

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].

Дальнейшее совершенствование ПБУ, разработка методов теоретического исследования движения автомобиля при торможении с ПБУ требуют правильного объяснения физической сущности повышения устойчивости автомобиля при этом торможении.

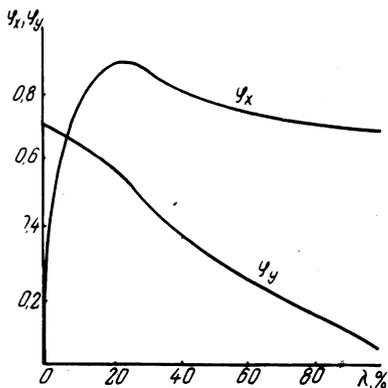


Рис. 1. Зависимость  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$  от относительного проскальзывания.

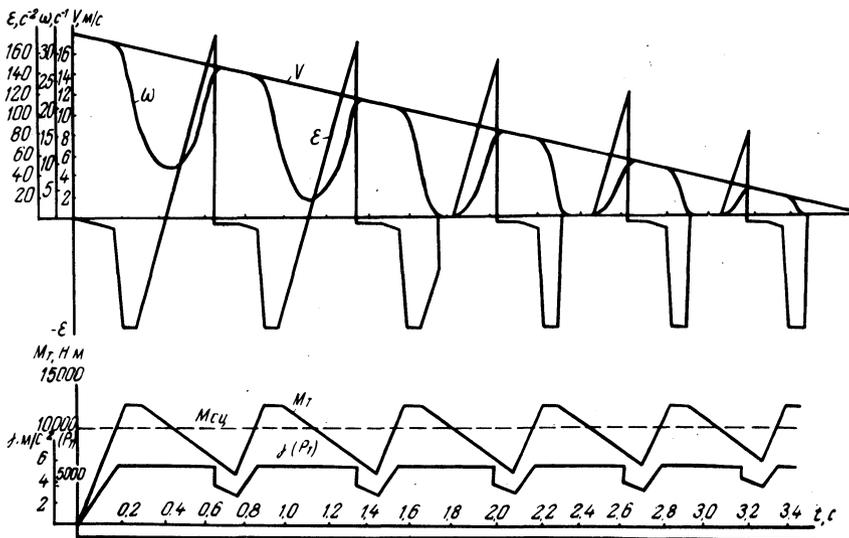


Рис. 2. Движение затормаживаемого колеса, оборудованного ПБУ.

Сейчас принято объяснять физическую сущность повышения устойчивости автомобиля при торможении с ПБУ с помощью графика, изображенного на рис. 1 [3, 6]. На этом графике изображены зависимости коэффициентов продольного и поперечного сцепления от величины относительного проскальзывания

колеса. Улучшение устойчивости автомобиля против заноса при торможении с ПБУ объясняется характером протекания кривых зависимостей  $\varphi_x = f(\lambda)$  и  $\varphi_y = f(\lambda)$ . При значениях относительного проскальзывания, соответствующих максимальному значению коэффициента сцепления в продольном направлении  $\varphi_x$ , коэффициент сцепления в поперечном направлении  $\varphi_y$  тоже имеет высокие значения. А при движении полностью заблокированного колеса коэффициент сцепления в поперечном направлении близок к нулю. Поэтому ПБУ, поддерживающее движение затормаживаемого колеса в зоне оптимального относительного проскальзывания (где  $\varphi_x$  имеет максимальное значение), позволяет повысить устойчивость автомобиля против заноса.

Проанализируем обоснованность такого объяснения. Прежде всего отметим, что в литературе совершенно отсутствуют сведения о методике экспериментов по получению зависимости  $\varphi_y = f(\lambda)$ .

Известно, что максимальное значение реакции, которая может действовать в контакте колеса с опорной поверхностью дороги, определяется коэффициентом сцепления. Если значение удельной тормозной силы, приложенной к колесу, достигнет величины коэффициента сцепления, то при дальнейшем увеличении тормозного момента на колесе имеет место блокирование последнего. Поэтому блокирующееся колесо не может создавать реакции боковым силам.

Значит, должно быть другое объяснение сущности повышения устойчивости автомобиля против заноса при торможении с ПБУ.

Будем учитывать тот факт, что ПБУ представляет собой систему автоматического регулирования и выходные параметры системы (в частности, повышение устойчивости против заноса) определяются не только сцепными свойствами колеса (объекта регулирования), но и свойствами других элементов системы регулирования (датчиков, исполнительного органа).

