

УДК 629.017

М.А. Подригало, профессор, д-р техн. наук,**Д.М. Клец, доцент, канд. техн. наук,****В.И. Гацько,****В.Н. Плетнёв***Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002**prof_777@mail.ru***ОЦЕНКА УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ МНОГООСНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ**

Исследовано влияние коэффициентов сопротивления уводу колес и поворачиваемости на управляемость и устойчивость многоосных автомобилей при прямолинейном движении.

Ключевые слова: многоосный автомобиль, устойчивость, управляемость, прямолинейное движение, увод колес

Постановка проблемы. Управляемость и устойчивость многоосных автомобилей оказывает существенное влияние на безопасность движения. Расширение использования многоосных автомобилей в различных отраслях промышленности, строительства и на транспорте вызывает необходимость дальнейшего исследования показателей их управляемости и устойчивости.

Введение многоопорной ходовой части ухудшает устойчивость движения из-за необходимости расположения колесных осей одной от другой на расстояниях, меньших, чем продольная колесная база автомобиля. Это уменьшает стабилизирующее действие колес осей, вследствие чего ухудшается устойчивость машины.

Анализ последних достижений и публикаций. Вопросам устойчивости и управляемости многоосных автомобилей уделялось значительно меньшее внимание, чем двухосным. Это объясняется тем, что в первую очередь исследовались легковые автомобили, движущиеся с большими скоростями и имеющие на передних и задних колесах односкатные шины, мягкие как в радиальном, так и в боковом направлениях [1, 2].

Исследованию устойчивости и управляемости многоосных автомобилей посвящены работы [1-6]. Поскольку для обеспечения устойчивости прямолинейного установившегося движения водитель постоянно воздействует на рулевое колесо, то авторы работы [5] показали, что для данного режима движения управляемость является одним из свойств более общего комплексного свойства – курсовой устойчивости. В указанной работе [5] предложен показатель, характеризующий управляемость и устойчивость установившегося движения, в качестве которого принята собственная частота колебаний автомобиля в плоскости дороги. Однако полученные в работе [5] аналитические выражения для определения собственной частоты колебаний автомобиля в плоскости дороги не учитывают особенностей многоосных автомобилей. Эти особенности касаются, прежде всего, расположения колесных осей одной от другой на определенных расстояниях, меньших, чем колесная база автомобиля.

Цель и постановка задачи исследования. Целью исследования является оценка и обеспечение управляемости и устойчивости многоосных автомобилей при установившемся прямолинейном движении. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи: определить угловую жесткость многоосного автомобиля в плоскости дороги; определить собственную частоту колебаний многоосного автомобиля в плоскости дороги.

Определение угловой жесткости многоосного автомобиля в плоскости дороги. Многоосные или многоопорные автомобили являются статически неопределимыми системами (рисунок 1). Для решения задачи определения реакций дороги на колесах автомобиля необходимо составить уравнения совместности деформаций.

Угловая жесткость автомобиля определяется при воздействии на него поворачивающего момента в плоскости дороги [5]. Реакциями на него являются боковые реакции R_{y_1} , R_{y_2} , R_{y_3} , R_{y_4} на осях. Поворачивающий момент в плоскости дороги можно выразить через боковые реакции на осях следующим образом:

$$M_{\text{ПОВ}} = R_{y_1} \cdot a_1 + R_{y_2} \cdot a_2 + R_{y_3} \cdot a_3 + R_{y_4} \cdot a_4. \quad (1)$$

Боковые реакции на осях автомобиля

$$R_{y_1} = C_{y_1} \cdot Y_1; \quad (2)$$

$$R_{y_2} = C_{y_2} \cdot Y_2; \quad (3)$$

$$R_{y_3} = C_{y_3} \cdot Y_3; \quad (4)$$

$$R_{y_4} = C_{y_4} \cdot Y_4, \quad (5)$$

где C_{y_1} , C_{y_2} , C_{y_3} , C_{y_4} – суммарные коэффициенты боковой жесткости шин соответствующих осей автомобиля;

Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 – смещение точек 1, 2, 3, 4 (рисунок 1) в боковом направлении под действием поворачивающего момента $M_{\text{ПОВ}}$.

