

А.Ф. Андреев, канд. техн. наук,
А.Х. Лефаров, докт. техн. наук

СТАТИЧЕСКАЯ ПОВОРОТЛИВОСТЬ ПОЛНОПРИВОДНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕЖОСЕВЫМ ПРИВОДОМ

Статическая поворотливость характеризует принципиальную возможность поворота машины с возможно меньшим радиусом поворота. Координаты полюса поворота: радиус поворота R и продольная координата X относительно задней оси машины — могут быть рассчитаны, если известна зависимость боковой силы S колеса от угла δ бокового увода. Эта зависимость в общем случае нелинейна.

Обработка опубликованных в [2] опытных данных позволяет предложить следующую формулу, описывающую физический закон изменения боковой силы в зависимости от угла увода:

$$S = \varphi G \operatorname{th} \frac{K_{y0} \delta}{\varphi G} .$$

Линеаризуя эту функцию в окрестности точки (δ_1, S_1) , получим

$$S = C_y + K_y \delta ;$$

$$K_y = \frac{dS}{d\delta} = K_{y0} \left(1 - \operatorname{th}^2 \frac{K_{y0} \delta}{\varphi G} \right) ;$$

$$C_y = \varphi G \operatorname{th} \frac{K_{y0} \delta}{\varphi G} - K_{y0} \delta .$$

Касательная сила тяги меняет характеристику увода шины ведущего колеса. Для учета этого влияния применяется принцип эллипса трения [1]. Если S_0 — боковая сила ведомого колеса, то боковая сила S при касательной силе P и том же угле увода равна

$$S = S_0 \xi_p = S_0 \sqrt{1 - \left(\frac{P}{\varphi G} \right)^2} ,$$

где ξ_p — корректирующий коэффициент по касательной силе тяги.

Рассмотрим установившийся поворот n -осной машины. При исследовании статической поворотливости влияние сил инерции не учитывается, так как рассматривается поворот с небольшой (ползучей) скоростью. Силы, действующие на машину, приводятся к боковым и продольным силам, приложенным к середи-

нам всех осей и моментам сопротивления осей повороту. Углы бокового увода наружного и внутреннего колес i -й оси принимаются равными углу увода δ_i середины оси.

С учетом известных допущений

$$\delta_i = \operatorname{tg} \alpha_i - \frac{l_i - X}{R}, \quad (1)$$

где l_i - расстояние от задней оси до i -й оси машины.

Боковая сила i -й оси определяется соответствующим углом увода середины оси и коэффициентами C_{yi} и K_{yi} , равными сумме соответствующих коэффициентов колес этой оси

$$S_i = C_{yi} + K_{yi} \delta_i. \quad (2)$$

При дифференциальной связи осей, когда касательные силы тяги каждой оси равны между собой, $P_1 = P_2 = \dots = P_i$, из уравнения статики $\sum X = 0$ найдем

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \sin \alpha_i + \sum_{i=1}^n F_i \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \cos \alpha_i}, \quad (3)$$

где F_i - сила сопротивления качению i -й оси.

Стабилизирующий момент шин при расчете параметров статической поворотливости имеет второстепенное значение и им можно пренебречь. В этом случае момент сопротивления повороту i -й оси машины определяется только перераспределением моментов на колесах из-за внутреннего трения межколесного дифференциала

$$M_{ci} = 0,5 B_i K_{mi} P_i, \quad (4)$$

где B_i - ширина колеи; K_{mi} - коэффициент момента трения дифференциала.

Составляя уравнения равновесия машины $\sum Y = 0$ и $\sum M = 0$ и принимая во внимание выражения (1) - (4), получим

$$\left. \begin{aligned} a_{11} R + a_{12} X &= a_1; \\ a_{21} R + a_{22} X &= a_2, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $a_{11} = \sum_{i=1}^n (C_{yi} + K_{yi} \operatorname{tg} \alpha_i) A_i$; $a_{22} = \sum_{i=1}^n K_{yi} A_i$;

$$a_1 = \sum_{i=1}^n K_{yi} l_i A_i; \quad a_{12} = \sum_{i=1}^n (C_{yi} + K_{yi} \operatorname{tg} \alpha_i) H_i -$$

$$-0,5 \sum^n B_i K_{mi} F_i ; a_{22} = \sum^n K_{yi} H_i ; a_2 =$$

$$= \sum^n K_{yi} l_i H_i ;$$

$$A_i = \cos \alpha_i + \left(\frac{\sum^n \sin \alpha_i}{\sum^n \cos \alpha_i} \right) \sin \alpha_i ;$$

$$H_i = l_i \cos \alpha_i + \left[\frac{(\sum^n l_i \sin \alpha_i - 0,5 B_i K_{mi})}{\sum^n \cos \alpha_i} \right] \sin \alpha_i .$$

Решение системы (5) производится методом последовательного приближения. При первом расчетном шаге полагаем $C_{yi} = 0$ и $K_{yi} = K_{yoi}$.

Вычислив при первом расчетном шаге боковые и продольные силы, углы бокового увода осей и корректирующий коэффициент ξ_p , находим далее коэффициенты K_{yi} и C_{yi} . Найденные значения K_{yi} и C_{yi} используются при последующем расчетном шаге.

Используя принципы описанного расчетного метода и введя дополнительно подобную аппроксимацию зависимости продольной силы от коэффициента буксования колеса, можно создать аналогичные методы расчета параметров статического поворота колесных машин с заблокированным и смешанным межосевыми приводами.

Л и т е р а т у р а

1. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля. М., 1975.
2. Freudenstein G. Luftreifen bei Schräg- und Kurvenlauf. - In: D. Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik. Hf. 152, 1961.

УДК 629.11.073.23

А.В. Войтиков

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМОГО ТРАКТОРА НА СКЛОНЕ

Рассмотрим трактор, движущийся поперек склона. Будем считать, что скольжения в пятне контакта колес с почвой нет. Движение трактора будем изучать относительно некоторой ос-