Гурвич Ю.А., Лебедев Е.П.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВ УСТАНОВКИ КОЛЕСА И ШКВОРНЯ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РУЛЕВОЙ ТРАПЕЦИИ

В настоящее время в литературе приведено большое число различных конструкций рулевых трапеций, которые используются в машинах на пневмоколесном ходу. Соответственно приведены схемы этих рулевых трапеций. Известна только одна механико-математическая модель – модель четырехзвенной неразрезной рулевой трапеции, впервые полученная академиком Е.А. Чудаковым. Для всех остальных конструкций рулевых трапеций приведены только схемы, а математические описания угла поворота внешнего управляемого колеса $\beta = \Phi(\alpha,\lambda_1,..,\lambda_j,g_1,..,g_m)$ отсутствуют. Причём для каждой новой конструкции рулевой трапеции будет свое число звеньев и своя совокупность конструктивных параметров. Исследование этой зависимости является весьма важным в техническом решении.

Рассмотрим некоторые моменты. Для расчета параметров шестизвенной рулевой трапеции изображенной на рисунке 1 необходимо формализовать связь угла поворота наружного колеса β от угла поворота внутреннего колеса α и других управляемых и неуправляемых (конструктивных) параметров $\beta=\beta(\alpha,\lambda_1,..,\lambda_j,g_1,..,g_m)$.

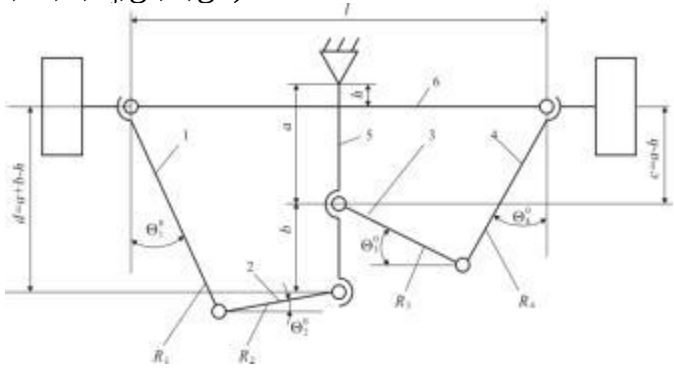

Рисунок 1. Схема несимметричной шестизвенной рулевой трапеции автобуса «МАЗ», колеса которого находятся в нейтральном положении

На рисунке 1 изображена новая шестизвенная рулевая трапеция автобуса «МАЗ» в исходном положении. На этом рисунке пронумерованы длины стержней 1 – 5 соответственно через $R_1 - R_5$, $R_5 = a + b$, $L = 2l$, а углы, определяющие направление стержней в начальном положении (до поворота рулевого колеса), обозначены индексом «0»: $\Theta_1^0,\ \Theta_2^0,\ \Theta_3^0,\ \Theta_4^0$.

При повороте рулевого колеса автобуса углы Θ_1^0, Θ_2^0, Θ_3^0, Θ_4^0 станут другими, и появится угол наклона стержня 5 к вертикали. Обозначим угол, определяющий направления стержней 1 – 5 в ненулевом положении Θ_1, Θ_2, Θ_3, Θ_4, Θ_5 (рисунок 2).

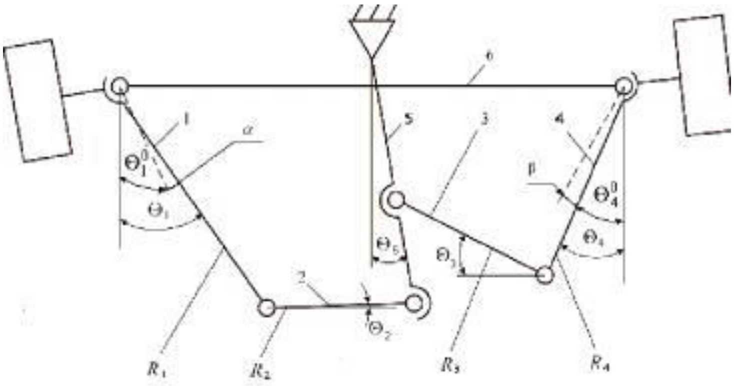

Рисунок 2. Схема несимметричной шестизвенной рулевой трапеции автобуса «МАЗ», колеса которого находятся в повернутом положении