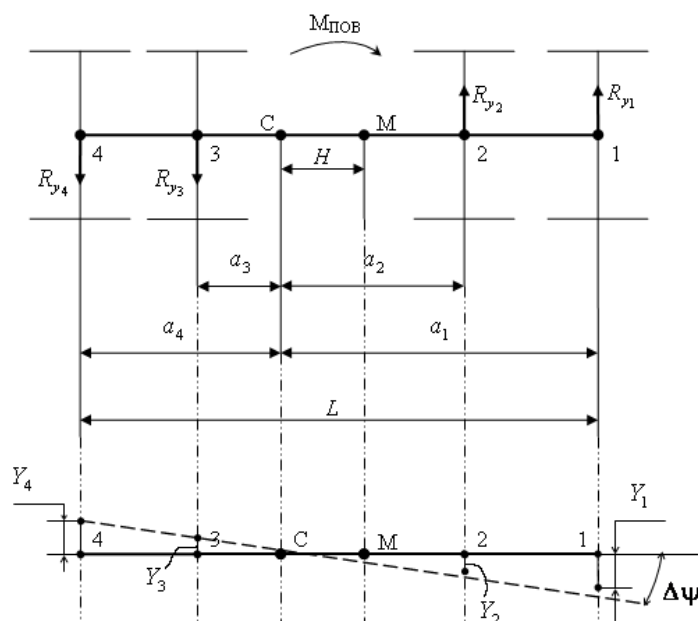


Рисунок 1 – Схема нагружения четырехосного автомобиля поворачивающим моментом: C – центр масс автомобиля; M – полюс поворота (центр упругости); a_1 , a_2 , a_3 , a_4 – расстояния от соответствующих осей до проекции центра масс автомобиля на горизонтальную плоскость; L – расстояние между крайними осями автомобиля; H – координата полюса поворота; R_{y_1} , R_{y_2} , R_{y_3} , R_{y_4} – суммарные боковые реакции дороги на осях

Угол поворота продольной оси автомобиля под действием момента $M_{\text{ПОВ}}$

$$\Delta\psi = \frac{Y_1}{a_1 - H} = \frac{Y_2}{a_2 - H} = \frac{Y_3}{a_3 + H} = \frac{Y_4}{a_4 + H}, \quad (6)$$

или, с учетом соотношений (2) – (5)

$$\Delta\psi = \frac{R_{y_1}}{C_{y_1}(a_1 - H)} = \frac{R_{y_2}}{C_{y_2}(a_2 - H)} = \frac{R_{y_3}}{C_{y_3}(a_3 + H)} = \frac{R_{y_4}}{C_{y_4}(a_4 + H)}. \quad (7)$$

Решая совместно (1) и (7), получим

$$M_{\text{ПОВ}} = \Delta\psi [C_{y_1} a_1 (a_1 - H) + C_{y_2} a_2 (a_2 - H) + C_{y_3} a_3 (a_3 + H) + C_{y_4} a_4 (a_4 + H)]. \quad (8)$$

Из уравнения (8) определим угловую жесткость автомобиля в плоскости дороги

$$\begin{aligned} C_{y_{\text{зл}}} &= C_{y_1} a_1 (a_1 - H) + C_{y_2} a_2 (a_2 - H) + C_{y_3} a_3 (a_3 + H) + C_{y_4} a_4 (a_4 + H) = \\ &= C_{y_1} a_1^2 + C_{y_1} a_1^2 + C_{y_1} a_1^2 + C_{y_1} a_1^2 - H(C_{y_1} a_1 + C_{y_2} a_2 - C_{y_3} a_3 - C_{y_4} a_4) \end{aligned} \quad (9)$$

Из условия равновесия

$$R_{y_1} + R_{y_2} = R_{y_3} + R_{y_4}, \quad (10)$$

учитывая пропорции (7), получим

$$\Delta\psi [C_{y_1} (a_1 - H) + C_{y_2} (a_2 - H)] = \Delta\psi [C_{y_3} (a_3 + H) + C_{y_4} (a_4 + H)]. \quad (11)$$

Из уравнения (11) определим координату центра упругости

$$H = \frac{C_{y1}a_1 + C_{y2}a_2 - C_{y3}a_3 - C_{y4}a_4}{C_{y1} + C_{y2} + C_{y3} + C_{y4}}. \quad (12)$$

Подставляя выражение (12) в уравнение (9), уточним угловую жесткость автомобиля в плоскости дороги

$$C_{y\text{зл}} = C_{y1}a_1^2 + C_{y1}a_1^2 + C_{y1}a_1^2 + C_{y1}a_1^2 - \frac{(C_{y1}a_1 + C_{y2}a_2 - C_{y3}a_3 - C_{y4}a_4)^2}{C_{y1} + C_{y2} + C_{y3} + C_{y4}}. \quad (13)$$

Определение собственной частоты колебаний многоосного автомобиля в плоскости дороги.
Частота собственных колебаний автомобиля в плоскости дороги может быть определена из следующей зависимости:

$$\nu_{\text{собств}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{y\text{зл}}}{Y_{ZM}}}; \quad (14)$$

где Y_{ZM} – момент инерции автомобиля относительно вертикальной оси, проходящей через центр упругости M ,

$$Y_{ZM} = Y_{ZC} + m_a H^2 = m_a (i_Z^2 + H^2); \quad (15)$$

где m_a – общая масса автомобиля;

Y_{ZC} – центральный момент инерции автомобиля в горизонтальной плоскости;

i_Z – радиус инерции автомобиля относительно вертикальной координатной оси.

