

УДК 629.11

Е.А. Максимов¹, Е.П. Устиновский²

¹НТПП "Интрай", г. Челябинск

²Южноуральский государственный университет

ЮУрГУ, г. Челябинск

¹maksimov50@mail.ru; 8-9514-30-68-31

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖЕСТКОСТИ ШИНЫ ПРИ УДАРНОЙ НАГРУЗКЕ

Проанализированы нежелательные последствия возникающие при ударной нагрузке на колесо при наезде автомобиля на препятствия: бордюры, неровности дороги, выбоины, к которым можно отнести биение колеса, деформацию обода, утечку воздуха из шины. Представлена методика расчета нагружения колеса при статическом и динамическом нагружении при ударе. Разработаны зависимости для расчета: прогиба шины, коэффициента динамичности, жесткость шины при статическом и динамическом нагружении при ударе. Показано, что при динамическом нагружении в результате удара жесткость шины снижается по сравнению со статическим нагружением: для автомобиля Урал 4320 на 15,9 %, для автомобиля Урал 375 на 15,8 %.

Ключевые слова: ударная нагрузка на колесо; статическая и динамическая нагрузки; шина колеса; эластичные свойства шины.

При эксплуатации часто возникают ситуации, связанные с наездом колеса автомобиля на препятствия ступенчатого типа (бордюры, неровности дороги, выбоины и др.) при которых колесо испытывает ударные нагружения [1–3]. Усилия, действующие на колесо при ударе, обычно существенно превышают усилия, возникающие при статическом воздействии на колесо при движении по ровной дороге. Ударное нагружение может привести к биению колеса, деформации обода, утечке воздуха из шины и др.

Задача при расчете на ударную нагрузку содержит много сложностей. Например, необходимость учета при резких ударах дополнительных степеней свободы эластичного колеса (перемещение шины в поперечном направлении), влиянием которых при других видах нагружения можно пренебречь [4–6].

Обычно под ударом понимается явление, возникающее при столкновении двух тел. При ударе за небольшой промежуток времени (доли секунды) происходит резкое изменение относительных скоростей двух тел. В результате этого возникают значительные упругие силы.

Схема нагружения колеса представлена на рисунке.

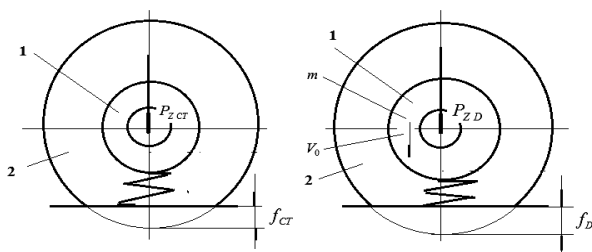


Схема нагружения колеса статической и динамической вертикальной силой: $P_{Z CT}$ – вертикальная сила при статическом нагружении; $P_{Z D}$ – вертикальная сила при динамическом нагружении; f_{CT} – прогиб шины при статическом нагружении; f_D – прогиб шины при динамическом нагружении; m – масса диска; V_0 – начальная скорость движения диска; 1 – диск; 2 – шина

Рассмотрим движение диска под действием вертикальной силы при динамическом нагружении в результате удара в вертикальном направлении.

Диск колеса автомобиля, имеющий массу m с начальной скоростью V_0 движется в вертикальном направлении и останавливается при ударе об эластичную шину. После того, как диск коснулся шины, его скорость будет замедляться.

При этом, когда кинетическая энергия диска перейдет в потенциальную энергию эластичной шины, диск полностью остановится.

Далее начнется движение в обратном направлении. При этом сила взаимодействия между диском и эластичной шиной будет уменьшаться. Когда эластичная шина полностью распрямится, диск получит прежнюю скорость, но в обратном направлении.

Уравнение гармонических колебаний при совместном движении диска и эластичной шины в вертикальном направлении запишем в виде [7, 8]:

$$\xi = C_1 \sin \omega t + C_2 \cos \omega t, \quad (1)$$

где ξ – перемещение диска в вертикальном направлении под действием ударной нагрузки, ω – частота собственных колебаний диска в вертикальном направлении, t – время, C_1, C_2 – постоянные коэффициенты.

Начальные условия запишем в виде:

$$\text{при } t = 0, \quad \xi = 0, \quad (2)$$

$$\text{при } t = 0, \quad \xi^* = 0, \quad (3)$$

где ξ – перемещение диска под действием ударной нагрузки,

ξ^* – изменение скорости перемещения диска под действием ударной нагрузки. Постоянные коэффициенты C_1, C_2 определим из начальных условий (2), (3):

$$C_1 = \frac{V_0}{\omega}, \quad C_2 = 0, \quad (4)$$

где V_0 – начальная скорость перемещения диска под действием ударной нагрузки. Подставляя (4) в (1) при $\sin \omega t = 1$, получим:

$$\xi_{MAC} = \frac{V_0}{\omega}, \quad (5)$$

где V_0 – начальная скорость перемещения диска под действием ударной нагрузки; ω – частота собственных колебаний диска, соединенного с шиной при ударной нагрузке; $\omega^2 = 1/\delta m$ (m – масса диска; δ – перемещение массы диска).

