

Подригало М.А., д.т.н., Павленко В.Н., аспирант

ХНАДУ, г. Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРОТИВ ЗАНОСА ПРИ СЛУЖЕБНЫХ ТОРМОЖЕНИЯХ

Определены границы зон устойчивости автомобиля против заноса при служебных торможениях. Получены линии равной устойчивости в зонах действия боковых сил.

Введение

Стабильность тормозных свойств в течение всего периода эксплуатации обеспечивает необходимый технический уровень и конкурентоспособность колесных машин. Тормозные свойства колесных машин являются важным фактором, обеспечивающим безопасность дорожного движения. Существенное влияние на стабильность тормозных свойств колесных машин оказывает температурный режим тормозных механизмов.

Актуальность проблемы и задачи исследования

Впервые торможение автомобиля при действии боковой силы рассмотрено Е.А. Чудаковым [1]. Торможение на повороте (при действии боковой инерционной силы) рассматривалось в работе Б.Б. Генбома [2]. В работах [3, 4] также рассмотрено торможение при действии боковой силы и торможение на повороте. Показано, что при действии боковой силы идеальный закон распределения справедлив только при относительно небольших значениях боковой силы. С увеличением последней должно увеличиваться значение $\beta_{ид}$. Определены три зоны величин боковой силы, для каждой из которых характерен свой участок идеального закона распределения тормозных сил между осями (обеспечивающий торможение с одновременным доведением до грани блокирования максимального количества колес) [3].

При действии боковой силы колеса одной оси могут одновременно доводиться до грани блокирования, либо первым будет блокироваться менее нагруженное внутреннее колесо [5]. В последнем случае вся боковая сила, приходящаяся на ось, будет восприниматься более нагруженным наружным колесом. Поэтому в работе [3] предложены зоны величин боковых сил в зависимости от одновременности или разновременности блокирования колес. В идеальном случае существуют три зоны величин боковых сил (очередности блокирования колес):

– зона I, в которой происходит одновременное блокирование переднего и заднего внутренних колес;

– зона II, в которой происходит одновременное блокирование задних колес и переднего внутреннего колеса;

– зона III, в которой происходит одновременное блокирование всех колес автомобиля.

При постоянном распределении тормозных сил между осями $\beta = \beta_0 = const$ вариантов очередности блокирования колес будет больше.

Так же был определен коэффициент устойчивости автомобиля в каждой зоне:

– в I-ой зоне

$$K_{уст} = \frac{a \frac{a}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L} - (1 - \beta_0) m_x}{b \frac{b}{L} + m_x \varphi \frac{h}{L} - \beta_0 m_x}; \quad (1)$$

– во II-ой зоне

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \sqrt{\frac{(1-A^2)\left(\frac{a}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L}\right)^2 - \frac{1-A^2}{A^2} m_x^2 (1-\beta_\delta)^2}{\frac{b}{L} + m_x \varphi \frac{h}{L} - m_x \beta_\delta}}; \quad (3)$$

– в III-ей зоне

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \sqrt{\frac{A^2\left(\frac{a}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L}\right)^2 - m_x^2 (1-\beta_\delta)^2}{A^2\left(\frac{b}{L} + m_x \varphi \frac{h}{L}\right)^2 - m_x^2 \beta_\delta^2}}. \quad (2)$$

Задачами исследования является определение зон устойчивости и линий равной устойчивости автомобиля против заноса при служебных торможениях в зонах действия боковых сил.

Границы зон устойчивости автомобиля против заноса при служебных торможениях

Полученные зависимости (1), (2) и (3) для определения коэффициента устойчивости автомобиля против заноса при служебных торможениях позволяют провести анализ для определения границ устойчивого состояния.

При торможении в I-ой зоне боковых сил справедливо соотношение (1). Коэффициент устойчивости $K_{уст}$ равен нулю или меньше его при условии

$$\frac{a}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L} - (1-\beta_\delta) m_x \leq 0. \quad (4)$$

Отрицательные значения левой части неравенства также свидетельствуют о неустойчивости автомобиля. Из выражения (4) определим зону неустойчивого состояния автомобиля при торможении в I-ой зоне

$$m_x \geq \frac{\frac{a}{L}}{1-\beta_\delta + \varphi \frac{h}{L}}. \quad (5)$$

Правая часть выражения (5) представляет собой коэффициент использования сцепного веса автомобиля при экстренном торможении на пределе блокирования задних колес и $\beta_\delta = const$ [3].

