

УДК 629.113

**В.Г. Вербицкий, профессор, д-р физ.-мат. наук,****Р.А. Кулиев, аспирант,****А.Н. Ефименко, аспирант,****Ю.Н. Стрельник, аспирант,****Е.С. Андрияшина доцент, канд. техн. наук,****Е.В. Червякова, ассистент.***Донецкая академия автомобильного транспорта пр. Дзержинского, 7, г. Донецк, Украина, 83086  
oxsi@bigmir.net***ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВОРАЧИВАЕМОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ  
ВНЕШНЕЙ БОКОВОЙ СИЛЫ**

*Рассмотрен вопрос определения характеристик поворачиваемости модели двухосного автомобиля при наличии постоянной внешней боковой силы, приложенной в центре масс, и способа парирования боковой силы углом поворота управляемых колес.*

**Ключевые слова:** боковая сила, стационарный режим, диаграмма поворачиваемости

Постановка проблемы. Исследование курсовой устойчивости движения легковых автомобилей с учетом боковых сил, которые действуют в контакте колес с дорогой является важным, поскольку наличие таких сил приводит к изменению параметров устойчивости автомобиля при его движении. Это может вызвать ухудшение КУД, и отрицательно повлиять на безопасность движения.

Цель статьи. Определение характеристик поворачиваемости модели двухосного автомобиля при наличии постоянной внешней боковой силы, приложенной в центре масс, и способа парирования боковой силы углом поворота управляемых колес.

Материалы и результаты исследования. При анализе была рассмотрена нелинейная модель, учитывающая нелинейность сил увода (в статье непосредственно рассмотрен случай монотонной зависимости имеющей характер функции насыщения). В качестве основной схемы принята плоская велосипедная модель автомобиля, использованная в более ранних работах по данной теме [1].

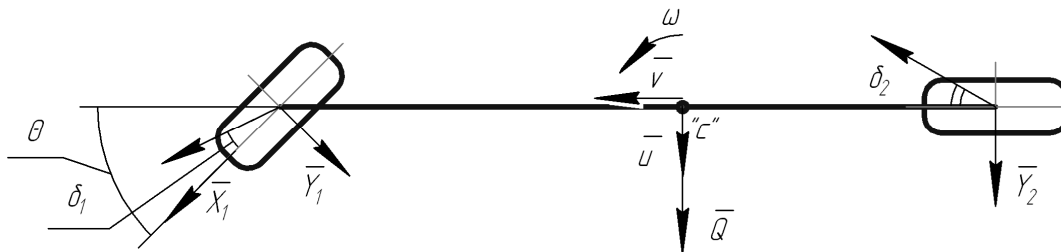


Рисунок 1 – Велосипедная модель автомобиля

Рассмотрим, какой вид будет иметь уравнение управляемости для случая линейной модели автомобиля с учетом боковой силы  $Q$ . При этом уравнения, определяющие стационарный режим, будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} -\frac{v^2}{g \cdot l} \cdot (\theta + \delta_2 - \delta_1) + \bar{Y}_1 \cdot \frac{b}{l} + \bar{Y}_2 \cdot \frac{a}{l} + \bar{Q} = 0, \\ \bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\bar{Q} = \frac{Q}{mg}$  - безразмерная внешняя боковая сила.

Введем новую функцию  $Y(\delta_2 - \delta_1)$ :

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 = \bar{Y}(\delta_2 - \delta_1). \quad (2)$$

Определение стационарных режимов сводятся к решению нелинейного уравнения (3):

$$\frac{v^2}{g \cdot l} \cdot (\theta + \delta_2 - \delta_1) - \bar{Q} = \bar{Y}(\delta_2 - \delta_1). \tag{3}$$

Для практического использования, (для графического отображения процесса нахождения стационарных режимов), будет удобно перейти к обратным функциям в левой и правой частях уравнения (3).

$$\frac{g \cdot l \cdot (\bar{Y} + \bar{Q})}{v^2} - \theta = G(\bar{Y}), \tag{4}$$

где функция  $G(\bar{Y}) = \delta_2 - \delta_1$ ;

$$\delta_1 = \frac{\frac{1}{k_1} \cdot \bar{Y}_1}{\sqrt{1 - \frac{\bar{Y}_1^2}{\varphi^2}}}, \quad \delta_2 = \frac{\frac{1}{k_2} \cdot \bar{Y}_2}{\sqrt{1 - \frac{\bar{Y}_2^2}{\varphi^2}}}; \tag{5}$$

Для приведенных числовых параметров системы представлена геометрическая иллюстрация нахождения стационарных режимов. Использовались следующие параметры: угол поворота управляемых колес  $\theta=0,1$  рад, база автомобиля  $l=3$ м, коэффициенты сцепления на передней и задней оси соответственно  $\varphi_1=\varphi_2=0,8$ ; коэффициент сопротивления уводу колеса  $\bar{k}_1 = 7,630$ ,  $\bar{k}_2 = 6,206$ ; внешняя боковая сила  $\bar{Q}_2 = 0,3$ .

