

С. Г. Макаров, П. П. Пугин, А. В. Филюшкин,
В. И. Гусев, Н. Ф. Бочаров

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ШИН

Одна из особенностей работы эластичного колеса заключается в том, что геометрические размеры и кинематические параметры колеса не остаются постоянными и зависят от таких эксплуатационных факторов, как внутреннее давление воздуха в шине, вертикальная нагрузка, величина передаваемого крутящего момента и т. д.

Указанная особенность вызывает в трансмиссии полноприводных машин с заблокированным приводом кинематическое рассогласование между колесами (мостами) и приводит как к дополнительным нагрузкам на отдельные элементы силовой передачи, так и к увеличению силы сопротивления качению автомобиля.

Так, теоретические исследования показывают, что при движении по ровной твердой поверхности распределение моментов по осям (колесам) автомобиля с заблокированным приводом определяется зависимостью:

$$M_i = \frac{R_i^B - R_a}{\lambda_i}, \quad (1)$$

где M_i — текущий момент на i -й оси (на колесе); R_i^B — радиус качения оси (колеса) в ведомом режиме; R_a — текущий радиус качения движителя автомобиля [1]; λ_i — коэффициент тангенциальной эластичности i -й оси (колеса).

Несмотря на то что зависимость (1) получена для условий движения, близких к статическим, исследования показывают, что определяемый теоретический момент M_i является математическим ожиданием — центром группирования возможных реальных величин M_i .

Дополнительная сила сопротивления качению эластичного колеса также связана с его кинематическими параметрами и равна:

$$\Delta P_f = \frac{\lambda_i M_i^2}{R_i^B R_a}. \quad (2)$$

Из приведенных примеров ясно, что исследованию параметров эластичного колеса необходимо уделять большее внимание, так как отечественная автомобильная наука практически не располагает данными, характеризующими кинематику колесного движителя.

В данной работе описаны результаты исследования зависимости некоторых параметров эластичного колеса от вертикальной нагрузки, внутреннего давления и конструктивных особенностей движителя. В работе по возможности сохранены и используются обозначения и определения, предложенные Е. А. Чудаковым для оценки работы колесного движителя [2].

Для исследования были выбраны колесные движители, имеющие значительные конструктивные отличия друг от друга: шины с регулируемым давлением воздуха размером 12.00-18, 13.00-18 и 14.00-20; стандартные шины 6.50-16 и пневмокотки И-245 размером $1000 \times 1000 \times 250$. Кроме того, для определения влияния отдельных конструктивных параметров в пределах одной группы движителей исследовались: две шины 12.00-18 модели И-111 (новая и после пробега 20 000 км); три шины 13.00-18 И-112 с высотой протектора $h = 15$ (новые), $h = 12$ мм (пробег 1500 км) и без протектора (естественный износ); две модели Я-101 и Я-13 стандартных шин 6.50-16, имеющих разный рисунок и высоту протектора; несколько вариантов шин размером 14.00-20 модели ОИ-25, отличающихся друг от друга различным числом слоев каркаса, и пневмокотки модели И-245.

В табл. 1 приведена краткая техническая характеристика шин.

Таблица 1

Техническая характеристика шин

Размер шин	Модель	Число слоев каркаса	Угол наклона корда, град	Насыщенность рисунка, %	Глубина рисунка (по короне), мм
6.50-16	Я-101	6	—	48	16
	Я-13	—	52	—	12
12.00-18	И-111	8	50—53	40,5	15
13.00-18	И-112	8	50—53	40	14
	И-112	8	50—53	—	0
14.00-20	ОИ-25	10	54	39	28
		8	54	39	28
		6	54	39	28
		4	54	39	28
$1000 \times 1000 \times 250$	И-245	4	58	15	13

Рассмотрим изменение геометрических размеров эластичного колеса в зависимости от внутреннего давления воздуха. На

рис. 1, а и б представлены графики изменения свободных радиусов шин 6.50-16 (1), 12.00-18 (2), 13.00-18 (3) и пневмокатков размером $1000 \times 1000 \times 245$ от внутреннего давления воздуха. Свободные радиусы получены по результатам измерения внешнего периметра шины при различных внутренних давлениях воздуха p_w .