Коэффициент устойчивости $K_{уст}$ стремится к бесконечности, если в выражении (1)

$$\frac{b}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L} - \beta_\delta m_x \leq 0. \quad (6)$$

Отрицательные значения левой части выражения (6) свидетельствуют об устойчивости автомобиля против заноса. Из выражения (6) определим

$$m_x \geq \frac{\frac{b}{L}}{\beta_\delta + \varphi \frac{h}{L}}. \quad (7)$$

Правая часть выражения (7) представляет собой коэффициент использования сцепного веса автомобиля при экстренном торможении на пределе блокирования передних колес и $\beta_\delta = const$ [3]. Коэффициенты использования сцепного веса автомобиля при экстренном торможении на пределе блокирования одной из осей являются граничными кривыми для определения границ устойчивости автомобиля против заноса при служебном торможении в I – ой зоне. Эти граничные кривые 1 и 2 приведены на рис.1 для условного автомобиля ($a/L = b/L = 0,5$; $h/L = 0,25$; $h/B = 0,385$, $\varphi = 0,8$).

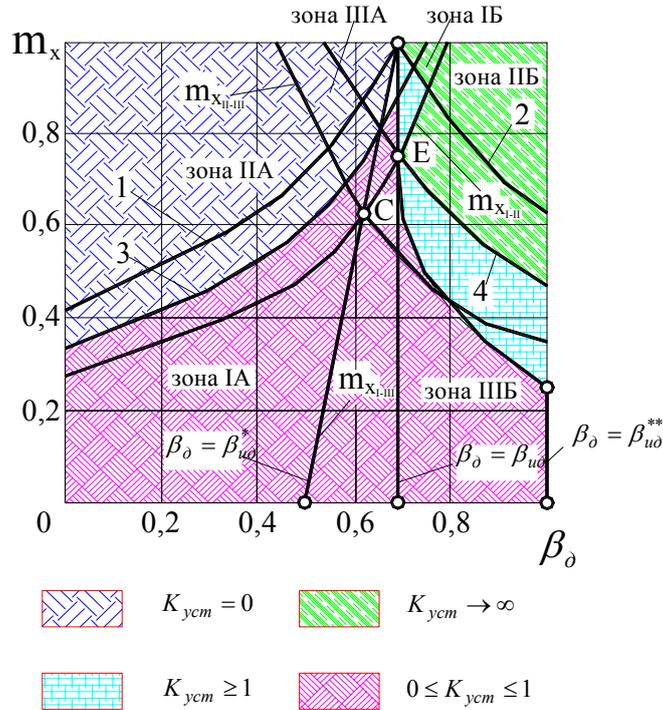


Рис.1. Зоны различного уровня устойчивости условного автомобиля против заноса при служебных торможениях при $\varphi = 0,8$ ($a/L = b/L = 0,5$; $h/L = 0,25$; $h/B = 0,385$); 1, 2, 3, 4 – граничные кривые

При торможении во II – ой зоне коэффициент устойчивости автомобиля против заноса определяется при помощи зависимости (3).

Коэффициент устойчивости автомобиля против заноса равен нулю при условии (см. зависимость (3))

$$(1 - A^2) \left(\frac{a}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L} \right)^2 - \frac{1 - A^2}{A^2} m_x^2 (1 - \beta_\delta)^2 \leq 0 \tag{8}$$

или

$$\frac{1 - A^2}{A^2} \left[A \left(\frac{a}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L} \right) - m_x (1 - \beta_\delta) \right] \left[A \left(\frac{a}{L} - m_x \varphi \frac{h}{L} \right) + m_x (1 - \beta_\delta) \right] \leq 0. \tag{9}$$

Откуда получаем два корня

$$m_x \geq \frac{\frac{a}{L}}{\varphi \frac{h}{L} - \frac{1 - \beta_\delta}{A}}, \tag{10}$$

$$m_x \geq \frac{\frac{a}{L}}{\frac{1-\beta_\partial}{A} + \varphi \frac{h}{L}}. \quad (11)$$

Выражение (10) не имеет физического смысла, поскольку правая часть его отрицательна. Поэтому условием получения $K_{уст} = 0$ для II-ой зоны является выражение (11).

