

В одной из таких конструкций (рис. 4) с одной из шестерен промежуточного вала (11) коробки передач зацепляется вал синхронизатора (10). На одном конце вала установлен тормоз (7), а на другом – муфта (8), с помощью которой вал может быть соединен с электродвигателем (9). По сигналам устройства управления (6) происходит включение тормоза или муфты и тем самым разгон или замедление промежуточного вала коробки передач до достижения синхронного вращения ведущих и ведомых частей зубчатых муфт. Синхронизатор начинает работать после выключения сцепления (12), которое включается снова после окончания процесса синхронизации и включения нужной передачи. В другой конструкции синхронизация достигается совместной работой тягового двигателя автомобиля и насоса системы смазки коробки передач.

Для уменьшения частоты вращения ведущих частей коробки передач в процессе синхронизации может использоваться тормоз, устанавливаемый на первичном или промежуточном валу. Этот процесс происходит при выключенном сцеплении. Для разгона ведущих элементов коробки в этих конструкциях используется двигатель автомобиля, причем сцепление не выключается. Совместной работой двигателя, сцепления, тормоза и механизма переключения передач управляет логический блок. По такой схеме построено автоматизированное управление коробкой передач фирмы Bosch и некоторые другие конструкции.

УДК 629.113.012.3

И.М. Флерко, В.Е. Сиволобчик

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЗАТОРМАЖИВАЕМОГО КОЛЕСА, ОБОРУДОВАННОГО ПРОТИВОБЛОКИРОВОЧНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Решение проблемы внедрения противоблокировочных устройств (ПБУ) в тормозные системы автомобилей требует проведения в больших объемах экспериментальных и теоретических исследований.

Для расчета параметров движения затормаживаемого колеса, оборудованного ПБУ, очень важно разработать математические модели.

Ниже приводится упрощенная математическая модель движения затормаживаемого колеса, оборудованного ПБУ, которая позволяет рассчитать параметры движения колеса при торможе-

нии с ПБУ, может быть использована при отработке алгоритма функционирования ПБУ, оценке влияния отдельных параметров ПБУ или его отдельных элементов на динамику колеса.

Математическая модель разработана с учетом следующих условий:

- 1) рассматривается процесс торможения одиночного колеса;
- 2) вертикальная нагрузка на колесо в процессе торможения не изменяется;
- 3) коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью в процессе блокирования не изменяется;
- 4) тормозной момент на колесе при затормаживании и от-тормаживании изменяется в функции времени по линейному закону.

Движение колеса, оборудованного ПБУ, описывается следующими уравнениями:

а) затормаживание

$$\text{если } M_T < M_T^* ,$$

$$M_T = k_M t ;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -AM_T ;$$

$$\omega = \omega_0 - \frac{Ak_M t^2}{2} \quad (1)$$

$$v = r\omega ;$$

$$\frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} ,$$

$$\text{если } M_T^* < M_T < M_{T \max} , \omega > 0 ,$$

$$M_T = k_M (t - \tau_1) + M_T^* ;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = - \frac{M_T - M_{сш}}{J} ; \quad (2)$$

$$\omega = \omega_{\tau_1} - \frac{k_M}{2I} (t^2 + \tau_1^2) - \frac{M_T^* - M_{сш}}{J} (t - \tau_1) + \frac{k_M \tau_1}{J} t ;$$

$$v = v_{\tau_1} - r g (t - \tau_1) ;$$

$$\frac{dv}{dt} = -\varphi g ,$$

если  $M_T = M_T \max , \omega > 0,$

$$M_T = M_T \max ;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{M_T - M_{\text{сн}}}{J} ;$$

$$\omega = \omega_{\tau_2} - \frac{M_T - M_{\text{сн}}}{J} (t - \tau_2); \quad (3)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\varphi g ;$$

$$v = v_{\tau_2} - \varphi g (t - \tau_2),$$

если  $\omega = 0, M_T = M_{\text{сн}} ,$

$$M_T = M_{\text{сн}} ;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 ;$$

$$\omega = 0 ;$$

$$\frac{dv}{dt} = -\varphi g ;$$

$$v = v_{\tau_3} - \varphi g (t - \tau_3);$$

б) растормаживание

если  $\omega > 0 ,$

$$M_T = M_T' - k_M' (t - \tau_4);$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{M_T' - k_M' (t - \tau_4) - M_{\text{сн}}}{J} ;$$

$$\omega = \omega_{\tau_4} - \frac{M_T' - M_{\text{сн}}}{J} (t - \tau_4) + \frac{k_M'}{2J} (t^2 + \tau_4^2) - \frac{k_M'}{J} \tau_4 t ; \quad (5)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\varphi g ;$$

