

УДК 629.11.012.5:621.8.031.6

А.А. Савченко, В.Е. Олишевская

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ МАССИВНЫХ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫХ ШИН

Визначено основні чинники, що впливають на коефіцієнт опору качення, які дозволяють скласти лінійне рівняння регресії і прогнозувати величину коефіцієнта опору качення для різних типорозмірів промислових і проєктованих масивних шин та виконувати підбір шин для спеціалізованих транспортних засобів із урахуванням умов експлуатації.

Определены основные факторы, влияющие на коэффициент сопротивления качению, которые позволяют составить линейное уравнение регрессии и прогнозировать величину коэффициента сопротивления качению для различных типоразмеров промышленных и проектируемых массивных шин и выполнять подбор шин для специализированных транспортных средств с учетом условий эксплуатации.

The basic factors which influence on the coefficient of rolling resistance are considered. These factors allow to work out a linear equation of regression and do a prognosis of value of coefficient of rolling resistance for different sizes of industrial and designed massive tires. The multifactor analysis will allow to execute the selection of tires for the specialized transport vehicles taking into account external environments.

Сегодня в Украине, имеющей энергоемкие металлургические и горнорудные предприятия, важной и актуальной задачей является создание новых и усовершенствование существующих специализированных транспортных средств (СТС), предназначенных для погрузки и транспортировки на небольшие расстояния штучных или насыпных грузов [1, 2].

Основным типом шин для СТС, работающих на дорогах, как правило, с твердым покрытием, являются массивные высокоэластичные шины, которые обладают рядом преимуществ: бесшумны, смягчают толчки и удары, возникающие от неровностей дороги, защищают от повреждений полы производственных помещений и дорожные покрытия, обладают высокой грузоподъемностью, небольшой площадью контакта с опорной поверхностью, что позволяет легко совершать повороты на месте. Массивные шины достаточно надежны в эксплуатации, так как порезы, трещины, незначительные вырывы и сколы резинового массива, внедрение в резину посторонних предметов не вызывают потери работоспособности и не приводят к авариям.

Особую роль при работе СТС играют условия эксплуатации: пересечение полотна автомобильных дорог и железнодорожных путей, большое количество поворотов, россыпи стружки, окалины, наличие в шахтах повышенной влажности, высокой твердости и абразивности породы. Сложные эксплуатационные условия вызывают многие технические проблемы, наиболее значимой из которых является проблема обеспечения надежности элементов ходовой части СТС.

Важным параметром, необходимым для расчета мощности двигателя СТС, который влияет на мощно-

стные и экономические параметры СТС, на срок службы шины, и в конечном результате – на детали подвески в целом и определяет эффективность использования СТС, является коэффициент сопротивления качению.

Цель статьи – определение факторов, наиболее влияющих на коэффициент сопротивления качению и позволяющих составить линейное уравнение регрессии и прогнозировать величину коэффициента сопротивления качению для различных типоразмеров промышленных и проектируемых шин специализированных транспортных средств.

На величину коэффициента сопротивления качению в общем случае оказывают влияние следующие факторы [1]:

- конструктивные: диаметр шины, ширина профиля шины, толщина профиля шины, рисунок протектора, число слоев корда, конструкция каркаса, величина передаваемого через шину момента;
- технологические: используемые материалы, технология изготовления шин;
- эксплуатационные: тип и состояние дороги, скорость движения, вес, приходящийся на колесо.

В условиях эксплуатации на массивную высокоэластичную шину действуют: нормальная нагрузка P_z , всегда направленная вниз перпендикулярно плоскости дороги; толкающая сила P_x , параллельная плоскости дороги и в зависимости от режима движения направленная по движению или против движения колеса; момент M ; касательная реакция дороги R_x , расположенная в плоскости дороги и в зависимости от режима движения направленная по движению колеса или против движения колеса; нормальная реакция дороги R_z , всегда направленная вверх перпендикулярно плоскости дороги (рис. 1).

Под действием внешней нагрузки шина в зоне контакта с опорной поверхностью подвергается сложной деформации (рис. 2) [2, 3]. В резиновом массиве при деформации шины под нагрузкой возникают напряжения растяжения, сжатия и сдвига. Однако из-за взаимосвязи между этими видами деформации достаточно четко разграничить их не удастся, а определение напряжений и деформаций резинового массива представляет собой одну из сложных трехмерных задач теории упругости [4].

