

Литература

1. Теория и расчет тягового привода электромобилей / Под ред. Ефремова И.С. –М.: Высшая школа, 1984. –383с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов.- 2-е изл.перераб. и доп. –М: Энергоатомиздат, 2001. -704с.
3. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. Под ред. И.Я. Блаславского. –М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256с.
4. De Doncker R.W., Novotny D.W. The universal field oriented controller // IEEE Trans. on Ind. Applications, vol. 30, Jan./Feb., 1994, pp. 92-100.
5. Тяговые электроприводы и устройства энергообеспечения автотранспортных средств / Е.М. Овсянников, Нгуен Куанг Тхиеу. –М.: Изд. «Палеотип», 2009. -244с.

Результаты испытаний отечественной и зарубежных шин для малогабаритной техники

к.т.н. доц. Подрубалов В.К., Дмитриева Л.А., Подрубалов М.В.
МГТУ «МАМИ», МГУ Л

Аннотация. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований на многофункциональном стенде характеристик трех моделей шин, используемых при комплектации квадроциклов. Дана оценка жесткостных параметров шин при различных внутренних давлениях. Подробно исследованы их тягово-сцепные свойства на жестком и деформируемом основаниях. Даны рекомендации по их применению.

Ключевые слова: шины для квадрациклов, технические характеристики, результаты испытаний

Создание мобильной малогабаритной техники (МГТ), удовлетворяющей потребителя по таким важным эксплуатационным показателям, как вибронегруженность, тягово-сцепные свойства и проходимость, невозможно без знания характеристик применяемых шин. Поэтому проведение экспериментальных работ в этом направлении является весьма актуальным.

В данном исследовании изучались выходные параметры отечественной (с размерами 25x11-12) и двух иностранных (25x12-10 и 22x8-10 фирмы Данлоп) шин. Параметры общего значения определялись при нагрузках и соответствующих им давлениях воздуха в соответствии с ТУ и проспектов фирмы Данлоп.

Технические показатели и параметры общего значения представлены в таблице 1 и графиками на рисунках 1 и 2.

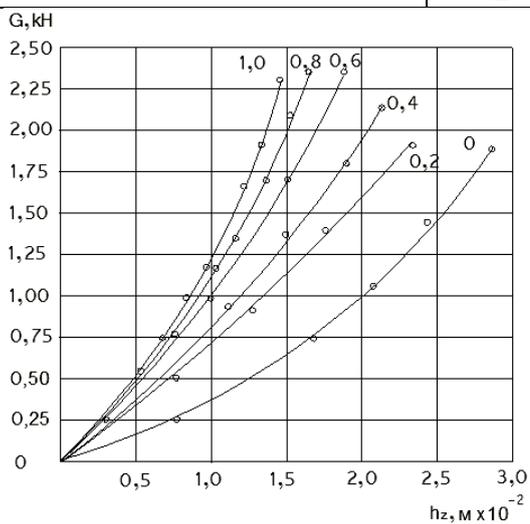
Таблица 1

Технические показатели шин

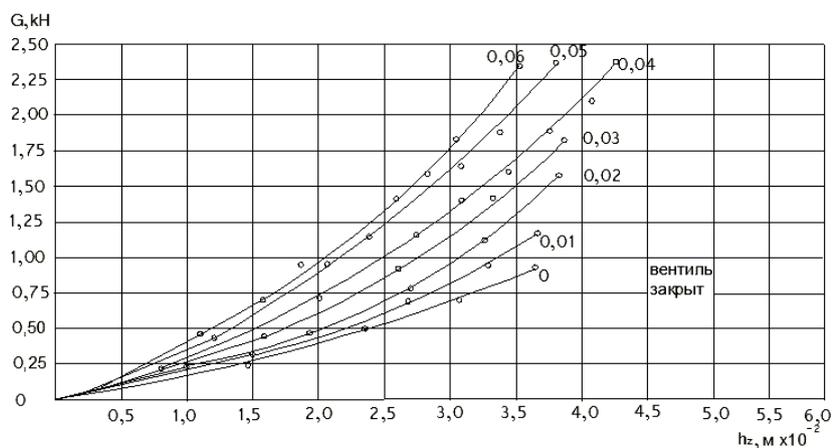
№№ п/п	Показатели	Размеры и модель шин		
		25x11-12	25x12-10 Данлоп	22x8-10 Данлоп
1	Наружный диаметр D, мм	573	648	570
2	Ширина профиля В, мм	270	272	185
3	Ширина беговой дорожки в, мм	220	237	168
4	Число пар грунтозацепов, шт.	-	-	-
5	Высота грунтозацепов по ц.б.д., мм	16	9	7
6	Высота профиля шины Н, мм	132,4	197	158
7	Средняя расчетная радиальная деформация, мм	15	39,4	30,3
8	Относительная деформация,.	0,11	0,20	0,19

Раздел 1. Наземные транспортные средства, энергетические установки и двигатели.

