vec{l}_2 - \vec{S} = 0, \quad (3)$$

где S – переменный вектор, определяющий относительное положение точек A и O .

Проецируя векторы уравнения (3) на вертикальную ось, получим

$$\Sigma Y = l_4 \cos \varphi_4 - l_1 - S \cos \varphi_S = 0. \quad (4)$$

Аналогично составим уравнение проекций на горизонтальную ось:

$$\Sigma X = l_4 \sin \varphi_4 - S \sin \varphi_S = 0. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (4) и (5), определим величину угла φ_S :

$$\varphi_S = \arctg \frac{l_4 \sin \varphi_4}{l_4 \cos \varphi_4 - l_1}. \quad (6)$$

Используя теорему косинусов [4], из треугольника CAE определяем

$$l_2^2 = l_3^2 + S^2 - 2l_3S \cos \varphi_{3S}. \quad (7)$$

Уравнение (7) позволяет рассчитать величину угла φ_{3S} :

$$\varphi_{3S} = \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 + S^2}{2l_3S}. \quad (8)$$

Поскольку $\varphi_3 = \varphi_{3S} - \varphi_S$, то, подставляя значения φ_{3S} и φ_S из уравнений (8) и (6), получим:

$$\varphi_3 = \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 + S^2}{2l_3S} - \arctg \frac{l_4 \sin \varphi_4}{l_4 \cos \varphi_4 - l_1}. \quad (9)$$

Величину S определим по теореме косинусов из треугольника AOE :

$$S = \sqrt{l_4^2 + l_1^2 - 2l_4l_1 \cos \varphi_4}. \quad (10)$$

Подставив значение S из уравнения (10) в уравнение (9), получим зависимость $\varphi_3 = f(\varphi_4)$:

$$\varphi_3 = \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 + l_4^2 + l_1^2 - 2l_4l_1 \cos \varphi_4}{2l_3 \sqrt{l_4^2 + l_1^2 - 2l_4l_1 \cos \varphi_4}} - \arctg \frac{l_4 \sin \varphi_4}{l_4 \cos \varphi_4 - l_1}. \quad (11)$$

При повороте переднего моста направо на угол β левый рычаг рулевой трапеции окажется повернут на угол

$$\varphi_{3л} = \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 + l_4^2 + l_1^2 - 2l_4l_1 \cos(\varphi_4 - \beta)}{2l_3 \sqrt{l_4^2 + l_1^2 - 2l_4l_1 \cos(\varphi_4 - \beta)}} - \arctg \frac{l_4 \sin(\varphi_4 - \beta)}{l_4 \cos(\varphi_4 - \beta) - l_1}. \quad (12)$$

Угол поворота правого рычага трапеции при этом составит

$$\varphi_{3п} = \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 + l_4^2 + l_1^2 - 2l_4l_1 \cos(\varphi_4 + \beta)}{2l_3 \sqrt{l_4^2 + l_1^2 - 2l_4l_1 \cos(\varphi_4 + \beta)}} - \arctg \frac{l_4 \sin(\varphi_4 + \beta)}{l_4 \cos(\varphi_4 + \beta) - l_1}. \quad (13)$$

С учетом уравнения (1) угол поворота левого колеса относительно переднего моста определится по зависимости

$$\alpha_{л} = |\varphi_{3л} - \varphi_3 - \beta|. \quad (14)$$

Угол поворота правого колеса относительно переднего моста находится с учетом уравнения (2):

$$\alpha_{\text{п}} = |\varphi_{3\text{п}} - \varphi_3 + \beta|. \quad (15)$$

Рассчитав значения углов поворота левого $\alpha_{\text{л}}$ и правого $\alpha_{\text{п}}$ колес, можно определить величину среднего угла поворота управляемых колес α относительно переднего моста. Далее, пользуясь зависимостями, приведенными в [2], можно рассчитать радиус поворота трактора. В сравнении с поворотом только передних управляемых колес, применение поворачивающегося передний моста SuperSteer на тракторах New Holland снижает минимальный радиус поворота на 11–13 % благодаря суммарному углу поворота колес и моста до 76° [5].

Заключение. Одновременный поворот управляемых колес и переднего моста уменьшает радиус поворота колесного трактора. Представленные аналитические зависимости позволяют выявить взаимосвязь между углами поворота переднего моста и управляемых колес и определить радиус поворота 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. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – Москва: Наука, 1988. – 640 с.
4. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – Москва: Наука, 1986. – 544 с.
5. 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 исследований кинематики рулевой трапеции колесного трактора с передними управляемыми колесами и поворачивающимся передним мостом, получены расчетные формулы для определения углов поворота управляемых колес в зависимости от угла поворота переднего моста.

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