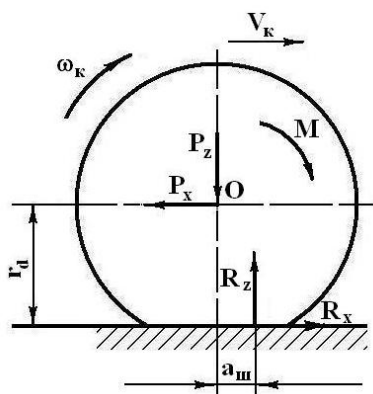


Рис. 1. Схема сил, приложенных к колесу при качении по недеформируемой дороге

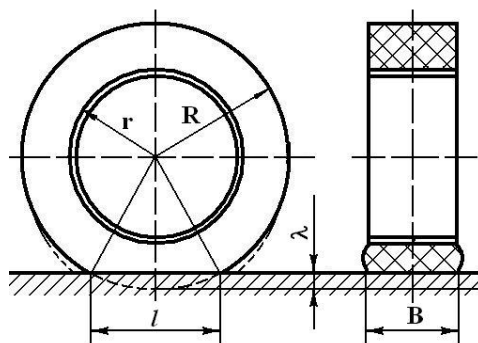


Рис. 2. Деформация массивной шины при нагружении

В инженерной практике расчеты массивных шин основаны на выборе их геометрических параметров (наружного диаметра, толщины и ширины резинового массива) при заданной нагрузке, исходя из компоновки ходовой части СТС для скоростей до 16 км/ч и последующей проверки правильности такого выбора по расчету среднего давления в зоне контакта, которое не должно превышать 11,8...12,7 МПа [1].

При выводе расчетных зависимостей принимают допущения:

- в пределах испытываемых шиной нагрузок и деформаций резина подчиняется закону Гука;
- шина рассматривается как резиновый цилиндр определенной толщины прямоугольного сечения без заделки по основанию (без учета крепления массива к бандажу или ободу-ступице);

– учитывается только радиальная (нормальная) деформация λ (рис. 2), а всеми другими видами деформации пренебрегают.

Одним из факторов, влияющих на коэффициент сопротивления качению, является смещение $a_{ш}$ нормальной реакции дороги R_z . Точка приложения нормальной реакции дороги R_z смещена относительно основания перпендикуляра, опущенного из центра колеса на плоскость дороги на величину $a_{ш}$ (см. рис. 1). Смещение $a_{ш}$ нормальной реакции дороги R_z вызвано потерями энергии в процессе сжатия элементов шины в набегающей области контактной площадки и распрямления элементов шины в сбегаящей области контактной площадки. При этом происходят внутренние потери в материале шины (гистерезис) и потери на трение между элементами шины и поверхностью дороги.

Смещение $a_{ш}$ нормальной реакции дороги R_z является причиной возникновения силы сопротивления качению СТС P_k , которая определяется как сумма сил сопротивления качению всех его колес

$$P_k = f \sum_{i=1}^n R_{zi},$$

где f – коэффициент сопротивления качению колеса; n – число колес; R_{zi} – нормальная реакция опорной поверхности i -го колеса.

Коэффициент сопротивления качению можно записать в виде

$$f = \frac{a_{ш}}{r_0}, \tag{1}$$

где $a_{ш}$ – смещение нормальной реакции, мм; r_0 – динамический радиус, т. е. расстояние от оси катящегося колеса до опорной поверхности (дороги), мм (рис. 1).

Учитывая, что массивные высокоэластичные шины работают на твердом покрытии при небольших скоростях, можно считать, что

$$r_0 \approx r_{cm},$$

где r_{cm} – статический радиус – расстояние от оси неподвижного колеса, нагруженного нормальной силой, до опорной поверхности (дороги), мм.

Величина статического радиуса может быть приближенно найдена по номинальным размерам шины

$$r_{cm} = 0,5D_2 + \lambda B,$$

где D_2 – внутренний (посадочный) диаметр бандаж, мм; λ – максимальная радиальная деформация шины при длине контакта l , мм; B – ширина профиля шины, мм.

