

*А.Н. ТУРЕНКО*, д-р техн. наук, *С. Н. ШУКЛИНОВ*, канд. техн. наук,  
ХНАДУ (г. Харьков)

## **ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРМОЗНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ**

Предложено математическое описание границ расположения статической характеристики тормозного управления по условиям регулируемости и эффективности торможения рабочей и аварийной тормозными системами.

Mathematical description scopes of brake management static description on the terms of regulable state and braking efficiency for working and emergency brake systems is offered.

**Введение.** Регулирование действия тормозного управления и его эффективность во многом зависят от параметров связи между установившимися значениями силы на педали и замедления колесной машины, т.е. от статической характеристики тормозного управления. Следует отметить, что статическая характеристика тормозного управления при эксплуатации изменяется, например, при изменении массы колесной машины или при выходе из строя одного из тормозных контуров или усилителя, снижении эффективности тормозных механизмов и др.

В этой связи при выборе параметров рабочей и аварийной тормозных систем, параметров тормозного управления необходимо знание границ допустимого расположения статической характеристики по условиям обеспечения качественного регулирования и эффективности торможения.

При разработке адаптивных систем тормозного управления, позволяющих сохранять параметры тормозного управления при воздействии возмущающих факторов, важно определить границы регулирования статической характеристики.

**Анализ публикаций.** Результаты исследований, приведенные в работе [1] показали, что с точки зрения точности управления наиболее рациональной является линейная статическая характеристика тормозного управления колесной машиной. Автором указанной работы определена область статических характеристик, при которых действие рабочей тормозной системы является регулируемым. Графическое представление линейной статической характеристики тормозного управления колесной машины в работах [1,2] имеет вид изображенный на рисунке 1.

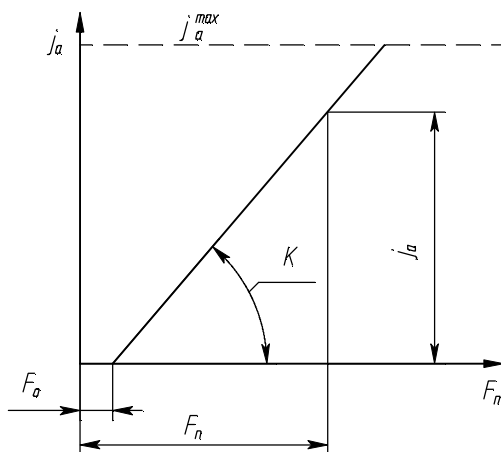


Рисунок 1 – Статическая характеристика тормозного управления колесной машины

При этом зона нечувствительности  $F_0$  в данном случае имеет смысл координаты пересечения статической характеристики с осью абсцисс, а коэффициент эффективности тормозного управления  $K$  определяется как тангенс угла начала характеристики:

$$K = \frac{j_a}{F_n - F_0}, \quad (1)$$

где  $j_a$  – установившееся замедление колесной машины;  $F_n$  – установившееся усилие на педали тормоза.

**Цель и постановка задачи.** Целью данной работы является формирование граничных условий статической характеристики тормозного управления колесной машины. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- уточнить зависимость установившихся значений замедления колесной машины и усилия на педали тормоза;
- определить границы для регулирования коэффициента эффективности тормозного управления колесной машины;
- определить область допустимого изменения коэффициента эффективности тормозного управления колесной машины, при котором диапазон изменения замедления меньше порога его различия водителем.

**Границы расположения статической характеристики тормозного управления колесных машин.** Следует уточнить, что по выражению (1) оценивается не коэффициент эффективности тормозного управления, а

эффективность замедления колесной машины. Для оценки эффективности тормозного управления целесообразно воспользоваться зависимостью

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{j_a - j_0}{F_n - F_0}, \quad (2)$$

где  $j_0$  – замедление колесной машины в момент начала формирования тормозной силы на колесах, т.е. при условии  $F_n \cong F_0$ ;

При этом учитываются начальные условия торможения: скорость в начале торможения, сопротивление дороги.

С учетом зависимости (2) и особенностей восприятия уровня замедления водителем рациональная статическая характеристика тормозного управления должна располагаться между границами, представленными на рисунке 2.