В выражении (3) условием получения $K_{уст} \rightarrow \infty$ является выражение (6). Условие (6) будет выполняться в случае справедливости неравенства (7).

При торможении в III – ой зоне величина коэффициента устойчивости автомобиля против заноса определяется зависимостью (2). Эта величина равна нулю при выполнении условия (8), которое будет выполняться при справедливости неравенства (11).

Величина $K_{уст}$ будет стремиться к бесконечности, если в выражении (2)

$$A^2 \left(\frac{b}{L} + m_x \varphi \frac{h}{L} \right)^2 - m_x^2 \beta_\partial^2 \leq 0. \quad (12)$$

Затем определяем корень, имеющий физический смысл,

$$m_x \geq \frac{\frac{b}{L}}{\frac{\beta_\partial}{A} - \varphi \frac{h}{L}}. \quad (13)$$

Граничные кривые для условий (11) и (13) представлены на рис. 1 кривыми 3 и 4 для условного автомобиля ($a/L = b/L = 0,5$; $h/L = 0,25$; $h/B = 0,385$; $\varphi = 0,8$).

На рис. 1 также нанесена кривая, обратная кривой $\beta_\partial = \beta_{уд}^{**}(m_x)$, представляющая собой совокупность точек, для которых $K_{уст} = 1$. Область, лежащая правее этой кривой, имеет точки, для которых $K_{уст} > 1$. Указанная кривая имеет три участка, соответствующие трем зонам боковых сил [3]. Таким образом, обобщая полученные результаты, составим табл. 1.

Таблица 1

Граничные условия устойчивости автомобиля против заноса при служебных торможениях

Зона	Условия получения	
	$K_{уст} = 0$	$K_{уст} \rightarrow \infty$
I	$m_x \geq \frac{\frac{a}{L}}{\varphi \frac{h}{L} - 1 - \beta_\partial}$	$m_x \geq \frac{\frac{b}{L}}{\beta_\partial - \varphi \frac{h}{L}}$
II	$m_x \geq \frac{\frac{a}{L}}{\varphi \frac{h}{L} + \frac{1-\beta_\partial}{A}}$	
III		$m_x \geq \frac{\frac{b}{L}}{\frac{\beta_\partial}{A} - \varphi \frac{h}{L}}$

Совокупность точек, в которых $K_{ycm} = 1$, образует кривую идеального по условию устойчивости против заноса коэффициента распределения тормозной силы на переднюю ось $\beta_{ид}^{**}(m_x)$.

Нахождение линий равной устойчивости в зонах действия боковых сил

В зоне, которая обеспечивает получение K_{ycm} в пределах $[0; 1]$, целесообразно получить линии равной устойчивости против заноса. С этой целью решим уравнения (1), (2) и (3) относительно m_x . В этом случае получим в первой зоне

$$m_{xI} = \frac{\frac{a}{L}(1 - K_{ycm})}{\varphi \frac{h}{L} \left(1 + \frac{a}{b} K_{ycm}\right) + (1 - \beta_\delta) \left(1 - \frac{a}{b} K_{ycm}\right)}, \quad (14)$$

во второй зоне

$$m_{xII} = \frac{\frac{a^2}{b^2} \frac{K_{ycm}^2}{1 - A^2} \left(\beta_\delta - \varphi \frac{h}{L}\right) - \frac{a}{L} \varphi \frac{h}{L}}{\frac{(1 - \beta_\delta)^2}{A^2} - \varphi^2 \frac{h^2}{L^2} + \frac{a^2}{b^2} \frac{K_{ycm}^2}{1 - A^2} \left(\beta_\delta - \varphi \frac{h}{L}\right)^2} \times$$

$$\times \left[1 - \sqrt{1 + \frac{a^2}{L^2} \left(1 - \frac{K_{ycm}^2}{1 - A^2}\right) \frac{\frac{(1 - \beta_\delta)^2}{A^2} - \varphi^2 \frac{h^2}{L^2} + \frac{a^2}{b^2} \frac{K_{ycm}^2}{1 - A^2} \left(\beta_\delta - \varphi \frac{h}{L}\right)^2}{\left[\frac{a^2}{b^2} \frac{K_{ycm}^2}{1 - A^2} \left(\beta_\delta - \varphi \frac{h}{L}\right) - \frac{a}{L} \varphi \frac{h}{L}\right]^2}} \right], \quad (15)$$