$$v = v_{\tau_4} - \varphi g (t - \tau_4) ;$$

если  $\omega = 0$ ,

$$M_T = M'_T - k'_M t ;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 ;$$

(6)

$$\omega = 0 ;$$

$$\frac{dv}{dt} = - \varphi g ;$$

$$v = v_{\tau_5} - \varphi g (t - \tau_5) ,$$

если  $M_T > 0$ ,

$$M_T = M'_T - k'_M (t - \tau_6) ;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{CH} - M_T}{J} ;$$

$$\omega = \omega_{\tau_6} - \frac{M_{CH} - M'_T}{J} (t - \tau_6) + \frac{k'_M}{2J} (t^2 + \tau_6^2) - \frac{k'_M}{J} \tau_6 t ;$$

(7)

$$\frac{dv}{dt} = - \varphi g ;$$

$$v = v_{\tau_6} - \varphi g (t - \tau_6) ,$$

если  $M_T = 0$ ,  $v > r\omega$ ,

$$M_T = 0 ;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{CH}}{J} ;$$

$$\omega = \omega_{\tau_7} + \frac{M_{CH}}{J} (t - \tau_7) ;$$

(8)

$$\frac{dv}{dt} = - \varphi g ;$$

$$v = v_{\tau_7} - \varphi g (t - \tau_7) ,$$

если  $M_T = 0, v = r\omega$ ,

$$M_T = 0;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 0;$$

$$\omega = \omega_{\tau_8}, \quad (9)$$

$$\frac{dv}{dt} = 0;$$

$$v = v_{\tau_8},$$

если  $M_T > 0, v = r\omega$ ,

$$M_T = M_T' - k_M'(t - \tau_9);$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -AM_T';$$

$$\omega = \omega_{\tau_9} - AM_T'(t - \tau_9) + \frac{A k_M'}{2} (t^2 + \tau_9^2) - A k_M' \tau_9 t; \quad (10)$$

$$\frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt};$$

$$v = r\omega,$$

$$\text{где } A = \frac{1}{J + \frac{G}{g} r^2}.$$

В формулах приняты следующие обозначения:

$M_T$  - тормозной момент на колесе, Н·м;

$k_M'$  и  $k_M''$  - темп изменения тормозного момента соответственно при затормаживании и оттормаживании, Н·м/с;

$\omega$  - угловая скорость колеса, с<sup>-1</sup>;

$J$  - момент инерции колеса, Н·м·с<sup>2</sup>;

$G$  - вертикальная нагрузка на колесе, Н;

$g$  - ускорение свободного падения, м·с<sup>-2</sup>;

$r$  - радиус колеса, м;

$\omega_0$  - угловая скорость колеса в начале торможения, с<sup>-1</sup>;

$v$  - поступательная скорость оси колеса, м·с<sup>-1</sup>;

$M_T^*$  - значение тормозного момента, соответствующее началу блокирования колеса, Н · м ;

$M_{сц}$  - момент силы сцепления, Н · м ;

$\varphi$  - коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью ;

$M_{T \max}$  - максимальное значение тормозного момента, обеспечиваемое конструкцией тормоза и привода, Н · м ;

$\tau_1$  - момент времени, соответствующий началу блокирования колеса, с ;

$\tau_2$  - момент времени, когда тормозной момент достигнет значения  $M_{T \max}$ , с ;

$\tau_3$  - момент времени, когда угловая скорость упадет до нуля (колесо заблокируется) в процессе затормаживания, с ;

$\tau_4$  - момент времени, соответствующий началу растормаживания колеса, с ;

$M_T^1$  - значение тормозного момента в начале растормаживания, Н · м ;

$\tau_5$  - момент времени, когда в процессе растормаживания колесо заблокируется, с ;

$\tau_6$  - момент времени, соответствующий началу разблокирования колеса, с ;

$\tau_7$  - момент времени, когда в процессе разблокирования колеса тормозной момент упадет до нуля, с ;

$\tau_8$  - момент времени, соответствующий полному разблокированию колеса, с ;

$\tau_9$  - момент времени, соответствующий моменту подачи сигнала на повторное затормаживание, с.

Системы уравнений (1) . . . (10) описывают движение колеса с ПБУ во всех возможных случаях. Система уравнений (1) описывает процесс затормаживания колеса до начала блокирования. Системы уравнений (2) . . . (4) описывают процесс блокирования колеса с ПБУ.