Объяснить физическую сущность улучшения устойчивости автомобиля против заноса при торможении с ПБУ помогает график движения затормаживаемого колеса, оборудованного ПБУ (рис. 2).

На этом графике показано изменение тормозного момента  $M_T$  на колесе, угловой скорости колеса  $\omega$ , линейной скорости центра колеса  $v$ , углового замедления колеса  $\varepsilon$ , линейного замедления оси колеса  $j$ , тормозной силы  $P_T$ .

Этот график построен расчетным путем для заднего колеса автомобиля МАЗ-500.

Анализ графика показывает, что в цикле регулирования имеется отрезок времени, в течение которого тормозная сила меньше предельного значения, определяемого условиями сцепления колеса с опорной поверхностью. А это значит, что в эти промежутки времени колесо может создавать реакцию боковым силам, равную

$$R_y = \sqrt{(\varphi G)^2 - P_T^2}, \quad (1)$$

где  $R_y$  – реакция боковым силам;  $\varphi$  – коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью;  $G$  – вертикальная нагрузка на колесо;  $P_T$  – тормозная сила на колесе.

Согласно выражению (1), можно подсчитать, что если  $P_T$  даже чуть меньше  $\varphi G$ , то этого уже достаточно, чтобы колесо могло создавать значительную реакцию боковым силам. Например, при  $P_T = 0,94 \varphi G$   $R_y = 0,436 \varphi G$ , при  $P_T = 0,95 \varphi G$   $R_y = 0,312 \varphi G$  [4, с. 32].

Если же боковая сила, приложенная к колесу, больше  $R_y$ , определенного по выражению (1), то неизбежно появление бокового скольжения.

Таким образом, физическая сущность повышения устойчивости автомобиля против заноса при торможении с ПБУ заключается в том, что в процессе работы ПБУ в каждом из циклов регулирования имеется промежуток времени, в течение которого тормозная сила на колесе меньше предела по сцеплению. В это время колесо может создавать реакцию боковым силам без бокового скольжения, величина которой определяется из соотношения (1).

Наличие такого промежутка времени обеспечивается тем, что в процессе работы ПБУ в фазе растормаживания имеет место перерегулирование, в результате которого тормозная сила на колесе оказывается меньше предела по сцеплению.

При разработке ПБУ необходимо решать компромиссную задачу, чтобы обеспечить некоторое излишнее растормаживание колеса в процессе работы ПБУ, в то же время это излишнее растормаживание должно быть таким, чтобы оно не приводило к существенному уменьшению интенсивности торможения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ломака С.И. Исследование влияния противоблокировочных устройств на процесс торможения автомобиля. Автореф. канд. дис. Харьков, 1968.
2. Юдаков Б.Ф. Исследование ус-

гойчивости и управляемости при торможении с антиблокировочными устройствами. Автореф. канд. дис. М., 1969. 3. Петров М.А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме. Омск, 1973. 4. Певзнер Я.М. Исследование устойчивости автомобиля при заносе. М., 1937. 5. Madison R.H., Riordan Hugh E. Evoliton of suretrack bracke sistem.- "SAE preprint", 1969. N1213. 6. Harned J.L., Johnston L.E., Scharpf G. Measurement of tire bracke force characteristics as related to wheel slip (anti-lock control system design.- "SAE Preprint", s. a., N690214.

УДК 629.113

В.В. Мочалов

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОБЛОКИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

Настоящая работа посвящена исследованию односигнального противоблокировочного устройства (ПБУ) с прогнозированием скорости колеса для автомобилей особо большой грузоподъемности. В известных устройствах [1, 2, 3] электронно-решающий блок (ЭРБ) ПБУ вырабатывает сигнал, прогнозирующий поведение скорости колеса при торможении без юза. Для исследования зависимости прогнозируемой скорости от параметров процесса торможения составлена математическая модель. Она включает в себя уравнения движения колеса автомобиля при торможении [4], уравнения динамики гидравлического тормозного привода [5] и уравнения, описывающие алгоритм работы ЭРБ.

Движение колеса при торможении описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{v}_k = \frac{G_{ак} r^2}{J_k} \varphi_x - \frac{r}{J_k} M_T; \quad (1)$$

$$\dot{v}_a = -\varphi_x g; \quad (2) \quad \lambda = 1 - \frac{v_k}{v_a}; \quad (3)$$

$$G_{ак} = \frac{mg}{2L} \left( a - \frac{h_{ц}}{g} \dot{v}_a \right); \quad (4) \quad \varphi_x = \varphi_x(\lambda), \quad (5)$$