Штриховыми линиями на рисунке 2 показаны начальные положения стержней 1 и 5. При повороте управляемого внутреннего колеса автобуса влево на угол α стержни 1, 4 и 5 будут вращаться против часовой стрелки, а углы Θ_1 и Θ_4 будут соответственно равны: $\Theta_1 = \Theta_1^0 + \alpha$, $\Theta_4 = \Theta_4^0 - \beta$, $\alpha = \Theta_1 - \Theta_1^0$, $\beta = \Theta_4^0 + \Theta_4$.

Для расчета параметров шестизвенной рулевой трапеции требуется определить зависимость угла поворота наружного колеса β от угла поворота внутреннего колеса $\beta=\beta(\alpha,\lambda_1,..,\lambda_j,g_1,..,g_m)$ и других конструктивных параметров, что эквивалентно определению $\Theta_4 = \Theta_4(\Theta_1)$.

Определение начальных углов Θ_1^0 и Θ_4^0

Определение Θ_1^0.

Рассматриваем часть трапеции левее стержня 5 (рисунок 1).

Связи:
$$\begin{cases} R_1 \sin \Theta_1^0 + R_2 \cos \Theta_2^0 = l, \\ -R_1 \cos \Theta_1^0 + R_2 \sin \Theta_2^0 + b + a = h. \end{cases} \quad (1)$$

Система (1) — это система уравнений с двумя неизвестными Θ_1^0 и Θ_2^0. Из (1) исключим Θ_2^0 и обозначим $b + a - h = d$. Получим:

$$\begin{cases} l - R_1 \sin \Theta_1^0 = R_2 \cos \Theta_2^0, \\ R_1 \cos \Theta_1^0 - d = R_2 \sin \Theta_2^0. \end{cases} \quad (2)$$

Возводим в квадрат уравнения (2) и складываем их. В результате получим:

$$l\sin\Theta_1^0 + d\cos\Theta_1^0 = \frac{l^2 + R_1^2 + d^2 - R_2^2}{2R_1}. \qquad (3)$$

Введем угол μ_1 следующим образом:

$$\begin{cases} l = A_1\cos\mu_1 \\ d = A_1\sin\mu_1 \end{cases} \Rightarrow \mathrm{tg}\,\mu_1 = \frac{d}{l}, \qquad A_1 = \sqrt{l^2 + d^2}, \qquad \mu_1 = \mathrm{arctg}\,\frac{d}{l}.$$

Преобразуем выражение (3):

$$\Theta_1^0 = \arcsin\frac{l^2 + R_1^2 + d^2 - R_2^2}{2R_1\sqrt{l^2 + d^2}} - \mathrm{arctg}\,\frac{d}{l}.$$

<u>Определение</u> Θ_4^0.

Рассматриваем часть трапеции правее стержня 5 (рисунок 1).

Связи:

$$\begin{cases} R_3\cos\Theta_3^0 + R_4\sin\Theta_4^0 = l, \\ -d + b - R_3\sin\Theta_3^0 + R_4\cos\Theta_4^0 = 0. \end{cases} \qquad (4)$$

Из (4) исключим Θ_3^0 и обозначим $c = d - b = a - h$. Получим:

$$\begin{cases} R_3\cos\Theta_3^0 = l - R_4\sin\Theta_4^0, \\ R_3\sin\Theta_3^0 = R_4\cos\Theta_4^0 - c. \end{cases} \qquad (5)$$

Исключим из уравнений (5) Θ_3^0, возведем их в квадрат и сложим:

$$l\sin\Theta_4^0 + c\cos\Theta_4^0 = \frac{l^2 + R_4^2 + c^2 - R_3^2}{2R_4}. \qquad (6)$$

