

УДК 625.06/08 (031)

О ПРЕДЕЛЬНОМ ПО СЦЕПЛЕНИЮ МОМЕНТЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОВОРОТУ ШИНЫ НА МЕСТЕ

Солтус А.П., Ямгуров О.В.

Кременчугский государственный политехнический университет

Введение. Определение конструктивных параметров рулевых управлений, в том числе и гидравлического усилителя, проводится по максимальному моменту сопротивления повороту управляемых колёс, который возникает при их повороте на месте на сухой асфальтобетонной дороге с высоким коэффициентом сцепления.

Основной составляющей этого момента является момент сопротивления повороту его шины, который достигает предельного значения при повороте колеса на месте на угол более 13° и в дальнейшем от величины угла поворота не зависит.

Анализ конструктивных параметров управляемых колёс современных автомобилей показал, что центр поворота отпечатка (точка встречи оси шкворня с опорной поверхностью), находится в его пределах, а значит при повороте колеса на месте его перекачивание происходить не будет [1].

В общем случае величина предельного момента сопротивления повороту шины зависит от нагрузки на шину, коэффициента сцепления, формы и размеров контактного отпечатка, положения точки встречи оси шкворня с опорной поверхностью относительно его геометрического центра.

Цель работы – определить влияние формы и положения центра поворота отпечатка шины, находящегося в его пределах, на величину предельного момента сопротивления повороту шины.

Материал и результаты исследований.

Анализ отпечатков шин управляемых колес автомобилей показал, что они в общем случае имеют форму овала, эллипса, приближаются к прямоугольнику и кругу. Для получения универсальных зависимостей отпечатки шин приводятся к равновеликим прямоугольникам, воспользовавшись известными зависимостями

$$a = \sqrt{\frac{F_0 \cdot A}{B}}, \quad b = \sqrt{\frac{F_0 \cdot B}{A}}, \quad (1)$$

где a, b – стороны равновеликого прямоугольника;

A, B, F_0 – соответственно стороны отпечатка шины и его площадь, которые определяются экспериментально.

При этом допускается определённая погрешность при замене овала, эллипса и круга на равновеликие им прямоугольники и квадрат.

При исследовании примем следующие допущения:

- давление в каждой точке отпечатка шины и коэффициент сцепления одинаковы;

- отпечаток шины имеет форму прямоугольника;

- все точки шины, контактирующие с недеформируемой опорной поверхностью, при повороте скользят по ней.

Схема для определения положения центра

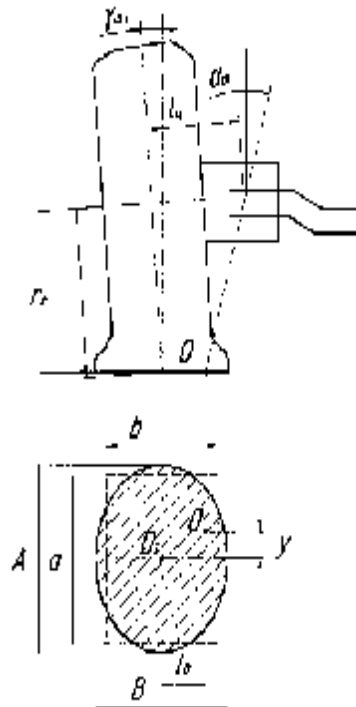


Рисунок 1 - Схема для определения положения центра поворота отпечатка

поворота отпечатка шины представлена на рис.1. Положение этого центра поворота, точки O , будет определяться расстояниями y (плечо стабилизации) и l_0 (плечо обкатки), которые, с достаточной для практики точностью, определим известными выражениями

$$l_0 = l_y - r_k \cdot \text{tg}(a_{ш} + g_{ш0}); \quad y = r_k \cdot \text{tg} b_{ш},$$

где l_y – длина цапфы;

r_k – радиус колеса;

$a_{ш}, b_{ш}$ – углы наклона шкворня, соответственно поперечный и продольный;

$g_{ш0}$ – угол развала колеса в нейтральном положении.

На рис. 2 приведена расчетная схема для определения предельного по сцеплению момента сопротивления повороту шины.