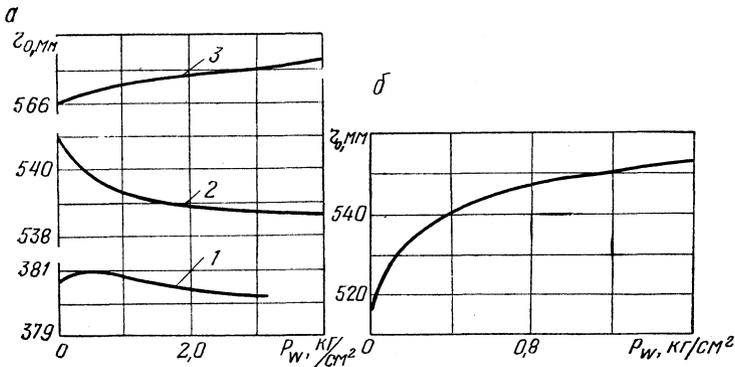


Рис. 1. Зависимость свободного радиуса шины от внутреннего давления воздуха:

а — 6.50-16 модель Я-101 (1); 12.00-18 модель И-111 (2); 13.00-18 модель И-112 (3); б — пневмокаток модели И-245.

Несмотря на то что величина r_0 , как правило, не используется в инженерных расчетах, необходимость изучения зависимости свободного радиуса шины от внутреннего давления вызвана тем, что она рассматривается как радиус качения колеса в ведомом режиме и определяет ординату экспериментальной кривой:

$$r_k^B = f(G_k) \text{ при } G_k > 0.$$

Следует отметить, что как для стандартных шин, так и для шин с регулируемым давлением воздуха абсолютная величина изменения свободного радиуса незначительна и равна 2—3 мм. Исключение составляют пневмокатки, для которых изменение свободного радиуса равно 40 мм.

Изменение вертикальной нагрузки эластичного колеса приводит к дальнейшему изменению его геометрических размеров. Рассмотрим изменение радиуса качения шины в зависимости от вертикальной нагрузки при работе колеса в ведомом режиме.

На рис. 2 показаны экспериментальные значения r_k^B для стандартных шин 6.50-16 (штрих-двухпунктирная линия), шин с регулируемым давлением воздуха 13.00-18 (штриховая линия), 14.00-20 (сплошная линия) и пневмокатков И-245 (штрихпунктирная линия), полученные методом меловых отметок по результатам протягивания автомобиля с колесной формулой 4×2 в ведомом режиме.

Представленные зависимости могут быть описаны аналитически [1] и использоваться при расчетах.

По результатам экспериментов можно отметить, что изменение радиуса r_k^B от вертикальной нагрузки для всех исследованных шин составляет величину одного порядка и значительно превосходит по абсолютной величине изменение свободного радиуса от внутреннего давления. К наибольшим изменениям радиуса качения приводит снижение внутреннего давления воздуха в шине. Изменение высоты рисунка протектора (шины 13.00-18) или слоистости (шины 14.00-20) практически не дает ни качественных, ни количественных изменений зависимости $r_k^B = f(G_R)$.

Изменение радиуса качения в зависимости от крутящего момента, подведенного к колесу, характеризуется, как известно, следующим уравнением:

$$r_k = r_k^B - \lambda M_R, \quad (3)$$

справедливость которого подтверждается многочисленными экспериментальными данными как отечественных, так и зарубежных исследователей. Установлено, что изменение радиуса качения характеризуется коэффициентом тангенциальной эластичности и связано с деформацией резинокордной оболочки шины в зоне контакта. Однако ввиду сложного характера деформации резинокордной оболочки шины в зоне контакта до сих пор не существует аналитических зависимостей, характеризующих закон изменения коэффициента λ от вертикальной нагрузки $\lambda = f(G_R)$ или от внутреннего давления воздуха в шине.