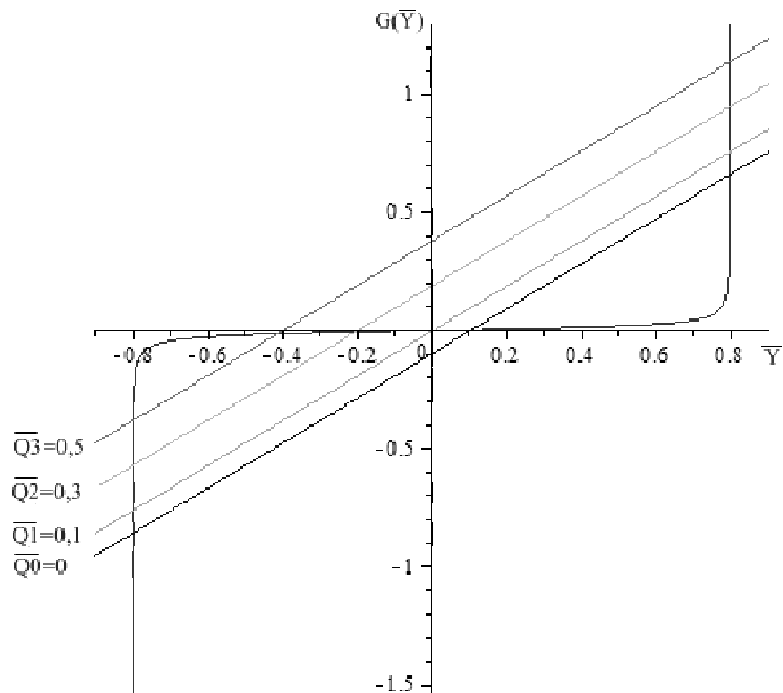


Рисунок 2 – График зависимостей  $G(\bar{Y})$

Найдем значения для стационарных режимов для значения силы  $\bar{Q}_2 = 0,3$ . Для этого в системе Maple численно разрешим уравнение (4) относительно аргумента  $\bar{Y} = -0,201$ . Далее из соотношений (5) определим  $\bar{Y}^* = \bar{Y}_1 = \bar{Y}_2$ .

Разрешая соотношения  $\bar{Y}_i$  относительно углов увода  $\delta_i$ , по величине параметра  $\bar{Y}^*$  найдем соответствующие значения углов увода:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y} = \frac{k_1 \cdot \delta_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{k_1 \cdot \delta_1}{\varphi}\right)^2}} \Rightarrow \delta_1^* = \frac{\frac{1}{k_1} \cdot \bar{Y}}{\sqrt{1 - \frac{\bar{Y}^2}{\varphi^2}}}; \quad \bar{Y}_2 = \bar{Y} = \frac{k_2 \cdot \delta_2}{\sqrt{1 + \left(\frac{k_2 \cdot \delta_2}{\varphi}\right)^2}} \Rightarrow \delta_2^* = \frac{\frac{1}{k_2} \cdot \bar{Y}}{\sqrt{1 - \frac{\bar{Y}^2}{\varphi^2}}}; \quad (6)$$

$$\delta_1^* = -0.273, \quad \delta_2^* = -0.034.$$

Для определения фазовых переменных  $u$ ,  $\omega$ , соответствующих стационарному режиму, воспользуемся зависимостью углов увода на осях от фазовых переменных:

$$\delta_1^* = \theta_0 - \frac{u + a\omega}{v}, \quad \delta_2^* = \frac{-u + b\omega}{v}, \quad (7)$$

Разрешая систему (7), найдем параметры стационарного режима:

$$u^* = 0,404 \text{ м/с}, \quad \omega^* = 0,194 \text{ 1/с}.$$

Следующие геометрические параметры характеризуют конфигурацию автомобиля в круговом стационарном режиме (определяет расстояние от центра вращения до продольной оси в поперечном направлении и до центра масс в продольном).

$$R_D = v / \omega^* = 25,815 \text{ м}; \quad L_{CD} = u^* / \omega^* = 2,085 \text{ м}.$$

Перейдем к построению диаграммы поворачиваемости нелинейной модели автомобиля.

Для случая линейной модели автомобиля диаграммы поворачиваемости рассматривались в работах [2,3].

Соотношение из которого определяется диаграмма поворачиваемости имеет вид [3]:

$$\theta = \frac{l}{R} - (\delta_2 - \delta_1). \quad (8)$$

В случае линейной модели уравнение преобразуется к следующему виду:

$$\theta = \frac{l}{R} + K_U \cdot \bar{A}_y, \quad (9)$$

где  $K_U$  – градиент недостаточной поворачиваемости [3].