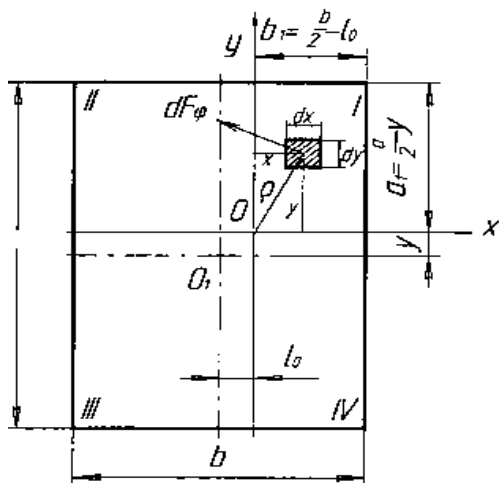


Рисунок 2 - Расчетная схема отпечатка шины для определения $M_{j \max}$

Через центр поворота отпечатка шины, точку O , проведём систему координат XOY , которая разделит отпечаток шины на четыре прямоугольника 1^{II} , 2^{II} , 3^{II} , 4^{II} . В этом случае каждый из прямоугольников будет поворачиваться относительно своей вершины, точки O . Очевидно, что момент сопротивления повороту всего отпечатка шины равен

$$M_{j \max} = M_{j \max_1} + M_{j \max_2} + M_{j \max_3} + M_{j \max_4},$$

где $M_{j \max_1}, M_{j \max_2}, M_{j \max_3}, M_{j \max_4}$ – предельные моменты сопротивления повороту соответственно прямоугольников $1^{II}, 2^{II}, 3^{II}, 4^{II}$.

Стороны прямоугольников, согласно рис. 2, запишутся так

$$1^{II}) a_1 = \frac{a}{2} - y, b_2 = \frac{b}{2} - l_0;$$

$$2^{II}) a_2 = \frac{a}{2} - y, b_2 = \frac{b}{2} + l_0;$$

$$3^{II}) a_3 = \frac{a}{2} + y, b_3 = \frac{b}{2} + l_0;$$

$$4^{II}) a_4 = \frac{a}{2} + y, b_4 = \frac{b}{2} - l_0.$$

Рассмотрим определение $M_{j \max_1}$ для первого прямоугольника шины. Для этого выделим элементарный отпечаток со сторонами dx и dy , центр которого имеет координаты x и y . Очевидно, что при повороте такого элементарного отпечатка с площадью $dS = dx \cdot dy$ возникает за счет сил трения-скольжения элементарный момент сопротивления повороту, равный

$$dM_{j \max} = r \cdot dF_j, \quad (2)$$

где dF_j – элементарная сила трения-скольжения в элементарном отпечатке, которая запишется так

$$dF_j = j \cdot p \cdot dS,$$

где p – удельное давление в отпечатке шины, равное $p = \frac{G_k}{ab}$ (G_k – нагрузка на колесо);

j – коэффициент сцепления;

r – плечо действия силы dF_j , которое согласно

рис. 2 равно $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

С учётом вышеизложенного формула (2) примет вид

$$dM_{j \max_1} = p \cdot j \cdot \sqrt{x^2 + y^2} dy dx.$$

Если учесть пределы интегрирования, тогда окончательно момент сопротивления повороту первого прямоугольника запишется

$$M_{j \max_1} = j \cdot p \int_0^{b_1} \int_0^{a_1} \sqrt{x^2 + y^2} dy dx.$$

Задача сводится к решению интеграла

$$\int_0^{b_1} \left(\int_0^{a_1} \sqrt{x^2 + y^2} dy \right) dx.$$

$$\int_0^{a_1} \sqrt{x^2 + y^2} dy = \frac{a_1}{2} \sqrt{x^2 + a_1^2} + \frac{x^2}{2} \ln \frac{a_1 + \sqrt{x^2 + a_1^2}}{x} \quad (3)$$

Тогда

$$\int_0^{b_1} \int_0^{a_1} \sqrt{x^2 + y^2} dy dx = \int_0^{b_1} \frac{a_1}{2} \sqrt{x^2 + a_1^2} dx + \int_0^{b_1} \frac{x^2}{2} \ln \frac{a_1 + \sqrt{x^2 + a_1^2}}{x} dx$$

Для решения первого интеграла воспользуемся формулой (3)

$$\int_0^{b_1} \frac{a_1}{2} \sqrt{x^2 + a_1^2} dx = \frac{a_1 \cdot b_1}{4} \sqrt{a_1^2 + b_1^2} + \frac{a_1^3}{4} \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{b_1} \quad (4)$$

