

УЧЕТ ИЗНОСА ПРОТЕКТОРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ КОЛЕС

При анализе неустановившихся режимов движения автомобиля учитывают вращающиеся массы колес, трансмиссии и подвижных частей двигателя – обычно множат массу легкового автомобиля на коэффициент 1,03...1,05, грузового и автобуса – на 1,05...1,07. В случаях же проверки на инерционных стендах с беговыми барабанами, когда автомобиль неподвижен, интересующие испытателя или диагноста силы F (тормозные, тяговые и т.п.) определяют, умножая измеренное угловое ускорение на сумму приведенных моментов инерции стенда и вращающихся частей автомобиля (или линейное ускорение j на сумму приведенных масс m_{np}):

$$F = j \cdot (m_{np.cm} + m_{np.a}), \quad (1)$$

где $m_{np.cm}$ и $m_{np.a}$ – приведенные массы стенда и вращающихся частей автомобиля соответственно, кг;

$$m_{np} = I / R^2, \quad (2)$$

где I – момент инерции, соответственно стенда либо трансмиссии автомобиля $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; R – радиус приведения, м (для стенда – радиус беговых барабанов, для вращающихся частей автомобиля – радиус качения колеса по беговым барабанам, приблизительно равный статическому радиусу колеса на плоскости).

Момент инерции вращающихся частей автомобиля в основном определяется величиной момента инерции колес. Таким образом, моменты инерции колес оказывают решающее влияние на точность результатов, и

обойтись описанной грубой оценкой нельзя. В работе [1] показано, что при правильном выборе приведенной массы стенда можно допустить погрешность знания моментов инерции колес не более 15%.

Однако в технических характеристиках автомобиля значения моментов инерции колес не приводятся. Случайные разрозненные сведения можно найти в научных отчетах, статьях и диссертациях. Поэтому специалисты, занимающиеся стендовыми испытаниями, сами измеряют эти значения, пытаются обобщить результаты измерений и вывести приближенные формулы для оценки моментов инерции колес без измерений, по размеру шины или ее массе (табл. 1)

Таблица 2 – Расчётные формулы определения момента инерции колеса

Расчетная формула	Источник
$I_k = 9,196 - 74 \cdot r_{cm} + 154 \cdot r_{cm}^2$	[2]
$I_k = -0,08 + 0,01 \cdot m$	[3], [4]
$I_k = -0,614 + 0,09 \cdot m$	[4]
$I_k = 12,9 - 103,2 \cdot r_{cm} + 214 \cdot r_{cm}^2$	[5]

В работе [5] были опубликованы данные о моментах инерции современных автомобильных колес, которые были измерены известным методом бифилярного подвеса [6]. Они заметно отличаются от рассчитанных по приведенным ранее аппроксимирующим формулам. И авторами было подобрано и предложено свое более точное выражение.

При пользовании выражением [5] ошибки достаточно велики (до 10%). Поэтому было высказано предположение, что причина этого – различный износ рисунка протектора шин [1], и для проверки были выполнены оценочные расчеты при допущениях, что беговая дорожка не имеет поперечной кривизны, а шина изнашивается равномерно по всей ширине.

Изношенный слой в этом случае является цилиндрическим кольцом малой толщины с моментом инерции [7]

$$\Delta I = 0,5 \cdot m \cdot (R_0^2 + R^2), \quad (6)$$

где m – масса цилиндрического кольца, кг; R_0 – радиус новой шины, м; R – радиус изношенной шины, м.

Масса цилиндрического кольца, т.е. изношенного слоя, составляет

$$m = \pi \cdot B \cdot \rho \cdot \varphi \cdot (R_0 - R) \cdot (R_0 + R) = \pi \cdot B_{III} \cdot \beta \cdot \rho \cdot \varphi \cdot (R_0^2 - R^2), \quad (7)$$

где B – ширина беговой дорожки протектора, м; $B = B_{III} \beta$ (B_{III} – ширина профиля шины; $\beta = 0,8 \dots 0,9$); ρ – плотность резины, кг/м³ (1150...1300 кг/м³); φ – коэффициент насыщенности рисунка протектора (0,6...0,95).

Итак, изменение момента инерции колеса ΔI в кг м² составит

$$\Delta I = 0,5 \cdot \pi \cdot B \cdot \rho \cdot \varphi \cdot (R_0^4 - R^4). \quad (10)$$

Далее авторами приводится перерасчет момента инерции колес с различным износом в момент инерции для новых колес и наполовину изношенных. Последнее значение рекомендуется для практического использования.

Как видно из таблиц 2 и 3, разброс расчетных значений $I_{0 \text{ корр}}$ невелик даже на шинах разных изготовителей; кроме того, на значение момента инерции практически не влияет материал диска. В равной мере такой подход применим к диагональным шинам. Следовательно, описанный метод оценки момента инерции шины в эксплуатации достаточно точен.

Однако для применения в практике диагностирования описанный метод недостаточно удобен т.к. измерение радиусов колес сопряжен с известными трудностями. При диагностировании колесного узла принято измерять глубину протектора. колеса в зависимости от степени износа протектора (а не измеренного радиуса колеса как предлагалось).

