

4. Lee Y., Barkey M., Kang H. Metal Fatigue Analysis Handbook. – O.: Elsevier – 2012. – 633 с.

5. Яценко Н.Н. Форсированные полигонные испытания грузовых автомобилей – М.: Машиностроение – 1984. – 328 с.

Представлено: 16.05.2019

УДК 629.113

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ
КАЧЕНИЮ ПРИ ТРОГАНИИ АВТОМОБИЛЯ С МЕСТА
MODELING THE ROLLING RESISTANCE COEFFICIENT
WHEN THE CAR PULLS OFF

С.Н. Шуклинов, д-р. техн. наук, проф.,

В.И. Вербицкий, канд. физ.-мат. наук, доц.,

А.В. Ужва, канд. техн. наук, доц., А.В. Губин, асп.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
г. Харьков, Украина

S. Shuklinov, Doctor of technical Sciences, Professor, V. Verbytskiyi,
PhD in Physico-mathematical sciences, Associate professor,

A. Uzhva, Ph.D. in Engineering, Associate professor,

A. Gubin, PhD student,

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

Аннотация. Построена математическая модель коэффициента сопротивления качению при трогании автомобиля с места. Определены новые зависимости для расчёта коэффициента сопротивления качению колёс ведущей оси транспортного средства в различных фазах начала движения.

Abstract. Mathematical modeling of the rolling resistance coefficient when starting a car is presented. New dependencies have been determined for calculating the rolling resistance coefficient of the wheels of the car axle in different phases of the start.

Ключевые слова: коэффициент, сопротивление качению, моделирование, автомобиль, фаза, начало движения, момент.

Key words: coefficient, rolling resistance, modeling, car, phase, start of movement, moment.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения системы уравнений, описывающей динамическое поведение автомобиля при подведении вращающего момента к ведущим колёсам необходимо определить зависимости для расчёта коэффициента сопротивления качению колёс ведущей оси транспортного средства в различных фазах начала движения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ В РАЗЛИЧНЫХ ФАЗАХ НАЧАЛА ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ПОДЪЁМ

Для определения коэффициента сопротивления качению ведущих колёс найдём элементарную работу сил сопротивления качению ведущих колёс $A_{fв}$ при начале движения автомобиля на подъём как разницу:

$$A_{fв} = A_{кв} - A_{п} \quad (1)$$

где $A_{кв}$ – элементарная энергия, подведенная к ведущему колесу; $A_{п}$ – элементарная полезная работа, совершенная ведущим колесом.

Элементарную энергию, подведенную к ведущему колесу $A_{кв}$, можно представить так:

$$A_{кв} = M_{к} \cdot \delta\varphi_{кв} \quad (2)$$

где $M_{к}$ – вращающий момент на ведущих колесах; $\delta\varphi_{кв}$ – элементарный угол поворота колёс.

Элементарная полезная работа $A_{п}$, совершенная ведущим колесом, представляет собой элементарную работу суммы продольных сил $\sum P_x$, действующих на автомобиль, при элементарном перемещении корпуса δx

$$A_{\Pi} = \sum P_x \cdot \delta x \quad (3)$$

Уравнение, определяющее сумму продольных сил, действующих на автомобиль в момент начала движения на подъём, имеет вид:

$$\sum P_x = \frac{M_k}{r_{дв}} - \frac{M_{fв0}}{r_{дв}} - G_a \cdot \sin \alpha + F_{ш} \quad (4)$$

где $M_{fв0}$ – момент сопротивления качению колес ведущей оси в ведомом режиме их качения; $F_{ш}$ – продольная упругая сила шин, заторможенных ведомых колес.

С учетом развернутого описания компонентов в правой части уравнения (1), а также того, что вследствие псевдоскольжения ведущих колес [1] даже при отсутствии внешнего буксования элементарное продольное перемещение оси колеса пропорционально радиусу качения ведущего колеса $\delta x = \delta \varphi_{кв} \cdot r_{кв}$, уравнение (1) приобретёт вид:

$$A_{fв} = M_k \cdot \delta \varphi_{кв} - \left(\frac{M_k}{r_{дв}} - \frac{M_{fв0}}{r_{дв}} - G_a \cdot \sin \alpha + F_{ш} \right) \cdot r_{кв} \cdot \delta \varphi_{кв} \quad (5)$$

При этом элементарная работа силы сопротивления качению соответственно равна:

$$A_{fв} = P_{fв} \cdot r_{кв} \cdot \delta \varphi_{кв}, \quad (6)$$

где $P_{fв}$ – сила сопротивления качению ведущих колес; $r_{кв}$ – радиус качения ведущих колёс.

