

ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Д. Клец, канд. техн. наук, доцент,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Предложен метод, позволяющий определять допустимые значения линейных ускорений колесных машин различного типа привода с учетом их геометрических параметров и управляющих воздействий водителя по условию обеспечения управляемости.

Ключевые слова: колесная машина, управляемость, критерий, ускорение.

Актуальность вопроса. Управляемость является одним из свойств маневренности колесных машин. Потеря управляемости является причиной значительного числа несчастных случаев [1]. В системе управления колесной машиной входными сигналами для нее являются: поворот рулевого колеса, увеличение подачи топлива, изменение усилия на педали тормоза, включение сцепления, переключение передач в коробке передач и т.д. При повороте машины, в контакте колес с опорной поверхностью возникают боковые силы, обусловленные появлением нормального ускорения центра масс и, следовательно, центробежной силы инерции. Эти силы, при определенном сочетании линейной и угловой скоростей движения машины, способны вызвать боковое скольжение передней или задней осей, нарушая управляемость машины.

Анализ последних достижений и публикаций. Динамические свойства автомобиля проявляются в его реакции на управляющее воздействие [2 – 5]. В работе [4, 5] предложено в качестве критерия управляемости использовать величину ускорения (линейного или углового) автомобиля, возникающего при создании управляющего воздействия. В работе [5] в качестве критерия управляемости двухосной колесной машины предложен коэффициент управляемости, равный отношению поворачивающего момента к моменту сопротивления повороту. Поворачивающий момент определяется из следующего соотношения

$$M_{пов} = R_{k_1} \cdot a \cdot \sin \alpha + R_{\delta_1} \cdot a \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

а момент сопротивления повороту из выражения

$$M_{сопр} = R_{\delta_2} \cdot b, \quad (2)$$

где a , b – расстояние от проекции центра масс автомобиля на горизонтальной плоскости до передней и задней оси автомобиля; α – угол

поворота направляющих колес; $R_{k_1}, R_{\delta_1}, R_{\delta_2}$ – суммарная касательная реакция в контакте передних колес с дорогой, а также боковые реакция дороги на передней и задней оси.

Коэффициент управляемости переднеприводной и полноприводной колесной машины

$$K_{ymp} = \frac{R_{k_1}}{R_{\delta_2}} \cdot \frac{a}{b} \cdot \sin \alpha + \frac{R_{\delta_1}}{R_{\delta_2}} \cdot \frac{a}{b} \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

Для четырехколесной схемы в работах [1] определены суммарные боковые реакции на колесах передней и задней осей (для всех ведущих или передних ведущих колес).

$$R_{\delta_1} = m \cdot \sec \bar{\alpha} \cdot \left[\bar{t}g \bar{\alpha} \cdot \frac{b^2 + i_z^2 + f \cdot h \cdot b}{L^2} \cdot \frac{dV_{x_1}}{dt} + V_{x_1}^2 \cdot \bar{t}g \bar{\alpha} \cdot \frac{b}{L^2} \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h}{b} \right) + \right. \\ \left. + V_{x_1} \cdot \frac{b^2 + i_z^2 + f \cdot h \cdot b}{L^2 \cdot \cos^2 \bar{\alpha}} \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt} \right] - R_{k_1} \cdot \bar{t}g \bar{\alpha}; \quad (4)$$

$$R_{\delta_2} = m \cdot \left[\bar{t}g \bar{\alpha} \cdot \frac{a \cdot b - i_z^2 - f \cdot h \cdot b}{L^2} \cdot \frac{dV_{x_1}}{dt} + V_{x_1}^2 \cdot \bar{t}g \bar{\alpha} \cdot \frac{a}{L^2} \cdot \left(1 - f \cdot \frac{h}{a} \right) + \right. \\ \left. + V_{x_1} \cdot \frac{a \cdot b - i_z^2 - f \cdot h \cdot b}{L^2 \cdot \cos^2 \bar{\alpha}} \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt} \right]. \quad (5)$$

где V_{x_1} – линейная скорость автомобиля; i_z – радиус инерции относительно вертикальной оси; f – коэффициент сопротивления качению; m , h , L – масса, колесная база и высота центра масс автомобиля.