Введем угол μ_2 следующим образом:

$$\begin{cases} l = A_2\cos\mu_2 \\ d = A_2\sin\mu_2 \end{cases} \Rightarrow \mathrm{tg}\,\mu_2 = \frac{c}{l}, \qquad A_2 = \sqrt{l^2 + c^2}, \qquad \mu_2 = \mathrm{arctg}\,\frac{c}{l}.$$

Преобразуем выражение (6):

$$\Theta_4^0 = \arcsin\frac{l^2 + R_4^2 + c^2 - R_3^2}{2R_4\sqrt{l^2 + c^2}} - \mathrm{arctg}\,\frac{c}{l}.$$

Определение зависимости $\Theta_4 = \Theta_4(\Theta_1)$

<u>Определение зависимости между</u> Θ_1 *и* Θ_5. Рассматриваем левую часть трапеции (левее стержня 5).

Связи:

$$\begin{cases} R_1\sin\Theta_1 + R_2\cos\Theta_2 = (a + b)\sin\Theta_5 + l, \\ -R_1\cos\Theta_1 + R_2\sin\Theta_2 + (b + a)\cos\Theta_5 = h. \end{cases} \qquad (7)$$

Из выражений (7) исключим Θ_2, возведем их в квадрат и сложим:

$$2(a+b)(R_1\cos\Theta_1+h)\cos\Theta_5-2(a+b)(l-R_1\sin\Theta_1)\sin\Theta_5=$$
$$=l^2+(a+b)^2+R_1^2+h^2-R_2^2-2lR_1\sin\Theta_1+2hR_1\cos\Theta_1. \qquad (8)$$

Определение зависимости между Θ_4 и Θ_5.

Связи:
$$\begin{cases} a\sin\Theta_5+R_3\cos\Theta_3+R_4\sin\Theta_4=l,\\ h-a\cos\Theta_5-R_3\sin\Theta_3+R_4\cos\Theta_4=0. \end{cases} \qquad (9)$$

Из (8) исключим Θ_3**,** возведем полученные уравнения в квадрат и сложим их:

$$2a(R_4\cos\Theta_4+h)\cos\Theta_5-2a(l-R_4\sin\Theta_4)\sin\Theta_5=$$
$$=l^2+a^2+R_4^2+h^2-R_3^2-2lR_4\sin\Theta_4+2hR_4\cos\Theta_4. \qquad (10)$$

Исключим Θ_5 *из уравнений (8) и (10).* Уравнение (8) перепишем следующим образом:

$$(R_1\cos\Theta_1+h)\cos\Theta_5-(l-R_1\sin\Theta_1)\sin\Theta_5=$$
$$=\frac{1}{2(a+b)}[l^2+(a+b)^2+R_1^2+h^2+R_2^2-2lR_1\sin\Theta_1+2hR_1\cos\Theta_1] \qquad (11)$$

Введем переменную амплитуду A_1 и $\mathcal{A}_1(\Theta_1)$:

$$A_1(\Theta_1)=\sqrt{(R_1\cos\Theta_1+h)^2+(l-R_1\sin\Theta_1)^2} \qquad (12)$$

и примем, что

$$(R_1\cos\Theta_1+h)=A_1(\Theta_1)\sin\mathcal{A}_1(\Theta_1),$$
$$(l-R_1\sin\Theta_1)=A_1(\Theta_1)\cos\mathcal{A}_1(\Theta_1).$$

Тогда
$$\mathcal{A}_1(\Theta_1)=arctg\frac{R_1\cos\Theta_1+h}{l-R_1\sin\Theta_1}. \qquad (13)$$

Преобразуем уравнение (11) и выразим из него Θ_5:

$$\Theta_5=\mathcal{A}_1(\Theta_1)-\arcsin\frac{1}{2(a+b)}\cdot\frac{l^2+(a+b)^2+R_1^2+h^2-2lR_1\sin\Theta_1+2hR_1\cos\Theta_1}{A_1(\Theta_1)}.$$