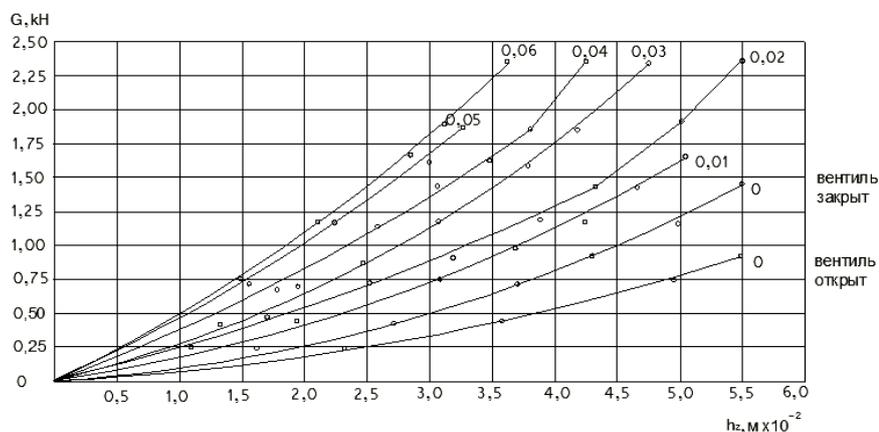
9	Статический радиус, $R_{ст.}$, мм	271,6	284,6	254,7
10	Площадь по контуру отпечатка, F_k , см ²	200	407	213,2
11	Площадь по выступам грунтозацепов F_B , см ²	28,8	-	50
12	Среднее условное давление (min), кПа	468	-	186
13	Среднее действительное давление (min), кПа	67	-	27
14	Масса шины в сборе с ободом, кг	16,9	12	9
15	Масса шины, кг	-	-	-
16	Рисунок протектора	Повышенной проходимости		
17	Норма слойности	2	2	2



а)



б)



в)

Рисунок 1 - Зависимости радиальной нагрузки от радиальной деформации шин при различных давлениях воздуха в шине. (МПа): а) - 25x11-12; б) - 22x8-10 Данлоп; в) - 25x12-10 Данлоп

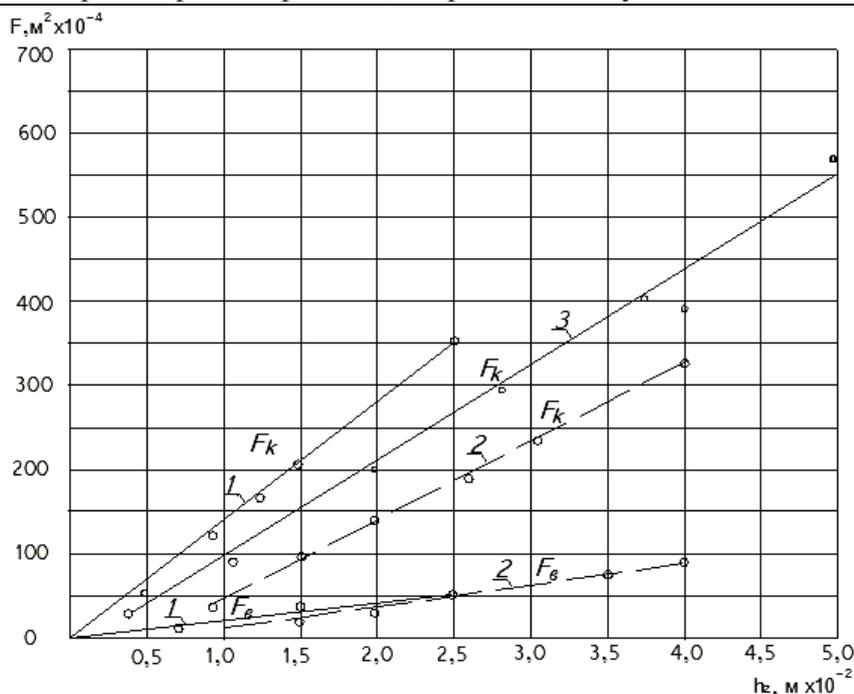


Рисунок 2 - Зависимости контурной и по выступам F в площадях контакта от радиальной деформации шины: 1 - 25x11-12; 2 - 22x8-10 Данлоп; 3 - 25x12-10 Данлоп

