5. Шишкин В. В. Проходимость лыж // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. — М.: Изд-во АН СССР, 1950. — С. 338—344.
6. Панов В. И. Исследование зависимости трения скольжения по снежному покрову от различных факторов // Снегоходные машины: Труды ГПИ им. А.А. Жданова. — 1967. — Т. XXIII. — вып. 7. — С. 98—102.

629.113

К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТАХ ПРОДОЛЬНОГО КРИПА ПРИ КАЧЕНИИ ДЕФОРМИРОВАННОГО КОЛЕСА

Канд. техн. наук, доц. А.В. КНЯЗЕВ, ст. препод. А.Н. БЛОХИН

Рассмотрены коэффициенты продольного крипа (псевдоскольжения) и радиуса качения колеса автомобиля на плоскости, которые используются при составлении кинематических неголономных связей при качении деформируемых колес и для определения скорости движения автомобиля.

Factors of longitudinal creep (pseudoslip) and the radius of wheel rolling along the plane which are used at formulation of the kinematic nonholonomic links at rolling of strained wheels and also for definitnon of vehicle speed are examined.

При рассмотрении динамики автомобиля в целом и качения колеса в частности важнейшее значение имеют коэффициенты крипа, продольного псевдоскольжения. В теории качения деформированного колеса [1] вводятся два коэффициента крипа λ_1^0 и λ_2^0, определяемые экспериментально. Коэффициент λ_1^0 характеризует продольное псевдоскольжение, связанное с продольной деформацией точки центра пятна контакта. Коэффициент λ_2^0 — псевдоскольжение, связанное с изменением вертикальной нагрузки на колесо.

Экспериментальное определение коэффициентов крипа можно провести следующим образом. Для этого введем обозначения и коэффициенты при заданном давлении воздуха в шине: r_k — радиус качения колеса; ξ — продольная деформация точки центра пятна контакта; r_0 — свободный радиус колеса; $h_{\max}$ — максимальная вертикальная деформация шины; r_{k0}^{m} — минимальный радиус качения колеса в свободном стационарном режиме качения, когда $F_x = 0$, (F_x — продольная сила в контакте колеса с дорогой); C_x — коэффициент продольной жесткости шины; C_z — коэффициент вертикальной (нормальной) жесткости шины; $\varphi_{\max}$ — максимальный коэффициент сцепления колес с дорогой; — максимальная продольная деформация тоски центра пятна контакта; r_k^m — минимальный радиус качения при $\xi_{\max}$ и $h_{\max}$ (определяется экспериментально).

Максимальная продольная сила в контакте колес с дорогой определяется по выражению:

$$F_{x\max} = C_z h_{\max} \varphi_{\max}.$$

Из условия $C_x \xi_{\max} = C_z h_{\max} \varphi_{\max}$, получаем $\xi_{\max} = \dfrac{C_z}{C_x} \varphi_{\max} h_{\max}$.

На основании введенных коэффициентов и обозначений получим три точки поверхности радиусов качения в зависимости от h и ξ. Первая точка имеет координаты $(0, 0, r_0)$, вторая — $(h_{\max}, 0, r_{k0}^{m})$, третья — $(h_{\max}, \xi_{\max}, r_k^{m})$.

Поскольку относительное изменение радиусов качения невелико, можно определить поверхность радиусов качения как ограниченную плоскость, т.е.

$$\begin{vmatrix} h & \xi & r_k & 1 \\ 0 & 0 & r_0 & 1 \\ h_{\max} & 0 & r_{k0}^m & 1 \\ h_{\max} & \xi_{\max} & r_k^m & 1 \end{vmatrix} = 0 .$$

После несложных преобразований получим,

$$r_k = r_0 - r_0 \frac{1}{h_{\max}} h + \frac{r_k^m}{\xi_{\max}} \xi - \frac{r_{k0}^m}{\xi_{\max}} + \frac{r_{k0}^m}{h_{\max}} h$$

или

$$r_k = r_0 + (r_{k0}^m - r_0) \frac{1}{h_{\max}} h + (r_k^m - r_{k0}^m) \frac{1}{\xi_{\max}} \xi .$$

Если принять: 1. $\xi = h = 0$, то $r_k = r_0$. 2. $\xi = 0,\ h \neq 0$, то получим радиус качения колеса в свободном стационарном режиме качения для различных значений вертикальной нагрузки на колесо

$$r_{k0} = r_0 \left[1 + \left(\frac{r_{k0}^m}{h_{\max} r_0} - \frac{1}{h_{\max}} \right) h \right].$$

В этом выражении можно принять $\lambda_2^0 = \frac{r_{k0}^m}{h_{\max} r_0} - \frac{1}{h_{\max}} = \frac{1}{h_{\max}} \left(\frac{r_{k0}^m}{r_0} - 1 \right)$, где $\lambda_2^0 < 0$.

Выражение для радиуса качения можно представить в виде:

$$r_k = r_0 + \left(1 - \frac{r_0}{r_{k0}^m} \right) \frac{r_{k0}^m}{h_{\max}} h + \left(\frac{r_k^m}{r_{k0}^m} - 1 \right) \frac{r_{k0}^m C_x}{C_z \varphi_{\max} h_{\max}} \xi$$

или

$$r_k = r_0 - \lambda_1 \xi_0 - \lambda_2 h ,$$

где $\lambda_1 = \left(1 - \frac{r_k^m}{r_{k0}^m} \right) \frac{r_{k0}^m C_x}{C_z \varphi_{\max} h_{\max}} > 0$, $\lambda_2 = \left(\frac{r_0}{r_{k0}^m} - 1 \right) \frac{r_{k0}^m}{h_{\max}} > 0$.

Коэффициенты крипа связаны с коэффициентами λ_1 и λ_2 зависимостями

$$\lambda_1^0 = \frac{\lambda_1}{r_{k0}^m},\ \lambda_2^0 = \frac{\lambda_2}{r_{k0}^m}.$$

Поэтому, выражение для радиуса качения колес будет следующим:

$$r_k = r_0 - r_{k0}^m (\lambda_1^0 \xi_0 + \lambda_2^0 h) .$$

Полученные формулы для радиуса качения колес автомобиля являются дальнейшим развитием известных из теории автомобиля [2] формул акад. Е.А. Чудакова. В отличие от них в данные выражения для радиуса качения входят не силы и моменты, а деформации колес, и вместо коэффициентов тангенциальной эластичности шины используются коэффициенты продольного крипа (псевдоскольжения).

Полученные значения коэффициентов крипа λ_1^0 и λ_2^0 можно также использовать в уравнениях неголономных связей, накладываемых на деформируемое колесо при его качении по плоскости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин М. А., Фуфаев Н. А.. Теория качения деформируемого колеса. М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1989. — 272 с.
2. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.