Выражение для определения коэффициента управляемости примет следующий вид

$$K_{ymp} = \frac{a}{b} \cdot \frac{\Theta}{\Psi}, \quad (6)$$

$$\text{где } \Theta = \frac{dV_{x_1}}{dt} (b^2 + i_z^2 + fhb) \bar{t}g \bar{\alpha} + V_{x_1}^2 (b + fh) \bar{t}g \bar{\alpha} + V_{x_1} \frac{b^2 + i_z^2 + fhb}{\cos^2 \bar{\alpha}} \frac{d\bar{\alpha}}{dt};$$

$$\Psi = \frac{dV_{x_1}}{dt} (ab - i_z^2 - fhb) \bar{t}g \bar{\alpha} + V_{x_1}^2 (a - fh) \bar{t}g \bar{\alpha} + V_{x_1} \frac{a \cdot b - i_z^2 - f \cdot h \cdot b}{\cos^2 \bar{\alpha}} \frac{d\bar{\alpha}}{dt}.$$

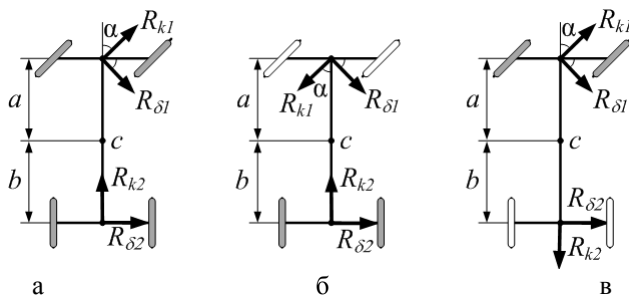
Однако для заднеприводного автомобиля вопрос определения критерия управляемости требует дальнейших исследований.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является разработка метода обеспечения управляемости колесных машин различной компоновки и с различным типом привода путем ограничения их линейных ускорений. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие

задачи: определить коэффициент управляемости заднеприводного автомобиля; определить предельные ускорения автомобилей различного типа привода по условию обеспечения их управляемости.

Коэффициент управляемости заднеприводного автомобиля.

Рассмотрим схемы поворота колесных машин с различными типами привода (рис. 1). Предположим, что водитель стремится повернуть автомобиль направо. В таком случае суммарный момент сил, стремящихся развернуть автомобиль по часовой стрелке, будем называть поворачивающим, а против часовой стрелки – моментом сопротивления повороту. Равенство указанных моментов будет свидетельствовать об устойчивом движении автомобиля на повороте, т.е. о стадии установившегося поворота.



a – все ведущие колеса; b – задние ведущие колеса; c – передние ведущие колеса

Рисунок 1 – Схема поворота двухосной колесной машины с передними направляющими колесами

Согласно рис. 1,б для заднего привода коэффициент управляемости определяется из выражения

$$K_{упр} = \frac{R_{\delta 1} \cdot a \cdot \cos \alpha}{R_{\delta 2} \cdot b + R_{k1} \cdot a \cdot \sin \alpha}. \quad (7)$$

Суммарные боковые реакции на колесах передней и задней осей (для задних ведущих колес) определяются из выражения [1]

$$R_{\delta 1} = m \cdot \sec \alpha \cdot \left[\operatorname{tg} \alpha \frac{-b^2 + i_z^2 + f \cdot h \cdot b}{L^2} \frac{dV_{x1}}{dt} + V_{x1}^2 \operatorname{tg} \alpha \frac{b}{L^2} \cdot \left(1 + f \cdot \frac{h}{b} \right) + \right. \\ \left. + V_{x1} \cdot \frac{b^2 + i_z^2 + f \cdot h \cdot b}{L^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} \right] + R_{k1} \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (8)$$

$$R_{\delta_2} = m \cdot \left[\overline{\text{tg}\alpha} \cdot \frac{a \cdot b - i_z^2 - f \cdot h \cdot b}{L^2} \cdot \frac{dV_{x_1}}{dt} + V_{x_1}^2 \cdot \overline{\text{tg}\alpha} \cdot \frac{a}{L^2} \cdot \left(1 - f \cdot \frac{h}{a} \right) + \right. \\ \left. + V_{x_1} \cdot \frac{a \cdot b - i_z^2 - f \cdot h \cdot b}{L^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot \frac{d\overline{\alpha}}{dt} \right]. \quad (9)$$