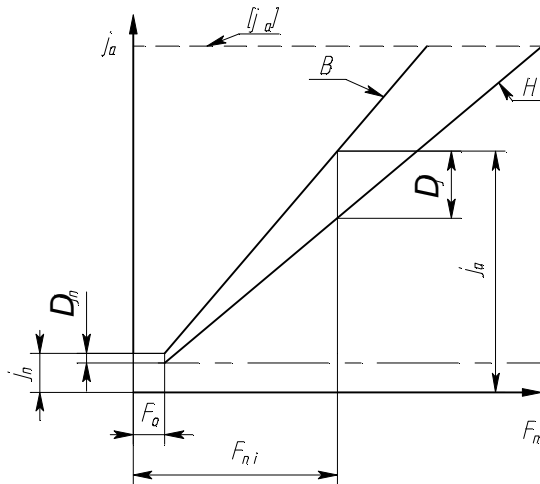


Рисунок 2 – Границы расположения статической характеристики максимально эффективного тормозного управления колесной машины:  $H$  – нижняя граница;  $B$  – верхняя граница;  $[j_a]$  – нормируемое замедление колесной машины;  $j_n$  – абсолютный порог различия замедления водителем;  $\Delta j$  – максимальная различимая величина ступени замедления при  $j_a$ ;  $\Delta j_n$  – максимальная различимая величина ступени замедления при  $j_a = j_n$ .

Верхняя граница значений замедления колесной машины в функции управляющего усилия на педали определяется системой уравнений:

$$\begin{cases} j_B = j_n + (F_n - F_0)K_{\mathcal{O}} & \text{при } F_n \geq F_0 \\ j_B = 0 & \text{при } F_n < F_0 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $K_{\mathcal{O}}$  – коэффициент эффективности тормозного управления колесной машины в не нагруженном состоянии.

Очевидно, что нижняя граница значений замедления должна располагаться ниже верхней на максимальную различимую водителем величину ступени замедления  $\Delta j$ . Ступень замедления, различимая водителем согласно работе [2], должна удовлетворять условию:

$$\begin{cases} \Delta j \leq 0,07(j_a + 2,5) & \text{при } j_a \geq j_n \\ \Delta j = 0 & \text{при } j_a < j_n \end{cases}. \quad (4)$$

С учетом значения абсолютного порога различия  $j_n$  и коэффициента эффективности тормозного управления колесной машины  $K_{\mathcal{O}}$  условие (4) примет вид

$$\Delta j \leq 0,07\{[j_n + (F_n - F_0)K_{\mathcal{O}}] + 2,5\}. \quad (5)$$

Следовательно, нижняя граница значений замедления колесной машины в функции управляющего усилия на педали может быть определена вычитанием (5) из (3) и представлена в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} j_H = 0,93[j_n + (F_n - F_0)K_{\mathcal{O}}] - \\ \quad \quad \quad - 0,175 & \text{при } F_n \geq F_0 \\ j_H = 0 & \text{при } F_n < F_0 \end{cases}. \quad (6)$$

Статическая характеристика тормозного управления, которая располагается между верхней и нижней границами (рис. 2) обеспечивает высшую эффективность и высокую точность тормозного управления.

С учетом вышеизложенного, зависимость (2) можно уточнить и записать в виде:

$$K_{\mathcal{O}} = \begin{cases} 0 & \text{при } F_n \leq F_0 \\ \frac{j_a - j_n}{F_n - F_0} & \text{при } j_0 \leq j_n \\ \frac{j_a - j_0}{F_n - F_0} & \text{при } j_0 > j_n \end{cases}. \quad (7)$$

С другой стороны коэффициент эффективности тормозного управления определяется параметрами колесной машины и тормозного управления

$$K_{\mathcal{O}} = f\{m_a^{-1}, K_{TV}\}, \quad (8)$$

где  $m_a$  – масса колесной машины;  
 $K_{TY} = i_n K_y [K_{T1} \cdot K_{Э1} + K_{T2} \cdot K_{Э2} \cdot K_{PTC}]$  – коэффициент передачи тормозного управления ( $i_n$  – передаточное число педали;  $K_y$  – коэффициент сервисного усиления;  $K_{T1}, K_{T2}$  – коэффициенты тормозных контуров;  $K_{Э1}, K_{Э2}$  – коэффициенты эффективности тормозных колес;  $K_{PTC}$  – коэффициент регулятора тормозных сил).

При допущении, что коэффициент передачи тормозного управления  $K_{TY}$  для данной машины не изменяется, то эффективность тормозного управления будет зависеть от степени загрузки, т.е. от массы колесной машины. Причем максимальный коэффициент эффективности тормозного управления характерен для не груженого состояния колесной машины. Поэтому границы расположения статической характеристики тормозного управления, определяемые зависимостями (3) и (6) и представленные на рис. 2 в данном случае относятся к эффективности тормозного управления колесной машины в не груженом состоянии.

