

АВТОТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

УДК 629.113.075:629.114.4

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТРЕХ ТЕОРИЙ КАЧЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ

В.В. Редчиц, проф., к.т.н., Е.В. Головина, доц., Кременчугский университет экономики, информационных технологий и управления

Аннотация. Аналитически доказана и экспериментально подтверждена закономерная взаимосвязь теорий: качения пневматика М.В. Келдыша, увода и угловой деформации шины.

Ключевые слова: кривизна траектории, угол относительного поворота контактного отпечатка, угловая и боковая жесткости шины, коэффициент сопротивления уводу.

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТРЬОХ ТЕОРІЙ КОЧЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ

В.В. Редчиць, проф., к.т.н., О.В. Головіна, доц., Кременчуцький університет економіки, інформаційних технологій і управління

Анотація. Аналітично доведено й експериментально підтверджено закономірний взаємозв'язок теорій: кочення пневматика М.В. Келдиша, зміщення і кутової деформації шини.

Ключові слова: кривизна траєкторії, кут відносного повороту контактного відбитка, кутова і бічна жорсткості шини, коефіцієнт опору зміщенню.

RELATIONSHIP OF THE THREE THEORIES OF THE PNEUMATIC TYRE ROLLING

V. Redchits, Prof., Ph. D. (Eng.), E. Golovina, Assoc. Prof., Kremenchuk University of Economics, Information Technologies and Management

Abstract. The interrelation of the three theories: rolling pneumatics of M. Keldysh, withdrawal and angular deformation of tires was analytically proved and experimentally confirmed.

Key words: curvature of the trajectory, the angle of relative rotation of contact sheets, angular and lateral stiffness of tire, coefficient of resistance withdrawal.

Введение

В настоящее время существует три теории качения пневматической шины по криволинейной траектории: теория увода, теория качения пневматика М.В. Келдыша и теория угловой деформации. Теория Келдыша М.В. и теория угловой деформации основаны на деформационном явлении в контактном отпечатке без учета скольжения. Теория увода основана на силовой зависимости боковой силы от угла увода. Одновременное использование трех теорий значительно расширит круг задач, возникающих при проектирова-

нии автомобилей, и даст возможность повысить точность их решения.

Поэтому возникла необходимость показать аналитическую взаимосвязь трех теорий качения пневматической шины по криволинейной траектории.

Анализ публикаций

Анализ исследований известных ученых по управляемости, устойчивости, автоколебаниям управляемых колес («шимми») показал, что ни одна из трех теорий качения пневматической шины по криволинейной траекто-

рии в отдельности не позволяет решить полностью все задачи, выдвигаемые практикой проектирования колесных машин. При анализе было замечено, что должна существовать закономерная (аналитическая) взаимосвязь между теорией увода, теорией угловой деформации пневматической шины при движении по криволинейной траектории и теорией качения пневматика М.В. Келдыша (уравнение неголономных связей). Адекватность перечисленных теорий подтверждена экспериментально.

Цель и постановка задачи

Целью работы является на базе проведенных исследований показать закономерную аналитическую взаимосвязь трех теорий качения пневматической шины.

Уравнения взаимосвязи

Основное уравнение теории угловой деформации шины (1) из [1]

$$\theta = \frac{a + 2x}{4R}, \text{ рад} \quad (1)$$

где a – большая ось контактного отпечатка, м; x – смещение центра кривизны траектории относительно центра отпечатка вдоль оси a , м; R – радиус кривизны траектории, м.

Все величины, необходимые для определения момента сопротивления криволинейному движению, определяются в статике.

На участке линейной зависимости графика $M = f(\theta)$ при определении угловой жесткости шины c_ω

$$M = c_\omega \cdot \theta, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2)$$

Относительная угловая скорость поворота контактного отпечатка в плоскости дороги определяется следующим образом

$$\omega_{\text{отн}} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d(a + 2x)}{4R \cdot dt} = \frac{V}{2R}, \text{ рад/с}, \quad (3)$$

где V – скорость центра колеса, м/с.

Мощность, затраченная только на криволинейное движение колеса, определяется так

$$N_{\text{кр}} = M \cdot \omega_{\text{отн}} = c_\omega \cdot \frac{a + 2x}{4R} \cdot \frac{V}{2R} = \frac{c_\omega \cdot V \cdot (a + 2x)}{8R^2}. \quad (4)$$

Выразив радиус кривизны траектории R через угол θ из (1) и подставив в (4), получим

$$N_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot c_\omega \cdot V \cdot \theta^2}{(a + 2x)}. \quad (5)$$

При $x = 0$

$$N_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot c_\omega \cdot V \cdot \theta^2}{a}. \quad (6)$$

Мощность, затраченная на качение колеса только от увода, определяется по (7) из [2]

$$N_{\text{ув}} = V \cdot K_y \cdot \delta^2, \quad (7)$$

где K_y – коэффициент сопротивления уводу.

Зависимости (6) и (7) хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Сравнивая (6) и (7), получим

$$\delta = \theta. \quad (8)$$

Т.е. угол относительного поворота контактного отпечатка есть не что иное, как угол увода при криволинейном движении; из (6) и (7) можно определить коэффициент сопротивления боковому уводу K_y

$$K_y = \frac{2 \cdot c_\omega}{a}, \text{ Н/рад}. \quad (9)$$

Проверим (9) по независимым экспериментальным данным.