Выражение (14) с учетом (12), (13) и (15) примет следующий вид

$$\nu_{\text{собств}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{C_{y1}}{m_a} \left[a_1^2 + \frac{C_{y2}}{C_{y1}} a_2^2 + \frac{C_{y3}}{C_{y1}} a_3^2 + \frac{C_{y4}}{C_{y1}} a_4^2 - \frac{\left(a_1 + \frac{C_{y2}}{C_{y1}} a_2 - \frac{C_{y3}}{C_{y1}} a_3 - \frac{C_{y4}}{C_{y1}} a_4 \right)^2}{1 + \frac{C_{y2}}{C_{y1}} + \frac{C_{y3}}{C_{y1}} + \frac{C_{y4}}{C_{y1}}} \right]}{i_Z^2 + \frac{\left(a_1 + \frac{C_{y2}}{C_{y1}} a_2 - \frac{C_{y3}}{C_{y1}} a_3 - \frac{C_{y4}}{C_{y1}} a_4 \right)^2}{1 + \frac{C_{y2}}{C_{y1}} + \frac{C_{y3}}{C_{y1}} + \frac{C_{y4}}{C_{y1}}}}}. \quad (16)$$

Для двухосного автомобиля: $C_{y2} = 0$, $C_{y3} = 0$, $a_1 = a$, $a_4 = b$, а для трехосного автомобиля $C_{y2} = 0$. Зависимости частот собственных колебаний от соотношения суммарных коэффициентов боковой жесткости шин на примере трехосного и четырехосного автомобиля приведены на рисунке 2.

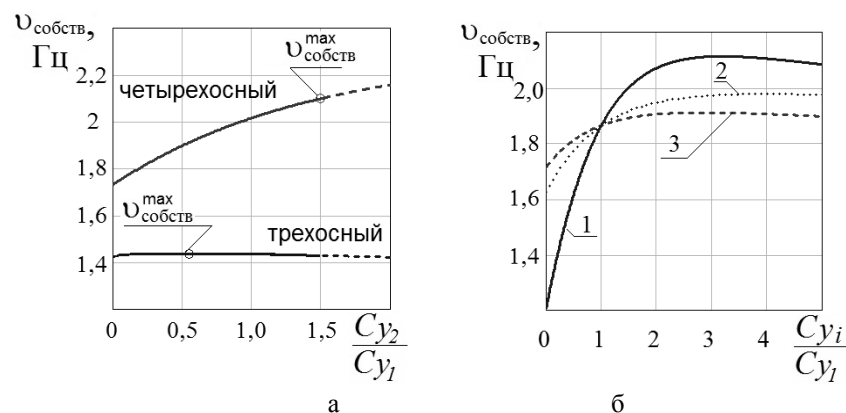


Рисунок 2 – Зависимости частот собственных колебаний от соотношения суммарных коэффициентов боковой жесткости шин автомобиля: а – сравнение частоты собственных колебаний трехосного и четырехосного автомобиля; б – определение $\nu_{\text{собств}}$ четырехосного автомобиля при различных соотношениях C_{yi} : 1 – $C_{y2}/C_{y1} = 1$; $C_{y3}/C_{y1} = 1$;

$C_{y4}/C_{y1} = 0...5$; 2 – $C_{y2}/C_{y1} = 1$; $C_{y3}/C_{y1} = 0...5$; $C_{y4}/C_{y1} = 1$; 3 – $C_{y2}/C_{y1} = 0...5$; $C_{y3}/C_{y1} = 1$; $C_{y4}/C_{y1} = 1$

Выводы. В результате проведенного исследования предложен метод определения угловой жесткости многоосного автомобиля в плоскости дороги, а также собственной частоты его колебаний. Полученные зависимости позволяют оценить влияние коэффициентов сопротивления уводу колес и поворачиваемости на управляемость и устойчивость многоосных автомобилей при прямолинейном движении.

Библиографический список использованной литературы

1. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д.А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.
2. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
3. Аксенов П.В. Многоосные автомобили / П.В. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.
4. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
5. Подригало М.А. Управляемость колесных машин при установившемся движении / М.А. Подригало, Д.М. Клец, В.И. Гацько // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2011. – Вып. 29. – С. 117-125.
6. Завьялова Л.И. Повышение устойчивости движения многоосного автомобиля за счет рационального выбора числа колесных осей и схемы рулевого управления: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец 05.22.02 “Автомобили и тракторы” / Л.И. Завьялова. – К., 1997. – 27 с.
7. Маневренность и тормозные свойства автомобилей / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый, А.А. Бобошко; под ред. Подригало М.А. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с.
8. Курицкий Б.Я. Оптимизация вокруг нас / Б.Я. Курицкий. – Л.: Машиностроение, 1989. – 144 с.

Поступила в редакцию 18.06.2013 г.

Подригало М.А., Клец Д.М., Гацько В.І., Плетньов В.М. Оцінка керованості і стійкості багатовісних автомобілів при сталому прямолінійному русі

Досліджено вплив коефіцієнтів опору відведенню коліс і обертовості на керованість і стійкість багатовісних автомобілів при прямолінійному русі.

Ключові слова: багатовісний автомобіль, стійкість, керованість, прямолінійний рух, відведення коліс.

Podrigalo M., Klets D., Gatsko V., Pletnyov V. Evaluation of controllability and stability of multi-car at steady rectilinear motion

The effect of the drag coefficients wheel slipping and understeer on the handling and stability of multi-car in rectilinear motion is investigated.

Keywords: multi-axle vehicles, stability, controllability, linear motion wheel slipping.