Второй интеграл

$$\int_0^{b_1} \frac{x^2}{2} \ln \frac{a_1 + \sqrt{x^2 + a_1^2}}{x} dx = \frac{b_1^3}{6} \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{b_1} + \frac{a_1 b_1}{12} \sqrt{a_1^2 + b_1^2} - \frac{a_1^3}{12} \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{a_1}.$$

(5)

С учётом (4) (5) и элементарных преобразований имеем

$$M_{j \max_1} = \frac{j \cdot G_k}{6ab} \left\{ a_1^3 \ln \frac{b_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{a_1} + 2a_1 b_1 \times \sqrt{a_1^2 + b_1^2} + b_1^3 \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{b_1} \right\}$$

Окончательно предельный по сцеплению момент сопротивления повороту всего отпечатка шины $M_{j \max}$ запишется

$$M_{j \max} = \frac{j \cdot G_{\kappa}}{6ab} \left[a_1^3 \ln \frac{b_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{a_1} + 2a_1b_1\sqrt{a_1^2 + b_1^2} + \right. \\ \left. + b_1^3 \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{b_1} + a_2^3 \ln \frac{b_2 + \sqrt{a_2^2 + b_2^2}}{a_2} + \right. \\ \left. + 2a_2b_2\sqrt{a_2^2 + b_2^2} + b_2^3 \ln \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + b_2^2}}{b_2} + \right. \\ \left. + a_3^3 \ln \frac{b_3 + \sqrt{a_3^2 + b_3^2}}{a_3} + 2a_3b_3\sqrt{a_3^2 + b_3^2} + \right. \\ \left. + b_3^3 \ln \frac{a_3 + \sqrt{a_3^2 + b_3^2}}{b_3} + a_4^3 \ln \frac{b_4 + \sqrt{a_4^2 + b_4^2}}{a_4} + \right. \\ \left. + 2a_4b_4\sqrt{a_4^2 + b_4^2} + b_4^3 \ln \frac{a_4 + \sqrt{a_4^2 + b_4^2}}{b_4} \right]. \quad (6)$$

В частном случае, если центр поворота отпечатка совпадает с его геометрическим центром ($l_0 = y = 0$), тогда формула (6) существенно упрощается, принимая вид

$$M_{j \max} = \frac{j \cdot G_{\kappa}}{12ab} \left(a^3 \ln \frac{b + \sqrt{a^2 + b^2}}{a} + 2ab\sqrt{a^2 + b^2} + \right. \\ \left. + b^3 \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b} \right) \quad (7)$$

Если допустить, что равнодействующая сил трения-скольжения приложена в геометрическом центре каждого из четырёх рассматриваемых прямоугольников, тогда для первого прямоугольника с учётом рис. 2, получим

$$M_{j \max 1} = p \cdot j \cdot a_1 b_1 \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{2}.$$

Согласно принятых выше допущений для всего отпечатка шины получим зависимость, аналогичную представленной в работе [2]

$$M_{j \max} = \frac{j \cdot G_{\kappa}}{2ab} \left[a_1 b_1 \sqrt{a_1^2 + b_1^2} + \right. \\ \left. a_2 b_2 \sqrt{a_2^2 + b_2^2} + a_3 b_3 \sqrt{a_3^2 + b_3^2} + \right. \\ \left. + a_4 b_4 \sqrt{a_4^2 + b_4^2} \right]. \quad (8)$$

При совпадении центра поворота отпечатка с его геометрическим центром, что соответствует $l_0 = y = 0$, формула (8) принимает вид

$$M_{j \max} = \frac{G_{\kappa} j}{4} \cdot \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Для определения влияния смещения центра поворота отпечатка шины относительно его геометрического центра проведём расчёты этого момента по зависимости (6) на примере автомобиля КрАЗ 7133С4, колёсной формулы 8x4, оборудованного шинами высокого давления модели И337-И8 размера 12.00-20.

Исходные данные для проведения расчётов следующие:

длина цапфы $l_u = 0,133$ м; нагрузка на управляемое колесо $G_{\kappa} = 30500$ Н; радиус колеса $r_{\kappa} = 0,524$ м; углы поперечного и продольного наклонов шкворня соответственно $a_{uu} = 5^\circ$ и $b_{uu} = 2^\circ$; угол развала колеса в положении прямолинейного движения $g_{u0} = +0^\circ 30'$; большая ось отпечатка шины $A = 0,295$ м; малая ось отпечатка шины $B = 0,240$ м; площадь отпечатка $F_0 = 0,0617$ м²; давление воздуха в шине $p_{u0} = 0,6$ МПа. При расчёте примем коэффициент сцепления на асфальтобетоне $\varphi = 0,7$.