Учитывая зависимость (6), перепишем уравнение (5) в виде:

$$P_{fв} \cdot r_{кв} \cdot \delta \varphi_{кв} = M_k \cdot \delta \varphi_{кв} - \left(\frac{M_k}{r_{дв}} - \frac{M_{fв0}}{r_{дв}} - G_a \cdot \sin \alpha + F_{ш} \right) \cdot r_{кв} \cdot \delta \varphi_{кв} \quad (7)$$

*Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО
АВТОМОБИЛЕЙ»*

Из уравнения (7) выразим силу сопротивления качению ведущих колес:

$$P_{fB} = \frac{M_K}{r_{KB}} - \frac{M_K}{r_{ДВ}} + \frac{M_{fB0}}{r_{ДВ}} - G_a \cdot \sin \alpha + F_{ш} = M_K \cdot \left(\frac{r_{ДВ} - r_{KB}}{r_{ДВ} \cdot r_{KB}} \right) + M_{fB0} \frac{1}{r_{ДВ}} - G_a \cdot \sin \alpha + F_{ш}$$

Тогда коэффициент сопротивления качению можно определить, как отношение силы сопротивления качению ведущих колес и нормальной реакции R_{zB} на этой оси:

$$f_{KB} = \frac{M_{fB0}}{R_{zB} \cdot r_{ДВ}} + \frac{M_K}{R_{zB}} \cdot \left(\frac{r_{ДВ} - r_{KB}}{r_{ДВ} \cdot r_{KB}} \right) + \frac{G_a \cdot \sin \alpha - F_{ш}}{R_{zB}} \quad (8)$$

В случае соблюдения условия

$$M_{fB0} \geq M_K, \quad (9)$$

где M_{fB0} – момент сопротивления качению ведущих колёс, уравнение (8) преобразуется к виду:

$$f_{KB} = \frac{M_K}{R_{zB}} \cdot \frac{1}{r_{KB}} + \frac{G_a \cdot \sin \alpha - F_{ш}}{R_{zB}} \quad (10)$$

Из уравнения следует, что коэффициент сопротивления качению ведущих колес f_{KB} в начале движения на подъем зависит от упругой силы на заторможенных ведомых колесах. Очевидно, что в случае начала движения автомобиля на подъем при заторможенных ведомых колесах, коэффициент сопротивления качению ведущих колес равен нулю вследствие отсутствия тангенциальной деформации шин. После подведения вращающегося момента от трансмиссии к ведущим колесам неподвижного автомобиля при соблюдении условия (10) коэффициент сопротивления их качению возрастает от нуля до значения, определяемого уравнением (11). Последующее увеличение

*Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО
АВТОМОБИЛЕЙ»*

вращающего момента на ведущих колесах обуславливает повышение коэффициента сопротивления качению ведущих колес в соответствии с уравнением:

$$f_{\text{кв}} = \frac{a_{\text{шв}}}{r_{\text{дв}}} + \frac{M_{\text{к}}}{R_{\text{зв}}} \cdot \left(\frac{r_{\text{дв}} - r_{\text{кв}}}{r_{\text{дв}} \cdot r_{\text{кв}}} \right) + \frac{G_{\text{а}} \cdot \sin \alpha - F_{\text{ш}}}{R_{\text{зв}}} \quad (11)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены зависимости для расчёта коэффициента сопротивления качению колёс ведущей оси транспортного средства в различных фазах начала движения на уклоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасик В. П. Математическое моделирование прямолинейного движения автомобиля / Тарасик В.П. // Вестник Белорусско-Российского университета. 2017. № 2(55)

2. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. – Москва, Машиностроение, 1989. – 240 с.

Представлено 16.05.2019