Как следует из таблицы 1 и графиков, шина отечественного изготовления 25x11-12 по техническим показателям уступает зарубежным. Так, ее относительная деформация меньше, чем шины 25x12-10 в 1,8 раза, площадь контакта в 2 раза, а удельное давление выше в 2,5 раза. В сравнении с шиной 22x8-10, которая на 3 дюйма уже, ее относительная деформация меньше в 1,7 раза, площадь контакта меньше в 1,1, удельное давление выше в 1,5 раза.

В таблице 2 приведены жесткостные показатели испытанных шин при расчетных деформациях. Значения сил, действующих на шины в опорной плоскости, при испытаниях ограничивались зоной упругих деформаций, где отсутствует заметное скольжение.

Таблица 2

Нормальная, тангенциальная, боковая жесткость шин

Шина	G кН	p_w МПа	h_z м	c_z кН/м	F_x кН	h_x м	c_x кН/м	F_y кН	h_y м	c_y кН/м
25x11-12	1,35	0,04	0,015	88,2	0,2	0,0005	400	0,2	0,0008	250,0
25x12-10 Данлоп	1,35	0,02	0,039	34	0,2	0,001	200	0,2	0,0034	58,8
22x8-10 Данлоп	0,83	0,015	0,030	27,7	0,2	0,0011	182	0,2	0,0068	29,4

Из таблицы 2 видно, что нормальная жесткость отечественной шины по сравнению с шинами зарубежного производства размеров 25x12-10 и 22x8-10 больше в 2,6 и 3,2 раза, тангенциальная – в 2 и 2,2 раза, боковая – в 4,2 и 8,5 раз.

Тяговые характеристики шин определялись на многофункциональном стенде по разработанному методу тяговых испытаний шин [1]. Этот метод позволяет оценить тягово-сцепные показатели самих шин, выделить общий к.п.д. и его составляющие, что необходимо для инженерных расчетов и прогнозирования эксплуатационных качеств мобильной машины.

В качестве опорной поверхности использовалась гладкая цементная плита и грунт (суглинистая почва), по физико-механическим свойствам имитирующий типичные условия эксплуатации МГТ. После каждого прохода колеса с заметным буксованием (3-5%) поверхность плиты очищалась щеткой, т.к. в результате качения колеса образовывалась резиновая крошка в виде катышков, которые по мере их накопления существенно влияют на сцепные качества.

Грунт после каждого прохода колеса рыхлился ручным культиватором, а поверхность разравнивалась граблями с частыми зубьями. Тяговое нагружение колеса осуществлялось ступенчато в пределах от $P_k = 0$ (холостой ход) до $P_k = P_{kmax}$ (полное буксование). Нормальная нагрузка на колесо обеспечивалась грузами, устанавливаемыми на каретку стенда.

Характеристики грунта приведены в таблице 3.

Таблица 3

Физико-механические характеристики грунта

Фон	Горизонт, см	Влажность, %	Твердость, число ударов ударником ДорНИИ
Грунт	0-10	17,9-18,2	6-7

По полученным экспериментальным данным строились базовые характеристики шины, состоящие из двух зависимостей:

$$r_k = r_k(P_k) \tag{1}$$

$$M_k = M_k(P_k) \tag{2}$$

Абсолютные величины сил сопротивления качению F_f и момента сопротивления качению M_f определяются непосредственно из зависимости (2), а общий к.п.д. шины (η_k) и его составляющие – к.п.д., учитывающий скоростные потери (η_s), и к.п.д., учитывающий силовые потери (η_f), вычисляются по известным из теории трактора формулам:

$$\eta_k = \frac{P_k \cdot r_k}{M_k} \tag{3}$$

$$\delta = \frac{r_k^0 - r_k}{r_k^0} \tag{4}$$

$$\eta_s = \frac{r_k}{r_k^0} \tag{5}$$

$$\eta_f = \frac{P_k \cdot r_k^0}{M_k} \tag{6}$$

где: r_k^0 - радиус качения колеса холостым ходом ($P_k = 0$);

r_k - радиус качения колеса, соответствующий данному значению P_k (M_k).