На рис. 3, а, б, в показаны результаты экспериментального определения зависимости коэффициента тангенциальной эластичности шин 6.50-16, 13.00-18 и пневмокотков от вертикальной нагрузки на колесо. Представленные данные одновременно характеризуют и зависимость коэффициента тангенциальной эластичности от внутреннего давления воздуха в шине. Характер изменения коэффициента λ близок к гиперболическому и может быть определен следующей эмпирической зависимостью:

$$\lambda = RG_R^n, \quad (4)$$

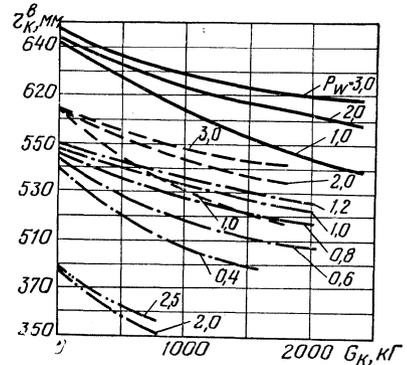


Рис. 2. Зависимость радиуса качения шины от вертикальной нагрузки при работе колеса в ведомом режиме.

где k , n — постоянные для данного внутреннего давления константы, определяемые по результатам эксперимента.

Предварительный анализ полученных результатов показывает, что параметр λ зависит от целого ряда факторов, определяющих конструкцию или характер эксплуатации колесного движителя.

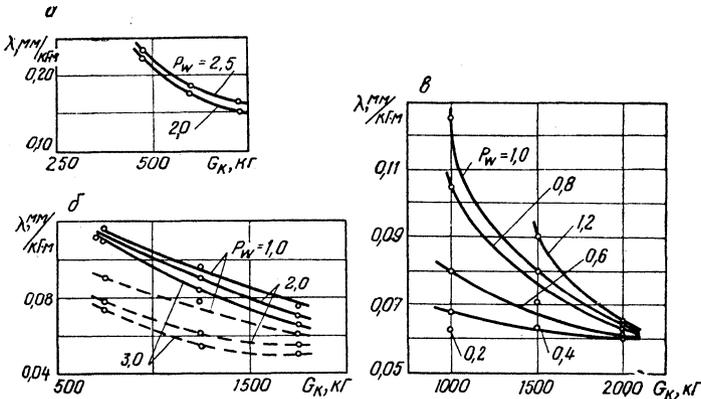


Рис. 3. Зависимость коэффициента тангенциальной эластичности шины от вертикальной нагрузки и внутреннего давления воздуха:

а — 6.50-16 модель Я-13; б — 13.00-18 модель И-112 ($h=14$ мм — сплошные и $h=0$ — пунктирные); в — пневмокаток модели И-245.

Во-первых, коэффициент тангенциальной эластичности зависит от конструкции колесного движителя: коэффициент λ для стандартных шин примерно 1,5—2 — выше, чем для шин с регулируемым давлением воздуха и пневмокатков. Очевидно, особенностями конструкций движителя объясняется и сложный характер зависимости коэффициента λ от внутреннего давления воздуха в шине. Так, для шин 6.50-16 модели Я-101, 13.00-18 модели И-112 с рисунком и без рисунка протектора коэффициент тангенциальной эластичности возрастает при снижении внутреннего давления, а для шин 6.50-16 модели Я-13, 12.00-18 модели И-111, 14.00-20 модели ОИ-25 и пневмокатков, наоборот, падает при снижении внутреннего давления. Снижение слойности каркаса, как показывают результаты испытаний шин модели ОИ-25, приводит при малых вертикальных нагрузках на колесо к снижению коэффициента λ .

Во-вторых, по результатам испытания шин модели И-112 с рисунком и без рисунка протектора можно сказать, что коэффициент тангенциальной эластичности шины в процессе эксплуатации постоянно падает.

В заключение отметим, что по результатам данной работы трудно установить однозначную связь между параметрами λ , ρ_w и G_R , так как определение механических свойств резины требует дополнительных данных.

Л и т е р а т у р а

[1] *Петрушов В. А., Леонов В. И.* Определение констант связи между свободным радиусом колеса, внутренним давлением воздуха в шине, радиусом качения в ведомом режиме и нормальной нагрузкой. — Труды НАМИ. М., 1964, вып. 69. [2] *Чудаков Е. А.* Качение автомобильного колеса. М.—Л., 1948.