в третьей зоне

$$m_{xIII} = \frac{\frac{a}{L} \varphi \frac{h}{L} \left(1 + \frac{a}{b} K_{ycm}^2\right)}{\frac{(1 - \beta_\delta)^2}{A^2} - \frac{a^2}{b^2} K_{ycm}^2 \frac{\beta_\delta^2}{A^2} - \varphi^2 \frac{h^2}{L^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2} K_{ycm}^2\right)} \times$$

$$\times \left[\sqrt{1 + \frac{1 - K_{ycm}^2}{\varphi^2 \frac{h^2}{L^2} \left(1 + \frac{a}{b} K_{ycm}^2\right)} \left[\frac{(1 - \beta_\delta)^2}{A^2} - \frac{a^2}{b^2} K_{ycm}^2 \frac{\beta_\delta^2}{A^2} - \varphi^2 \frac{h^2}{L^2} \left(1 - \frac{a^2}{b^2} K_{ycm}^2\right) \right]} - 1 \right]. \quad (16)$$

Подставляя конкретные значения (интересующие нас) K_{ycm} в зависимости (14), (15) и (16), получим зависимость m_x от β_δ для заданного уровня устойчивости автомобиля против заноса. На рис. 2 представлены линии равной устойчивости автомобиля против заноса, позволяющие более точно определять действительный уровень указанной устойчивости.

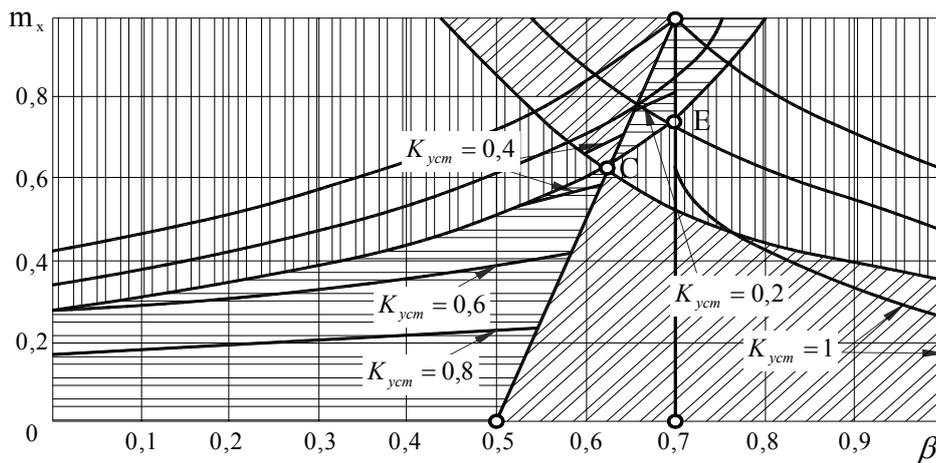


Рис.2. Линии равной устойчивости в зонах $0 \leq K_{уст} < 1$

Выводы

В данной статье определены:

- граничные условия устойчивости автомобиля против заноса при служебных торможениях;
- линии равной устойчивости в зонах $0 \leq K_{уст} < 1$.

Список литературы

1. Чудаков Е.А. Боковая устойчивость автомобиля при торможении. – М.: Машгиз, 1952. – 183 с.
2. Вопросы динамики торможения и теории рабочих процессов тормозных систем автомобилей / Генбом Б.Б., Гудз Г.С., Демьянюк В.А., Кизман А.М., Кобылянский В.Н. – Львов: Вища школа, 1974. – 274 с.
3. Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И. Устойчивость колесных машин при торможении. Научное издание: Монография. – Харьков: Изд-во ХГАДТУ, 1999. – 93 с.
4. Подригало М.А., Волков В.П., Абрамов Д.В., Миленин А.Н. Метод оценки потерь энергии при работе многодискового тормоза в смазочной среде // Труды международной научно-технической конференции. – Лодзь: Польша. – 2001. – с. 117-120.
5. Бортницкий П.И., Задорожный В.И. Тягово-скоростные качества автомобилей. – К.: Вища школа, 1978. – 176 с.

Стаття надійшла до редакції 08.06.07
© Подригало М.А., Павленко В.М., 2007