В начале блокирования колеса (при определенной величине углового замедления колеса) подается команда на растормаживание. Однако в течение времени запаздывания ПБУ (от момента подачи команды на растормаживание до его начала) возможны следующие случаи:

1) тормозной момент не достигнет значения  $M_{T \max}$ . В этом случае движение колеса описывается системой уравнений (2) ;

2) тормозной момент в какой-то момент времени  $\tau_2$  достигнет значения  $M_{T \max}$ . Тогда до момента времени  $\tau_2$  движение колеса описывается уравнениями (2), а после - уравнениями (3);

3) возможно, что в течение времени запаздывания ПБУ колесо успеет заблокироваться в какой-то момент времени  $\tau_3$ . Тогда при  $t \geq \tau_3$  движение колеса описывается уравнениями (4).

Уравнения (5) и (6) описывают процесс растормаживания колеса.

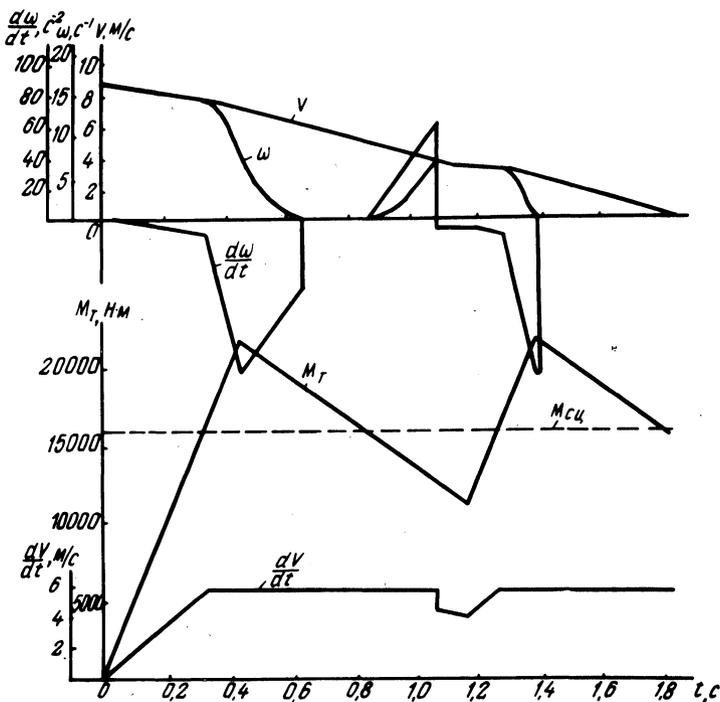


Рис. 1. График движения затормаживаемого колеса, оборудованного ПБУ.

Уравнения (5) справедливы для случая, когда к моменту начала разблокирования колеса последнее не успеет заблокироваться полностью ( $\omega > 0$ ). Если же в процессе растормаживания колесо в какой-то момент времени  $\tau_5$  успеет полностью заблокироваться, то до этого момента времени движение колеса определяется уравнениями (5), а после - уравнениями (6).

Движение колеса в процессе разблокирования описывается уравнениями (7) и (8). Пока тормозной момент не снизится до нуля, движение колеса описывается уравнениями (7).

Если же в какой-то момент времени  $\tau_7$  тормозной момент станет равным нулю, то после  $\tau_7$  движение колеса описывается уравнениями (8).

Уравнения (9) описывают движение колеса после окончания процесса разблокирования в случае, если тормозной момент снизился до нуля к моменту окончания разблокирования.

Если же к этому моменту времени тормозной момент не снизился до нуля, то движение колеса описывается уравнениями (10).

На основе математической модели была составлена блок-схема решения задачи и разработана программа на языке АП для решения на ЭВМ "Наири-2".

На машине выполнены расчеты применительно к колесам автомобиля МАЗ-500 для двухфазного цикла регулирования. Сигнал на растормаживание колеса подается при угловом замедлении  $\varepsilon = 20 \text{ с}^{-2}$ , на повторное затормаживание - в момент, когда  $v = r \omega$ .

На рис. 1 представлен график движения затормаживаемого колеса, оборудованного ПБУ, рассчитанный для следующих условий:

$$G = 50000 \text{ Н}, J = 56 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2, r = 0,54 \text{ м}, \varphi = 0,6, k_M = 50000 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{с}, k_M^I = 15000 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{с}, M_T \max = 22000 \text{ Н} \cdot \text{м}, v = 8,89 \text{ м} / \text{с}, t_3 = 0,1 \text{ с} \text{ (время запаздывания ПБУ)}.$$

УДК 629.113.073

И.М. Флерко, В.Е. Сиволобчик

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОБЛОКИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Эксперименты по исследованию процесса торможения автомобилей, оборудованных противоблокировочными устройствами (ПБУ), показывают, что ПБУ позволяют значительно повысить устойчивость автомобиля против заноса [1, 2, 5].