Таблица 2 - Показатели шин 195/65 R15 автомобиля Škoda Octavia [5]

Экспериментальные значения				Расчетные значения				
Шина	L / h, мм	m, кг; (материал диска)	I, кг·м ²	R, м	R ₀ , м	ΔI, кг·м ²	I ₀ корр, кг·м ²	I _{0,5} корр, кг·м ²
Matador камерная новая	1988 / 8	17,50 (стальн.)	0,8923	316,4	316,4	0	0,8923 (-0,41%)	0,7645
Matador бескамерная	1954 / 3	14,75 (алюм.)	0,7218	311,0	316,0	0,1596	0,8814 (-1,63%)	0,7531
Matador бескамерная	1955 / 3	15,10 (алюм.)	0,7430	311,1	316,1	0,1598	0,9028 (0,76%)	0,7743
Brillantis бескамерная	1964 / 1	13,92 (алюм.)	0,6657	312,6	319,6	0,2291	0,8948 (-0,13%)	0,7620
Brillantis бескамерная	1962 / 1	14,20 (алюм.)	0,6801	312,3	319,3	0,2284	0,9085 (1,4%)	0,7761
Средний по 5 шинам			0,7406				0,8960	0,7658

Таблица 3 – Показатели шин 165–13/6,45–13 автомобиля «Москвич-2140» [5]

Экспериментальные значения				Расчетные значения				
№ шины	L / h, мм	m, кг;	I, кг·м ²	R, м	R ₀ , м	ΔI, кг·м ²	I ₀ корр, кг·м ²	I _{0,5} корр, кг·м ²
2900	1904 / 6	14,21	0,6709	303,0	307,0	0,0805	0,7514	0,6805
	1898 / 5	13,6	0,6233	302,0	307,0	0,1001	0,7234	0,6525
1102	1914 / 9	14,97	0,7374	304,6	305,6	0,0201	0,7575	0,6876
	1901 / 7	14,6	0,6945	302,6	305,6	0,0598	0,7543	0,6844
1502	1895 / 8,5	15,11	0,7233	301,6	303,1	0,0294	0,7527	0,6845
	1891 / 8	14,7	0,6935	301,0	303,0	0,0391	0,7326	0,6644
2560	1898 / 5	13,6	0,6239	302,1	307,1	0,1002	0,7241	0,6532
Средние значения			0,6810				0,7423	0,6724

Поэтому мною была предпринята попытка использования изложенной методики [5] корректирования момента инерции. По формуле (10) были рассчитаны моменты инерции последовательно каждого миллиметра изношенного слоя колес с шагом износа протектора в 1 мм.

Таблица 4 – Результаты расчёта момента инерции каждого мм изношенного слоя шин 195/65 R15 автомобиля Škoda Octavia

Шина*	1-ый	2-ой	3-ий	4-ый	5-ый	6-ой	7-ой	8-ой
1	0,0273	0,0271	0,0268	0,0266	0,0263	0,0261	0,0258	0,0256
2	0,0272	0,0270	0,0267	0,0265	0,0262	0,0260	0,0257	0,0255
3	0,0273	0,0270	0,0267	0,0265	0,0262	0,0260	0,0257	0,0255
4	0,0282	0,0279	0,0277	0,0274	0,0271	0,0269	0,0266	0,0264
5	0,0281	0,0278	0,0276	0,0273	0,0271	0,0268	0,0265	0,0263

*Порядок шин в соответствии с таблицей 2

Таблица 5 – Результаты расчета момента инерции каждого мм изношенного слоя шин 165–13/6,45–13 автомобиля «Москвич-2140»

№ Шины	1-ый	2-ой	3-ий	4-ый	5-ый	6-ой	7-ой	8-ой
2900	0,0204	0,0202	0,0200	0,0198	0,0196	0,0194	0,0192	0,0191
1102	0,02	0,0198	0,0196	0,0194	0,0192	0,0191	0,0189	0,0187
1502	0,0201	0,0199	0,0197	0,0196	0,0194	0,0192	0,0190	0,0188
2560	0,0196	0,0195	0,0193	0,0191	0,0189	0,0187	0,0185	0,0183

Исходя из анализа влияния остаточной глубины протектора на момент инерции колеса можно рекомендовать диагностам следующее:

- приводить экспериментально измеренные моменты инерции к состоянию новых колес по методике, изложенной в [5].

- вносить поправки по табличным значениям, в зависимости от остаточной глубины рисунка протектора на конкретных шинах.

Предложения, высказанные в этой работе, позволяют устранить разброс моментов инерции колес связанные с различной степенью их износа.

К сожалению, описанными методами мы не устраним разброс моментов инерции, вызванный отклонениями массы и радиуса шины при изготовлении.

Литература

1. Рабинович Э.Х., Зуев В.А., Мармут И.А. Обоснование выбора инерционной массы стенда с беговыми барабанами для передвижных диагностических станций // Вестник Национального технического университета «ХПИ» № 14, 2001.–с. 148-152.

2. Иванов С.Н., Баженов П.И. Аппроксимирующие зависимости для определения моментов инерции // Автомобильная промышленность. – 1992, № 10. – с. 19 – 20.

3. Петров М.А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме.– Западно-Сибирское книжное издательство, Омское отделение, 1973.–224 с., ил.

4. Кнороз В.И., Шелухин А.С. Моменты инерции автомобильных колес // Автомобильная промышленность. – 1960, № 9 – с. 22 – 23.

5. Рабинович Э.Х. Учет моментов инерции автомобильных колес в задачах диагностики тормозных и тяговых свойств / Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев // Сб. «Транспорт, экология – устойчиво развитие». XIII научно-техническа конференция с международно участие. ЕКОВАРНА '2007. Технически университет – Варна. Кафедра «Транспортна техника и технологии». С. 709-715.

6. Гернет В.Н., Ратобыльский А.М. Определение моментов инерции тел. – Киев: Высшая школа, 1982. – 150 с.

7. Справочник машиностроителя в шести томах. Под ред. Н. С. Ачеркана. Том 1. М.: Машгиз, 1960. 592 с., ил.

Научный консультант: Зуев В.А., асс. каф. ТЭСА