По данным А.С. Литвинова, для шины 260-508(9.00-20)

при $R_z = 12000$ Н, $p_{\text{ш}} = 0,35$ МПа,
 $K_y = 56500$ Н/рад, $c_\omega = 4814$ Нм/рад,
 $a = 0,177$ м.

Рассчитанное значение коэффициента сопротивления уводу по (9) $K_y = 54396$ Н/рад.

Доктор технических наук А.П. Солтус в работе [3] проверил зависимость (9) на автомобиле, оборудованном передней осью специальной конструкции. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 Сравнительная оценка расчета коэффициента сопротивления уводу по (9) с экспериментальными данными [3]

Модель и размерность шины	Нагрузка на шину, кН	Давление воздуха, МПа	Коэффициент K_y , Н/рад		
			эксперимент	расчет по (9)	относительная погрешность, %
И-Н142Б 9.00-20P	22	0,72	96048	96060	0,0125
И-П184 1220 × 400-533	26	0,3	98542	98535	0,0071

Как видно, взаимосвязь теории увода и теории угловой деформации пневматической шины, движущейся по криволинейной траектории или с наклоном к вертикальной плоскости, осуществляется через уравнения (5), (6), (8), (9).

Уравнение (10) [4] неголономных связей М.В. Келдыша определяет кривизну траектории средней линии шины от действия внешней боковой силы (инерции или другой), приложенной к центру колеса, при отсутствии скольжения в отпечатке

$$\frac{1}{R} = \alpha_k \cdot \lambda - \beta_k \cdot \varphi - \gamma_k \cdot \chi, \quad (10)$$

где λ , φ – боковая и угловая деформации шины, соответственно – м, рад; χ – угол наклона колеса к вертикальной плоскости, рад; α_k , β_k , γ_k – кинематические коэффициенты шины, зависящие от ее конструкции, давления, нагрузки и коэффициента сцепления.

Уравнение (10) редко использовалось в теории управляемости и устойчивости автомобилей, в связи с большой трудностью определения кинематических коэффициентов.

Теория угловой деформации шины позволила определить эти коэффициенты простым расчетно-экспериментальным методом [5]

$$\alpha_k = \frac{16 \cdot \theta_B^2}{a^2 \left(\frac{1}{\cos 2\theta_B} - 1 \right)}, \frac{1}{M^2}; \quad (11)$$

$$\beta_k = \frac{2 \cdot c_\omega \cdot \alpha_k}{a \cdot c_{шy}}, \frac{1}{M}. \quad (12)$$

Допустив, что $\varphi = 0$, $\chi = 0$ в (10), радиус кривизны траектории средней линии шины определяется (13)

$$R_k = \frac{c_{шy}}{\alpha_k \cdot F_y}, M, \quad (13)$$

где θ_B – максимальный угол поворота колеса на месте при определении угловой жесткости c_ω , при котором существует, практически, линейная зависимость между моментом и углом поворота колеса, рад; a – большая ось контактного отпечатка, м; $c_{шy}$ – боковая жесткость шины, Н/м; F_y – боковая сила, приложенная в центре колеса, Н.

Определив радиус кривизны траектории средней линии шины R_k по (13), с помощью (1) можно определить угол увода (угол относительного поворота отпечатка относительно вертикальной оси (8)).

Зная θ , можно определить по (2) момент сопротивления криволинейному движению.

Выводы

Теория увода взаимосвязана с теорией угловой деформации пневматической шины, движущейся по криволинейной траектории или с наклоном к вертикальной плоскости, через уравнения (5), (6), (8), (9).

Теория качения пневматика М.В. Келдыша взаимосвязана с теорией угловой деформации зависимостями (11), (12), (13).

На базе соединения и взаимосвязи трех теорий была создана математическая модель и алгоритм [6, 7] для определения показателей управляемости и устойчивости на стадии проектирования при маневре «переставка», «вход в круг $R = 35$ м», «рывок руля», момента сопротивления повороту управляемых колес на различных скоростях движения, времени запаздывания реакции поворота продольной оси автомобиля на поворот рулевого колеса и др.

Основной недостаток всех трех теорий – слабо изученное явление «сгеер» (псевдоскольжение) в контактном отпечатке.

Литература

1. Редчиц В.В. О явлении относительного поворота контактного отпечатка движущегося колеса / В.В. Редчиц // Автомобильная промышленность. – 1974. – №3. – С. 28–30.
2. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля / В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
3. Солтус А.П. Основы теории рабочего процесса и расчета управляющих колесных модулей: дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.05.03 / Анатолий Петрович Солтус. – Киев, 1994. – 476 с.
4. Келдыш М.В. Шимми переднего колеса трехколесного шасси / М.В. Келдыш // Труды ЦАТИ. – 1945. – №564. – С. 1–34.
5. Редчиц В.В. Расчетно-экспериментальный метод определения кинематических коэффициентов пневматических шин в уравнении неголономных связей / В.В. Редчиц, А.А. Голобородько // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2001. – Вып. 7–8. – С. 129–134.
6. Редчиц В.В. Исследование управляемости трехосных автомобилей при маневре «переставка» / В.В. Редчиц, Е.В. Головина, О.Ф. Кораблев // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2011. – №4(34). – С. 80–87.
7. Редчиц В.В. Центр относительного поворота двухосного автомобиля / В.В. Редчиц, Е.В. Головина // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2007. – №3(17). – С. 95–99.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 17 апреля 2014 г.