По установленной базовой характеристике строится с использованием формул (3) и (4) тяговая характеристика шины – графики в виде двух зависимостей:

$$\eta_k = \eta_k(P_k) \tag{7}$$

$$\delta = \delta(P_k) \tag{8}$$

которые наглядно и полно представляют тягово-сцепные качества шины.

Момент сопротивления качению колеса M_f определяется из зависимости $M_k = M_k(P_k)$, а сопротивление качению – по формуле:

$$P_f = \frac{M_f}{r_k^0} \tag{9}$$

Для определения тягово-сцепных показателей сравнительные испытания отечественных и зарубежных шин проводились при различных нагрузках и соответствующих им давлениях воздуха в шинах. Перечень опытов представлен в таблице 4.

Таблица 4

Перечень опытов по тяговым испытаниям шин

Фон	25x11-12		25x12-10 Данлоп		22x8-10 Данлоп	
	G, кН	P_w , МПа	G, кН	P_w , МПа	G, кН	P_w , МПа
Бетон	1,35	0,04	1,35	0,02	0,85	0,015
Грунт	0,85	0,03	0,85	0,015	0,85	0,015
	1,35	0,04	1,35	0,02	1,35	0,035

Результаты показывают (рисунок 3, таблица 5), что на бетонной поверхности увеличение нормальной нагрузки на шину 25x11-12 в 1,5 раза приводит к увеличению тягового уси-

лия в 1,77 раза, расширяет зону высоких значений к.п.д. ($\eta_{\text{п}} = 0,8$ и более) в 1,64 раза, увеличивает коэффициент сцепления на 3% и снижает буксование на 2% при неизменном значении к.п.д. ($\eta_{\text{п}}=0,93$) и моменте сопротивления качению ($M_f = 0,019$ кН м).

Таблица 5

Тяговые показатели шин. Фон – бетон

Шина	Нагрузка, кН	Давление P_w , МПа	Показатели при η_{max}			Зона P_k при $\eta = 0,8 * \eta_{\text{max}}$, кН	$P_{k \text{ max}}$, кН	φ_{max}	M_f , кН м	F_f , кН
			η_{max}	P_k , кН	δ , %					
25x11-12	1,35	0,04	0,93	0,91	3	0,16:1,19	1,25	0,92	0,019	0,071
25x12-10 Данлоп	1,35	0,02	0,93	1,02	2,2	0,18:1,3	1,32	0,97	0,02	0,06553
22x8-10 Данлоп	0,85	0,015	0,93	0,61	4,3	0,17:0,72	0,73	0,88	0,019	0,0748

Зарубежная шина 25x12-10 по сравнению с шиной 25x11-12 при одинаковых нормальных нагрузках $G = 1,35$ кН имеет одинаковые максимальные значения к.п.д. ($\eta_{\text{п}}=0,93$), большее на 12% тяговое усилие при меньшем на 2,8% буксовании. Максимальное значение тягового усилия ее больше на 5%, зона высоких значений к.п.д. больше на 8 % и смещена в сторону больших значений тяговых нагрузок. В то же время момент сопротивления качению ее выше на 5 %.