В случае нелинейной модели уравнение диаграммы поворачиваемости примет вид:

$$\theta = \frac{l}{R} - G(\bar{A}_y). \quad (10)$$

Для нелинейной модели движения автомобиля при наличии боковой силы изменится аргумент функции  $G(\bar{A}_y - \bar{Q})$ :

$$G(\bar{A}_y - \bar{Q}) = \frac{\left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2}\right) \cdot (\bar{A}_y - \bar{Q})}{\sqrt{1 - \frac{(\bar{A}_y - \bar{Q})^2}{\varphi^2}}}; \quad (10)$$

$$\theta = \frac{l}{R} - G(\bar{A}_y - \bar{Q}). \quad (11)$$

Графики диаграмм поворачиваемости для приведенных выше числовых значений параметров представлены на рисунке 3.

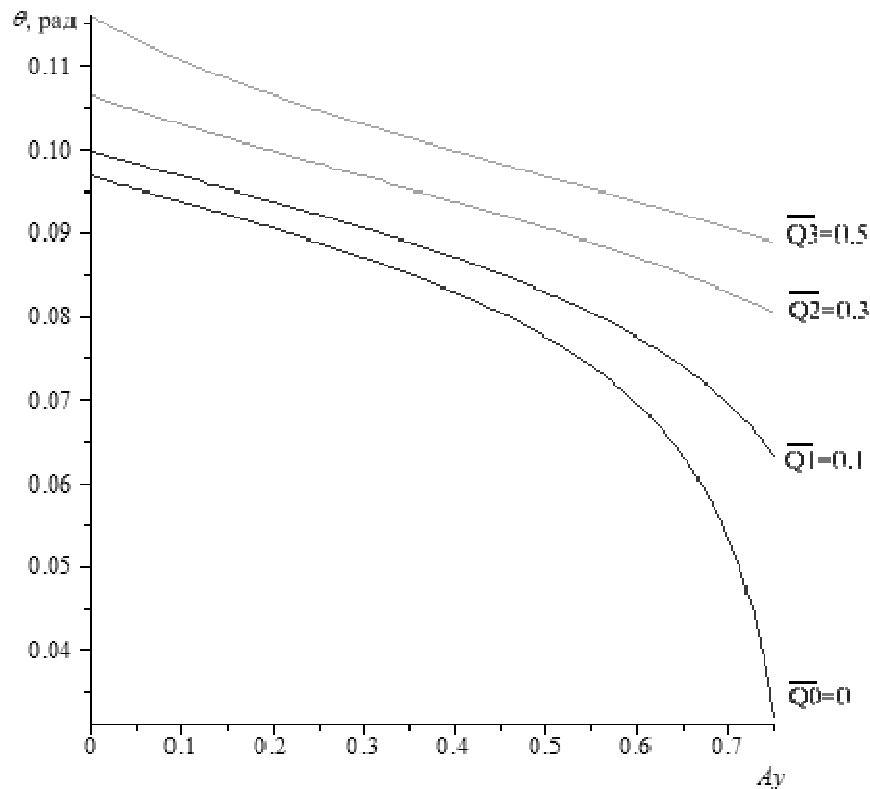


Рисунок 3 – Диаграмма поворачиваемости при различных значениях параметра боковой силы  $\bar{Q}_i$

**Выводы.** Полученное уравнение (11) дает возможность получить величину угла поворота управляемых колес, который позволит двигаться по прямолинейной траектории, при наличии боковой силы. При этом в выражении (11) первое слагаемое обнуляется.

#### **Бibliографический список использованной литературы**

1. Рокар И. Неустойчивость в механике / И. Рокар. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 317 с.
2. Вербицкий В.Г. До питання про визначення характеристик поворотності легкового автомобіля / В.Г. Вербицкий, А.В. Костенко, А.М. Єфименко, Р.А. Кулієв, О.В. Медведкова, Н.А. Турчина // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2010. – №29. – С. 41 – 47.
3. Gillespie Thomas D., Fundamentals of Vehicle Dynamics / Thomas D. Gillespie. – Society of Automotive Engineers, Inc, 1992 – 470 p.

Поступила в редакцию 08.05.2013 г.

#### **Вербицкий В.Г., Кулієв Р.А., Єфименко А.М., Стрільник Ю.М., Андриухіна О.С., Червякова О.В. Характеристики поворотності автомобіля при наявності зовнішньої бічної сили**

Розглянуто питання визначення характеристик поворотності моделі двохосового автомобіля при наявності постійної зовнішньої бічної сили, прикладеної в центрі мас, і способу відбивання бічної сили кутом повороту керованих коліс.

**Ключові слова:** бічна сила, стаціонарний режим, діаграма поворотності.

#### **Verbitskiy V.G., Kuliyeve R.A., Yefimenko A.N., Strelnik J.N., Andryukhina O.S, Chervyakova O.V. Characteristics of automobile steering in the presence of external lateral force**

The problem of steering determining of the two-axle automobile model in the presence of a constant external lateral force applied at the center of mass, and the method of lateral force countering by steering wheels angle is described.

**Keywords:** lateral force, steering, steering angle, the stationary mode.