Выражение для определения коэффициента управляемости заднеприводного автомобиля примет следующий вид

$$K_{y_{np}} = \frac{a \cdot \Theta \cdot m / L^2 + R_{k_1} a \cdot \sin \alpha}{b \cdot \Psi \cdot m / L^2 + R_{k_1} a \cdot \sin \alpha}. \quad (10)$$

Для передних неведущих колес суммарная касательная реакция в контакте передних колес с дорогой определяется из выражения [1]

$$R_{k_1} = f \cdot R_{z_1}, \quad (11)$$

где R_{z_1} – суммарная нормальная реакция на колесах передней оси,

$$R_{z_1} = G \cdot \frac{b}{L} - m \cdot \frac{d^2 X_1}{d\tau^2} \cdot \frac{h - r_\delta}{L} - k \cdot F \cdot V_{x_1}^2 \cdot \frac{h_w - r_\delta}{L}. \quad (12)$$

Подставляя выражение (12) в (11) и принимая $h_w = h$, получим

$$R_{k_1} = G \cdot f \cdot \frac{b}{L} - \left(m \cdot \frac{dV_{x_1}}{dt} + k \cdot F \cdot V_{x_1}^2 \right) \cdot \frac{f \cdot (h - r_\delta)}{L}. \quad (13)$$

После подстановки зависимости (13) в (10), получим выражение для определения $K_{y_{np}}$ двухосного заднеприводного автомобиля

$$K_{y_{np}} = \frac{a \cdot \Theta + \left(b \cdot g - \frac{dV_{x_1}}{dt} - \frac{kF}{m} \cdot V_{x_1}^2 \right) \cdot a \cdot f \cdot L \cdot \frac{(h - r_\delta)}{\text{cosec}\alpha}}{b \cdot \Psi + \left(b \cdot g - \frac{dV_{x_1}}{dt} - \frac{kF}{m} \cdot V_{x_1}^2 \right) \cdot a \cdot f \cdot L \cdot \frac{(h - r_\delta)}{\text{cosec}\alpha}}. \quad (14)$$

Определение предельных ускорений колесных машин по условию обеспечения их управляемости. Коэффициент управляемости автомобиля с передними или всеми ведущими колесами определяется из выражения (6). Указанный коэффициент равен единице при условии

$$\Theta \cdot a / b = \Psi. \quad (15)$$

Решая неравенство (15) относительно величины линейных ускорений, определим граничные значения линейных ускорений автомобиля, при которых будет обеспечиваться его управляемость:

$$\dot{V}_{x1_гран} = - \frac{f \cdot h \cdot V_{x1}^2 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha} \cdot \cos(\bar{\alpha})^2 + (i_z^2 + f \cdot h \cdot b) \cdot V_{x1} \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt}}{\operatorname{tg} \bar{\alpha} \cdot \cos(\bar{\alpha})^2 \cdot (i_z^2 + f \cdot h \cdot b)}. \quad (16)$$

На примере полноприводной колесной машины определим зависимость $\dot{V}_{x1_гран}$ от скорости его движения на повороте при синусоидальном законе изменения угла поворота направляющих колес (см. рис. 2). Параметры условного автомобиля приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры условного автомобиля, принятые при расчете граничных значений линейных ускорений автомобиля

Параметр	Значение	Параметр	Значение
a , м	1,4	m , кг	1430
b , м	1,33	kF , Н·с ² /м ²	0,58
\dot{V}_{x1} , м/с ²	1	V_0 , м/с	3,61
f_0	0,013	h , м	0,546

Условием обеспечения управляемости полноприводных и переднеприводных автомобилей ($K_{yпр} \geq 1$) является $\dot{V}_{x1} \geq \dot{V}_{x1_гран}$ или с учетом выражения (16)

$$\dot{V}_{x1} \leq \frac{f \cdot h \cdot V_{x1}^2 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha} \cdot \cos(\bar{\alpha})^2 + (i_z^2 + f \cdot h \cdot b) \cdot V_{x1} \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt}}{\operatorname{tg} \bar{\alpha} \cdot \cos(\bar{\alpha})^2 \cdot (i_z^2 + f \cdot h \cdot b)}. \quad (17)$$