Расчёты по формуле (6) проводились при серийных установочных параметрах управляемых колёс и при $l_0 = y = 0$, что соответствует совпадению центра поворота отпечатка с его геометрическим центром. Результаты расчётов $M_{j \max}$ приведены в табл. 1.

Таблица 1 -
Расчетные по формуле (6) значения $M_{j \max}$

| Плечо обкатки, плечо стабилизации | Расчётные значения в Нм | Отклонение в % |
|--|-------------------------|----------------|
| $l_0 = 0,0825$ м, $y = 0,0183$ м серийные | 2601,51 | 27,7 |
| $l_0 = y = 0$ | 2046,36 | |

Из анализа табл.1 можно заключить, что смещение центра поворота отпечатка, относительно его геометрического центра,

вызывает увеличение момента $M_{j \max}$ на 27,7%.

Для определения достоверности замены существующих отпечатков шин равновеликими

прямоугольниками, были проведены исследования предельного момента сопротивления повороту по формуле (7) и с помощью программы MathCAD Professional 2000 отпечатков шин, имеющих форму круга и овала и равновеликих им квадрата и прямоугольника. Расчёты проводились относительно геометрического центра отпечатка, при нагрузке на шину $G_k = 30500 \text{ Н}$, коэффициенте сцепления $\varphi = 0,7$.

Исходные данные для проведения исследований следующие:

- круг: радиус $R = 0,14 \text{ м}$; площадь $S = 0,061544 \text{ м}^2$ и соответствующий ему квадрат: площадь $S = 0,061544 \text{ м}^2$; стороны квадрата

$$a = b = \sqrt{S} = 0,24808 \text{ м};$$

- эллипс: площадь $S = 0,061544 \text{ м}^2$; соотношение осей $\frac{A}{B} = 1,229$; большая ось эллипса $A = 0,3104 \text{ м}$;

малая ось эллипса $B = 0,25256 \text{ м}$ и соответствующий ему прямоугольник: площадь

$S = 0,061544 \text{ м}^2$; соотношение его сторон $\frac{a}{b} = 1,229$; стороны прямоугольника $a = 0,275 \text{ м}$; $b = 0,224 \text{ м}$.

Результаты полученных расчётных данных заносим в табл. 2.

Таблица 2 –
Результаты исследования

| Форма отпечатка | Площадь отпечатка, м ² | Размеры отпечатка, м | $M_{j \text{ max}}$, Нм | Отклонение в % |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|
| Круг | 0,06154 | R=0,14 | 1993,704 | 1,64 |
| Квадрат | 0,06154 | a=b=0,24808 | 2026,422 | |
| Эллипс | 0,06154 | A=0,3104 B=0,25256 | 2009,778 | 1,79 |
| Прямоугольник | 0,06154 | a=0,275 b=0,224 | 2045,799 | |

Из анализа табл. 2 следует, что замена фактического отпечатка шины, имеющего форму круга и эллипса на равновеликие им квадрат и прямоугольник, с учётом принятых допущений, увеличивает предельный момент сопротивления повороту шины до 2%, что приемлемо для практических расчётов.

Выводы. Из анализа приведённых исследований можно заключить:

1. Зависимость (6) позволяет, с достаточной для практических расчётов точностью, определить предельный по сцеплению момент сопротивления повороту шины $M_{j \text{ max}}$ при произвольном положении центра поворота отпечатка в его пределах.

2. Существенное влияние на величину $M_{j \text{ max}}$ оказывает смещение центра поворота отпечатка относительно его геометрического центра, а минимальное значение этот момент достигает при

повороте относительно геометрического центра отпечатка.

3. Замена фактического отпечатка шины, имеющего форму эллипса и круга на равновеликие им прямоугольник и квадрат, увеличивает момент $M_{j \text{ max}}$ до 2%, что приемлемо для практических расчётов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солтус А.П. Основы теории рабочего процесса и расчета колесных управляющих модулей: Монография. Деп. Укр. НИИТИ №501-Ук 90 ВИНТИ «Деп. науч. труды», 1990, №7(225), б/о 203.-203с.

2. Редниц В.В. Определение максимального момента сопротивления повороту управляемого колеса на месте. //Автомобильная промышленность. -М., 1973- №9.

Статья поступила 16.03.2006г.
Рекомендовано к печати д.т.н., проф.
А.Г. Масловым