

значение коэффициента сцепления $\phi_X = \frac{\tau_K}{R_Z}$. Все алгоритмы работы АБС отличаются степенью точности поддержания режима $\phi_X = \max$ или отношения $\frac{l_C}{l} = 0,1 \dots 0,3$, где l_C – величина участка скольжения. При $\frac{l_C}{l} = 1$ начнет происходить полное скольжение колеса.

Принимаем в качестве объекта управления (ОУ) процесс контактирования шины с дорогой. Регулируемой величиной g здесь является отношение

$$g = \frac{l_C}{l}, \quad (1)$$

а задающим воздействием τ_K , значение которого контролирует модулятор.

Процесс движения колеса со скоростью V_X описывается уравнением [4]

$$\left[\left(1 - \frac{V_X^2}{C_1^2} \right) \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] \cdot \left[\left(1 - \frac{V_X^2}{C_2^2} \right) \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right] = 0, \quad (2)$$

где $C_1 = \sqrt{(\lambda + 2G) \cdot \rho}$ – скорость волн растяжения-сжатия, м/с;

$C_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ – скорость поверхностных волн, м/с;

$$V_X = \frac{dx}{dt};$$

$$\lambda = \frac{E \cdot \nu}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}, \text{ мПа;}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \text{ мПа;}$$

ρ – плотность покрытия, кг/м³;

$$\theta = \frac{\partial U_X}{\partial x} + \frac{\partial U_Y}{\partial y}.$$

При этом следует различать два участка контакта: l_1 – участок, где осуществляется сцепление шины с дорогой и l_2 – участок, где имеет место проскальзывание. На участке l_2

$$\tau_{XZ} + \phi \cdot \sigma_Z = 0, \quad (3)$$

на участке l_1

$$V_X - \omega \cdot r_K + \frac{dU_X'}{dt} = \frac{dU_X''}{dt}, \quad (4)$$

где τ_{XZ} , σ_Z – касательное и нормальное напряжение в площадке контакта, мПа;

ω – угловая скорость, с⁻¹;

r_K – динамический радиус колеса, м;

U_X' , U_X'' – перемещения точек шины и поверхности дороги, м.

Задача (2) – (4) имеет решение [4]

$$\sigma_Z = \frac{E \cdot \left(\sqrt{2 \cdot \frac{(1 - \nu^2)}{\pi \cdot E}} \cdot r \cdot G_K \cdot \phi_X - t \right)^m}{2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{1 - 2 \cdot \nu}{2 \cdot (1 - \nu)} \right)^2} \cdot \phi_X^2}, \quad (5)$$

$$\sigma_X = \frac{\phi_X \cdot E}{4 \cdot (1 - \nu^2) \cdot r} \cdot \sqrt{l^2 - x^2}, \quad (6)$$

где E – модуль упругости материала шины, мПа;

ν – коэффициент Пуассона;

G_K – нагрузка на колесо, Н;

r – текущее значение радиуса колеса, м ($r \leq r_K$);

$$m = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \cdot \arctg \frac{1-2 \cdot \nu}{2 \cdot (1-\nu)} \cdot \varphi_X$$

С помощью выражений (2) и (6) находим значения перемещения их при любом r

$$U_X = \frac{1}{E} \cdot \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} (\sigma_X - \nu \cdot \sigma_Z) \cdot dx, \quad (7)$$

а через выражение (7) можно найти искомую величину l_C :

$$l_C(t) = 2 \cdot \frac{1}{\varphi_X} \cdot r_K \cdot U_X(t). \quad (8)$$

Тормозная сила, действующая по линии l , равна

$$\tau_T = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \sigma_X dx, \quad (9)$$

а регулирующая величина тормозного момента на тормозном барабане составляет

$$M_T = (r_K - h) \cdot \tau_K = r_K \cdot \tau_T. \quad (10)$$

Отсюда, из выражения (9) и (10), можно найти задающее воздействие τ_T

$$\tau_T = \frac{r_K}{r_K - h} \cdot \tau_K. \quad (11)$$

Основной моделью объекта управления является передаточная функция

$$W_0(p) = \frac{l_C(p)}{\tau_K(p)}, \quad (12)$$

где $l_C(p)$ и $\tau_K(p)$ – изображения по Лапласу функций $l_C(t)$ и $\tau_K(t)$.

После преобразований выражения (12) передаточная функция процесса примет вид

$$W_0(p) = \frac{R}{\rho^{m+1}} \exp\left(-\frac{1}{b} \cdot p\right), \quad (13)$$

где $b = \sqrt{\frac{2(1-\nu^2)}{\pi E} \cdot r \cdot G_K \cdot \varphi_X}$, $R = \frac{\varphi_X E^2}{8(1-\nu^2)^2 r} \cdot \sqrt{l^2 - x^2}$.

Алгоритм управления. Цель управления, состоящую из датчика U_X , установленного на радиусе r_U , устройства, сравнивающего $l_C(t)$ с допустимым значением $[l_C t]$, исполнительного механизма – модулятора, вырабатывающего сигнал τ_K , и процесса (13) можно представить передаточной функцией вида

$$W(p) = W_0(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p), \quad (14)$$

где $W_1(p) = \frac{k_1}{1+T_1 \cdot p}$ – передаточная функция датчика перемещений U_X ;

$W_2(p) = k_2$ – передаточная функция усилительно-преобразовательного устройства;

$W_3(p) = \frac{k_3}{1+T_3 \cdot p + T_4^2 \cdot p^2}$ – передаточная функция модулятора.

После преобразования выражения (14) $W(p)$ запишется в виде:

$$W(p) = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot R \cdot \exp\left(-\frac{p}{b}\right)}{p^{m+1}(1+T_1 \cdot p) \cdot (1+T_3 \cdot p + T_4^2 \cdot p^2)}. \quad (15)$$

Схема работает следующим образом. Датчик U_X , управляемый в точке $x=0$, $z=0$, определяет величину U_X , по которой вычисляется l_C на радиусе $r=r_K$, затем полученная величина сравнивается $l_C \leq [l_C]$. Если $l_C \geq [l_C]$, то τ_T снижается.

Выводы. Управление процессом торможения по результатам измерения U_X позволяет повысить эффективность антиблокировочной системы.

Направление дальнейшего исследования. Для дальнейшего повышения эффективности АБС необходимо рассмотреть уточненную модель процесса контактирования шины с дорогой, в которой можно ввести третью координату y , позволяющую учитывать результаты дополнительных эффектов данного процесса, таких как, аквапланирование и тепловые деформации протектора.

Библиографический список

1. Коневцов М. Активная безопасность АТС. Проблемы и решения / М. Коневцов // Автомобильная промышленность. — 2006. — № 5. — С. 28–29.
2. Марти А. К вопросу об АБС, работающей в режиме реального времени / А. Марти, С. Занозин // Автомобильная промышленность. — 2006. — № 7. — С. 24–27.
3. Марти А. К вопросу об АБС, работающей в режиме реального времени / А. Марти, С. Занозин // Автомобильная промышленность. — 2006. — № 8. — С. 23–26.
4. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости / Л.А. Галин. — М.: Наука, 1980. — 304 с.

Поступила в редакцию 11.12.2008 г.