Вертикальную силу, сжимающую эластичную шину, при статическом нагружении определим по формуле:

$$P_{ZD} = \frac{\xi_{MAC}}{\delta} = \frac{V_0}{\omega \delta}, \quad (6)$$

где δ – перемещение массы диска под действием статически приложенной единичной силы.

Уравнение энергетического баланса запишем в виде равенства кинетической энергии движущегося в вертикальном направлении диска и потенциальной энергии сжатой эластичной шины:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{1}{2} P_{ZD}^2 \delta \quad \text{или} \quad f_D^2 = 2m g f_D + 2\delta K, \quad (7)$$

где f_D – прогиб шины при динамическом нагружении; m – масса диска; K – кинетическая энергия диска в момент соприкосновения с шиной.

Решив последнее уравнение относительно f_D^2 , получим

$$f_D^2 - 2 f_{CT} f_D - 2\delta K = 0, \quad (8)$$

где f_{CT} – прогиб шины под действием статически приложенной вертикальной силы; $\delta mg = f_{CT}$ (g – ускорение свободного падения).

После упрощений уравнения (8), получим

$$f_D = f_{CT} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2\delta K}{f_{CT}^2}} \right]. \quad (9)$$

Последнее уравнение запишем в виде:

$$f_D = \chi f_{CT}, \quad (10)$$

где $\chi = 1 + \sqrt{1 + \frac{2\delta K}{f_{CT}^2}}$ – коэффициент динамичности.

Коэффициент динамичности при ударе показывает во сколько раз прогиб шины, полученный при динамическом нагружении, больше прогиба при статическом.

При статическом и динамическом нагружениях жесткость шины определим по формулам:

$$C_{CT} = \frac{P_{ZCT}}{f_{CT}}, \quad C_D = \frac{P_{ZD}}{f_D}. \quad (11)$$

Расчет жесткости шины при статическом и динамическом нагружениях представлен в таблице.

Автомобиль	P_{ZD}	P_{ZCT}	f_{CT}	f_D	C_{CT}	C_D
–	Н	Н	мм	мм	Н/мм	Н/мм
Урал 4320*	23200	23000	112,6	135,12	204,2	171,7
Урал 375	21860	21660	100,1	120,1	216,3	182,0

*В таблице масса диска 23 кг, масса шины 11 кг.

Анализ данных, приведенных в таблице, показал, что при динамическом нагружении жесткость шины снижается по сравнению со статическим нагружением:

- для автомобиля Урал 4320 на 15,9 %,
- для автомобиля Урал 375 – на 15,8 %.

Заключение

1. Проанализированы нежелательные последствия, возникающие при ударной нагрузки на колесо, при наезде автомобиля на препятствия: бордюры, неровности дороги, выбоины.

2. Представлена методика расчета нагружения колеса при ударе.

3. Разработаны зависимости для расчета: прогиба шины, коэффициента динамичности, жесткости шины при статическом и динамическом нагружениях при ударе.

4. Показано, что при динамическом нагружении в результате удара жесткость шины снижается по сравнению со статическим нагружением:

- для автомобиля Урал 4320 на 15,9%,
- для автомобиля Урал 375 – на 15,8 %.

Библиографический список

1. *Демьянушко И.В.* Расчет и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния автомобильных колес на статическую нагрузку. М.: Изд-во МАДИ, 2004. 48 с.
2. *Стуканов В.А.* Устройство автомобилей. М.: Форум, 2017. 496 с.
3. *Савельев Г.В.* Автомобильные колеса. М.: Машиностроение, 1983. 151 с.
4. *Кнороз В.И., Кленников Е.В.* Шины и колеса. М.: Машиностроение, 1975. 183 с.
5. *Зубарев Н.А.* Исследование долговечности дисков автомобильных колес. Автомобильная промышленность. 1970. № 3. С. 23–25.
6. *Демьянушко И.В.* Моделирование процесса ударного нагружения колес автомобиля. М.: Изд-во МАДИ, 1996. С. 37.
7. *Балабин И.В., Путин В.А., Чабунин И.С.* Автомобильные и тракторные колеса и шины. МГТУ, МАМИ. 2012. 920 с.
8. *Зубчанинов В.Г.* Основы теории упругости и пластичности. М.: Высшая школа, 2000. 368 с.