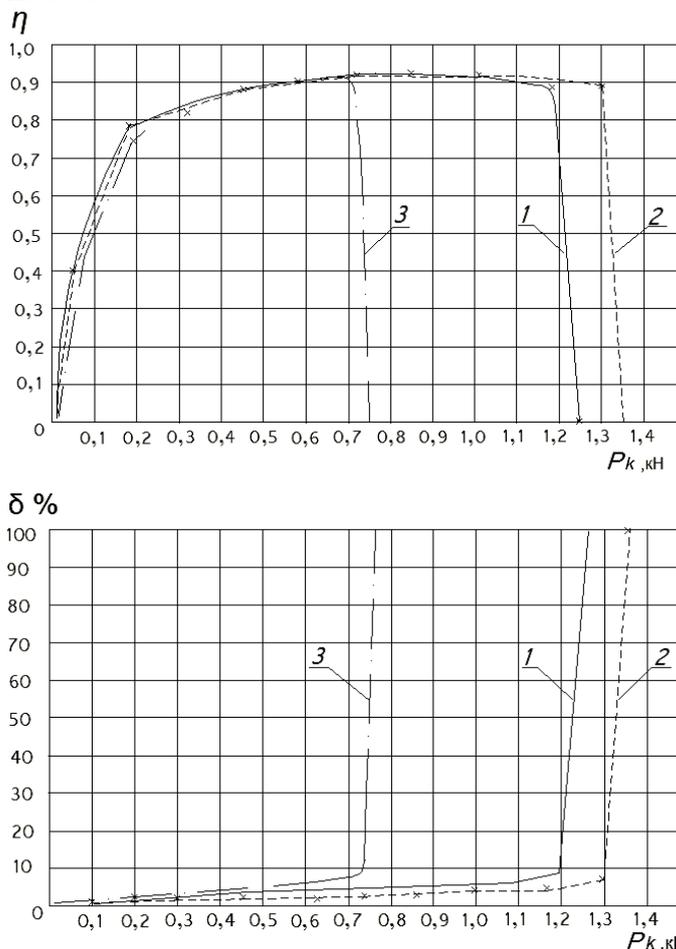


Рисунок 3 - Тяговая характеристика шин. Фон – бетон: 1 - 25x11-12 отечественная, 2 - 25x12-10 Данлоп, $P_w=0,04$ МПа, $G=1,35$ кН; 3 - 22x8-10 Данлоп, $P_w=0,015$ МПа, $G=0,85$ кН

Известно, что максимальные значения тягового усилия при буксовании $\delta = 100\%$ могут неоднозначно характеризовать сцепные качества из-за неустойчивого процесса качения колеса (эффект «срыва»). Поэтому для более объективной оценки тягово-сцепных ка-

в таблице 6 приведены значения крюкового усилия и коэффициента сцепления при буксовании $\delta = 30\%$, регламентированным ГОСТ 7057-81 как предельное при испытаниях на почвенных фонах.

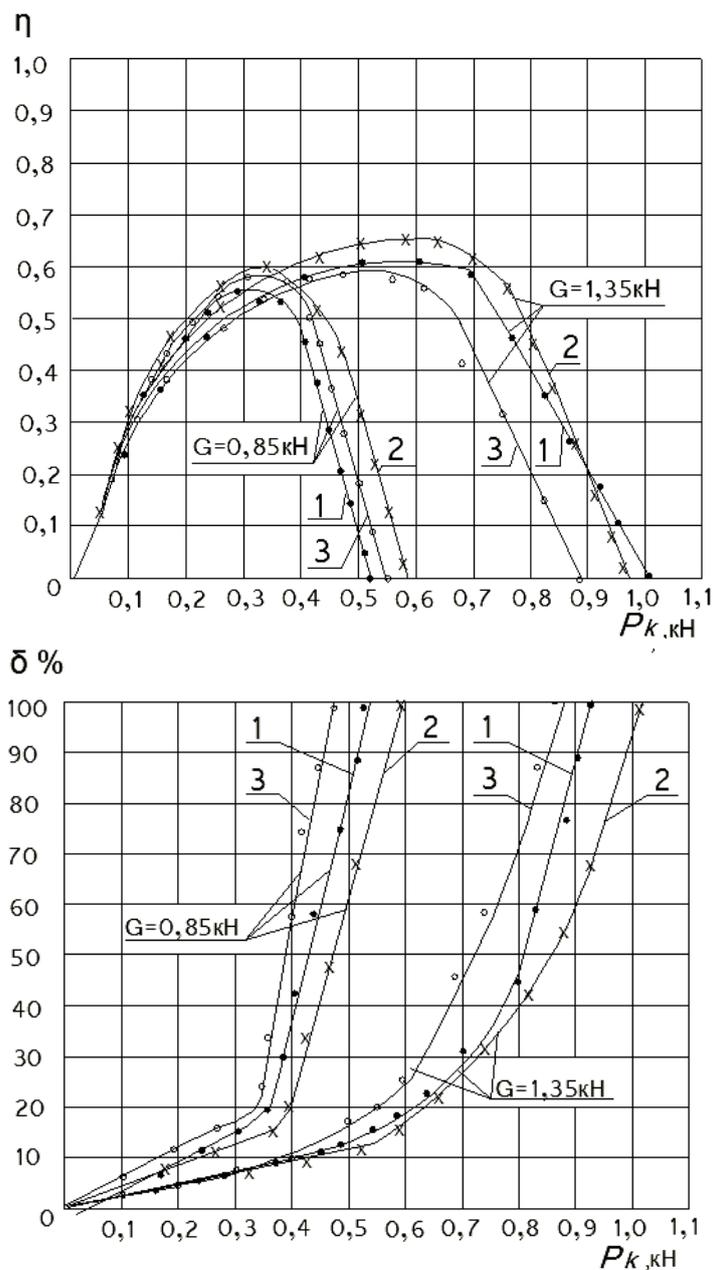


Рисунок 4 - Тяговая характеристика шин. Фон – грунт: 1 - 25x11-12 отечественная, 2 - 25x12-10 Данлоп; 3 - 22x8-10 Данлоп

Приведенные данные дополняют таблицу с параметрами ТСК и еще раз подтверждают преимущество зарубежных шин.