Максимальная радиальная деформация шины λ (рис. 2) рассчитывается по формуле

$$\lambda = R \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{l}{D} \right)^2} \right], \quad (2)$$

где R – радиус шины, мм; D – диаметр шины, мм.

Длина контакта l шины определяется по формуле

$$l = 2,15 \sqrt{\frac{DP_z}{2BE}}, \quad (3)$$

где P_z – нагрузка на шину, Н; E – модуль упругости резины.

Таким образом, выражение (1) можно записать в следующем виде

$$f = \frac{a_{ш}}{0,5D_2 + \lambda B}. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что основными факторами, влияющими на коэффициент сопротивления качению, являются: смещение $a_{ш}$ нормальной реакции, внутренний (посадочный) диаметр банджа D_2 , максимальная радиальная деформация шины λ и ширина профиля шины B .

Рассмотрение промышленного ряда массивных высокоэластичных шин показало, что смещение нормальной реакции $a_{ш}$ находится в пределах 0,57...5,4 мм.

Уменьшение смещения нормальной реакции $a_{ш}$ уменьшает коэффициент сопротивления качению, увеличивает жесткость шины, что отрицательно влияет на срок службы подвески, снижает время ее работы.

Увеличение $a_{ш}$ повышает коэффициент сопротивления качению, что отрицательно влияет на мощностные и экономические параметры СТС.

Увеличение внутреннего (посадочного) диаметра банджа D_2 приводит к уменьшению коэффициента сопротивления качению (табл. 1).

Таблица 1
Коэффициент сопротивления качению колес с массивными шинами

Нагрузка на шину P_z , Н	Размеры шин $D \times B \times D_2$, мм		
	$320 \times 160 \times 225$	$500 \times 160 \times 375$	$630 \times 160 \times 480$
12000	0,0122	0,0095	0,0097
22000	0,0134	0,0123	0,0104
32000	0,0144	0,0132	0,0117

Рассмотрение максимальной радиальной деформации шины λ показывает, что в формулы (2) – (3) входят радиус шины R , диаметр шины D , нагрузка на шину P_z , ширина профиля шины B и модуль упругости резины E .

Авторы данной статьи предлагают вместо фактора максимальной радиальной деформации шины λ рассматривать следующие факторы: нагрузку на шину P_z , ширину профиля шины B и модуль упругости резины E . Увеличение каждого из этих факторов приводит к росту коэффициента сопротивления качению.

Используя экспериментальные данные для выпускаемых шин, можно представить зависимость коэффициента сопротивления качению от перечисленных факторов в виде линейного уравнения регрессии

$$f = x_0 + x_1 a_{ш} + x_2 D_2 + x_3 P_z + x_4 B + x_5 E,$$

где x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 и x_5 – коэффициенты регрессии.

Таким образом, на основании рассмотренного материала можно сделать следующие выводы:

- основными факторами, влияющими на коэффициент сопротивления качению массивных высокоэластичных шин, являются: величина смещения нормальной реакции $a_{ш}$, внутренний (посадочный) диаметр банджа D_2 , нагрузка на шину P_z , ширина профиля шины B и модуль упругости резины E ;

- установлено влияние на коэффициент сопротивления качению каждого из основных факторов в отдельности;

- предложено с помощью коэффициентов регрессии проводить анализ влияния на коэффициент сопротивления качению всех факторов одновременно;

- многофакторный анализ позволит прогнозировать величину коэффициента сопротивления качению для различного типоразмера промышленных и проектируемых массивных шин, а также выполнять подбор шин для специализированных транспортных средств с учетом условий эксплуатации.

Список литературы

1. Савосин В.С., Бограчев М.Л. Массивные шины (конструкция, изготовление, эксплуатация). – М.: Химия, 1981. – 112 с.
2. Литвинов А.С. Теория эксплуатационных свойств автомобилей. – М.: Типография изд-ва МГУ, 1975. – 178 с.
3. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 230 с.
4. Лепетов В.А., Юрцев Л.Н. Расчеты и конструирование резиновых изделий. – Л.: Химия, 1977. – 408 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Самусею 15.09.09