Окончательно $\Theta_5=\Theta_5(\Theta_1)$:

$$\Theta_5=\mathrm{arctg}\frac{R_1\cos\Theta_1+h}{l-R_1\sin\Theta_1}-$$
$$-\arcsin\frac{l^2+(a+b)^2+R_1^2+h^2-R_2^2-2lR_1\sin\Theta_1+2hR_1\cos\Theta_1}{2(a+b)\sqrt{(R_1\cos\Theta_1+h)^2+(l-R_1\sin\Theta_1)^2}}. \qquad (14)$$

Преобразуем уравнение (10) таким образом:

$$\cos\Theta_4(2aR_4\cos\Theta_5-2hR_4)+\sin\Theta_4(2aR_4\sin\Theta_5+2lR_4)=$$
$$=l^2+a^2+R_4^2+h^2-R_3^2-2ah\cos\Theta_5+2al\sin\Theta_5,$$

или (делим на $2R_4$):

$$(a\cos\Theta_5 - h)\cos\Theta_4 + (a\sin\Theta_5 + l)\sin\Theta_4 =$$
$$= \frac{l^2 + a^2 + R_4^2 + h^2 - R_3^2 - 2ah\cos\Theta_5 + 2al\sin\Theta_5}{2R_4}. \quad (15)$$

Вводим $\mu_2(\Theta_5)$ и переменную амплитуду

$$A_2(\Theta_5) = \sqrt{(a\cos\Theta_5 - h)^2 + (a\sin\Theta_5 + l)^2}, \quad (16)$$

$$\begin{cases} a\cos\Theta_5 - h = A_2(\Theta_5)\sin\mu_2(\Theta_5) \\ a\sin\Theta_5 + l = A_2(\Theta_5)\cos\mu_2(\Theta_5) \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg}\mu_2(\Theta_5) = \frac{a\cos\Theta_5 - h}{a\sin\Theta_5 + l},$$

$$\mu_2(\Theta_5) = \operatorname{arctg}\frac{a\cos\Theta_5 - h}{a\sin\Theta_5 + l}.$$

Преобразуем уравнение (15) и выразим из него Θ_4:

$$\Theta_4 = \arcsin\left(\frac{1}{2R_4A_2(\Theta_5)}(l^2 + a^2 + R_4^2 + h^2 - R_3^2 - 2ah\cos\Theta_5 + 2al\sin\Theta_5)\right) - \mu_2(\Theta_5), \quad (17)$$

где Θ_5 определяется по формуле (14).

В итоге зависимость угла поворота наружного колеса β от угла поворота внутреннего колеса $\beta=\beta(\alpha,\lambda_1,..,\lambda_j,g_1,..,g_m)$ примет вид:

$$\beta = \Theta_4^0 - \arcsin\frac{l^2 + a^2 + R_4^2 + h^2 - R_3^2 - 2ah\cos\Theta_5 + 2al\sin\Theta_5}{2R_4\sqrt{(a\cos\Theta_5 - h)^2 + (a\sin\Theta_5 + l)^2}} + arctg\frac{a\cos\Theta_5 - h}{a\sin\Theta_5 + l},$$

где

$$\Theta_4^0 = arctg\frac{l^2 + R_4^2 + c^2 - R_3^2}{2R_4\sqrt{l^2 + c^2}} - arctg\frac{c}{l},$$

$$\Theta_5 = \operatorname{arctg}\frac{R_1\cos(\Theta_1^0 + \alpha) + h}{l - R_1(\Theta_1^0 + \alpha)} -$$
$$- \arcsin\frac{l^2 + (a+b)^2 + R_1^2 + h^2 - R_2^2 - 2lR_1\sin(\Theta_1^0 + \alpha) + 2hR_1\cos(\Theta_1^0 + \alpha)}{2(a+b)\sqrt{(R_1\cos(\Theta_1^0 + \alpha) + h)^2 + (l - R_1\sin(\Theta_1^0 + \alpha))^2}},$$

$$\Theta_1^0 = \arcsin\frac{l^2 + R_1^2 + d^2 - R_2^2}{2R_1\sqrt{l^2 + d^2}} - arctg\frac{d}{l}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. – М.: Изд. АН СССР, 1961.-462с.