На грунте при нормальной нагрузке $G = 0,85$ кН шина фирмы Данлоп 25x12-10 по сравнению с отечественной 25x11-12 имеет большее на 10% максимальное значение к.п.д. при большем на 23 % крюковом усилии и практически одинаковом буксовании (16,8% и 16,6%). Зона высокого значения к.п.д. больше на 66%, а максимальное значение крюкового усилия и коэффициент сцепления выше на 11% при меньшем моменте сопротивления качению.

При нагрузке на шины $G = 1,35$ кН тягово-сцепные показатели зарубежной шины также выше.

Так, максимальное значение к.п.д. больше на 8% при большем на 12% крюковом усилии и одинаковом буксовании (18,9% и 18,8%). Зона высокого к.п.д. также больше на 26% при меньшем на 2% максимальном тяговом усилии и коэффициенте сцепления. Большой

момент сопротивления качению шины 25x11-12 по сравнению с шиной 25x12-10 можно объяснить большими потерями на деформацию грунта из-за большей ширины беговой дорожки и больших удельных давлений в пятне контакта.

Таблица 6

Значения крюкового усилия и коэффициента сцепления при буксовании $\delta = 30\%$, регламентированным ГОСТ 7057-81

Шина	Нагрузка, кН	Давление P_w , МПа	Показатели при $\eta_{max} \Pi$			Зона F_k при $\eta = 0,8 * \eta_{max}$, кН	F_{kmax} , кН	φ_{max}	M_f , кН м	F_f , кН	При $\delta = 30\%$, кН	
			η_{max}	F_k , кН	δ , %						F_k , кН	φ
25x11-12	0,85	0,03	0,55	0,304	16,6	0,21:0,36	0,529	0,619	0,06	0,220	0,36	0,423
	1,35	0,04	0,58	0,555	18,8	0,3:0,71	1,001	0,74	0,087	0,324	0,68	0,503
25x12-10 Данлоп	0,85	0,015	0,61	0,374	16,8	0,17:0,42	0,588	0,69	0,053	0,176	0,41	0,482
	1,35	0,02	0,63	0,623	18,9	0,25:0,77	0,973	0,72	0,076	0,250	0,7	0,518
22x8-10 Данлоп	0,85	0,015	0,57	0,31	17	0,2:0,37	0,493	0,58	0,046	0,177	0,37	0,435
	1,35	0,035	0,56	0,50	17,4	0,28:0,57	0,87	0,64	0,071	0,272	0,57	0,422

Таким образом, приведенные экспериментальные исследования по оценке жесткостных показателей и тягово-сцепных свойств, на твердом и деформируемом основании отечественной 25x11-12 и зарубежных 25x12-10, 22x8-10 шин показали, что отечественная шина существенно уступает зарубежным по эластичности и обладает худшими тягово-сцепными свойствами на твердом и деформируемом основаниях.

Литература

1. Отчет НАТИ «Разработка и внедрение комплексных методов исследования характеристик шин». Москва.1978 г. Арх. № 21142. ВНИИЦ № Б721227.

Влияние ведущего режима качения колеса на формирование опорной поверхности движения

к.т.н. доц. Сергеев А.И.
МГТУ «МАМИ»
(495) 223-05-23 доб. 1527

Аннотация. В статье рассматривается влияние плоского движения колеса в ведущем режиме на формирование опорной поверхности движения. На основе разработанной математической модели определяется передаточная функция, учитывающая связь выходных и входных параметров, а также амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик движения системы «колесо-опорная поверхность». Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Ключевые слова: колесо, режим качения, опорная поверхность, передаточная функция, амплитудно-частотная характеристика, фазочастотная характеристика

Плоское движение колеса представляет сложное физико-механическое явление, совершаемое под действием одного или нескольких силовых факторов. В общем случае плоское движение может быть представлено параметрическими уравнениями (1)

$$X_0 = f_1(t); Z_0 = f_2(t); \varphi = f_3(t). \quad (1)$$

Эти уравнения представляют плоское движение колеса, при котором величины X_m, Z_m, φ , меняются с течением времени [1]. Поэтому они являются однозначными, непрерывными и дифференцируемыми функциями.

В рассматриваемой схеме (рисунок 1) реализуется система с тремя степенями свободы,