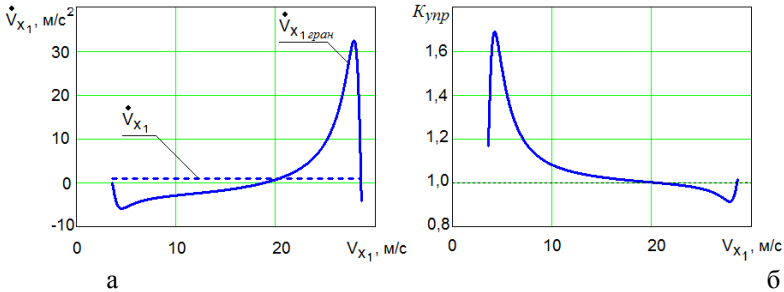
Анализ рис. 2 показывает, что при движении условного автомобиля со скоростью до 20,3 м/с (73 км/ч) в заданных условиях на повороте его коэффициент управляемости выше единицы. Коэффициент управляемости заднеприводного автомобиля равен единице при следующем условии

$$a \cdot \Theta + \left(bg - \frac{dV_{x1}}{dt} - \frac{kF}{m} V_{x1}^2 \right) a f L \frac{(h - r_0)}{\operatorname{cosec} \bar{\alpha}} = b \cdot \Psi + \left(bg - \frac{dV_{x1}}{dt} - \frac{kF}{m} V_{x1}^2 \right) a f L \frac{(h - r_0)}{\operatorname{cosec} \bar{\alpha}}. \quad (18)$$

Условием обеспечения управляемости заднеприводного автомобиля ($K_{yпр} \geq 1$) является

$$\dot{V}_{x1} \leq \frac{f \cdot h \cdot V_{x1}^2 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha} + (i_z^2 + f \cdot h \cdot b) \cdot V_{x1} \cdot \sec^2 \bar{\alpha} \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt}}{\operatorname{tg} \bar{\alpha} \cdot (i_z^2 + f \cdot h \cdot b)}. \quad (19)$$

Выражения (17) и (19) могут быть использованы при экспертных исследованиях дорожно-транспортных происшествий, связанных с потерей управляемости транспортных средств и установлением истинных причин ДТП, а также при проведении их квалиметрии и построении зон управляемого движения.



а – зависимость продольных ускорений условного автомобиля от скорости его движения; б – зависимость коэффициента управляемости условного автомобиля от скорости его движения; \dot{V}_{x1} – линейные ускорения, развиваемые автомобилем;

$\dot{V}_{x1\text{гран}}$ – граничные ускорения автомобиля по условию обеспечения его управляемости, определенные по зависимости (16)

Рисунок 2 – Определение граничных значений линейных ускорений автомобиля по условию обеспечения его управляемости

Выводы:

1. Полученные зависимости позволили уточнить определение коэффициента $K_{упр}$ автомобилей с задними ведущими колесами, как оценочного критерия их управляемости.

2. Предложенный метод позволяет определять допустимые значения линейных ускорений колесных машин различного типа привода с учетом их геометрических параметров и управляющих воздействий водителя, при которых обеспечивается управляемость. Сравнение максимально допустимой по условию сохранения управляемости линейной скорости движения и ускорения автомобиля на каждой передаче с величинами скоростей и ускорений, получаемых при тяговом расчете, позволяет осуществить оценку управляемости автомобилей с помощью ЭВМ.

Литература

1. Бобошко А.А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 [Текст] / А.А. Бобошко. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 19 с.
2. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда [Текст]/ Я.Х. Закин. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.
3. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля [Текст] / А.С. Литвинов. – М: Машиностроение, 1971. – 416 с.

4. Маневренность и тормозные свойства колесных машин [Текст] / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый, А.А. Бобошко; под ред. М.А. Подригало. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с.

5. Динамика автомобиля [Текст] / [М.А. Подригало, В.П. Волков, А.А. Бобошко, В.А. Павленко, В.Л. Файст, Д.М. Клец, В.В. Редько]. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с.

Анотація

Запропоновано метод, який дозволяє визначати допустимі значення лінійних прискорень колісних машин різного типу приводу з урахуванням їх геометричних параметрів і керуючих впливів водія за умовою забезпечення керованості.

Summary

It's proposed A method to determine the wheeled vehicle with various drive types linear acceleration permissible values taking into account their geometry parameters and driver impacts on the manageability condition.