Эффективность торможения колесной машины в груженом состоянии соответствует ломаной линии 2 на рисунке 3. При одинаковой начальной скорости торможения  $V_0$  замедление колесной машины в груженом состоянии  $j_{02}$  будет меньше, чем замедление в не груженом состоянии  $j_{01}$ .

Отношение указанных замедлений пропорционально отношению масс колесной машины для соответствующих состояний:

$$\frac{j_{01}}{j_{02}} = \frac{m_{a2}}{m_{a1}}, \quad (9)$$

где  $m_{a1}, m_{a2}$  – масса колесной машины, соответственно в груженом состоянии и не груженом состояниях.

При этом также снижается коэффициент эффективности тормозного управления и для достижения нормируемого замедления колесной машины  $[j_a]$  водитель должен увеличить усилие, прикладываемое к педали до величины  $F_n^{\max}$ . В этом случае снижение коэффициента эффективности допустимо до границы  $H_{\min}$  (см. рис. 3).

Величина максимального усилия на педали тормоза ограничивается стандартами [3,4]

$$F_n^{\max} \leq [F_n], \quad (10)$$

где  $[F_n]$  – максимально допустимое значение величины усилия на педали тормоза, при котором должно обеспечиваться нормируемое замедление  $[j_a]$  колесной машины.

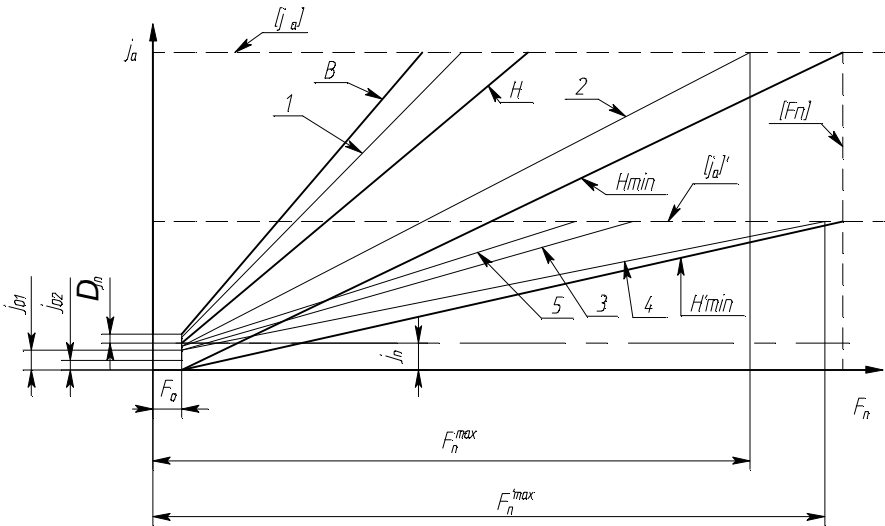


Рисунок 3 – Граничные условия и типовая статическая характеристика тормозного управления колесной машины:  $B, H$  – границы максимальной эффективности;  $H_{min}$  – граница минимально допустимой эффективности при торможении рабочей тормозной системой;  $H'_{min}$  – граница минимально допустимой эффективности при торможении аварийной тормозной системой; 1, 2, 3, 4, 5 – статическая характеристика тормозного управления колесной машины, соответственно в негруженом и груженом состоянии, при отказе переднего и заднего тормозного контура и при отказе усилителя тормозов

При выходе из строя одного из тормозных контуров или усилителя тормозов коэффициент эффективности тормозного управления также снижается вследствие уменьшения коэффициента передачи  $K_{ТУ}$ . При этом водитель должен увеличить усилие на педали до значения  $F_n^{max}$  для достижения нормируемого замедления  $[j_a]'$ . В этом случае снижение коэффициента эффективности допустимо до границы  $H'_{min}$  (см. рис.3).

**Порог различия водителем изменения коэффициента эффективности тормозного управления.** Поскольку, вследствие особенностей восприятия, существует порог различия водителем уровня замедления, то постольку существует и порог различия коэффициента эффективности тормозного управления  $\Delta K_{\ominus}$ . Порог различия водителем изменения коэффициента эффективности тормозного управления  $\Delta K_{\ominus}$  можно определить с помощью схемы представленной на рисунке 4.

При соответствии статической характеристики тормозного управления верхней границе (см. рис.4) коэффициент эффективности определяет выражение:

$$K_{\mathcal{E}}^B = \frac{j_a - j_n}{F_n - F_0}, \quad (11)$$

а при соответствии статической характеристики нижней границе выражение:

$$K_{\mathcal{E}}^H = \frac{j_a - (j_n - \Delta j_n) - \Delta j}{F_n - F_0}. \quad (12)$$

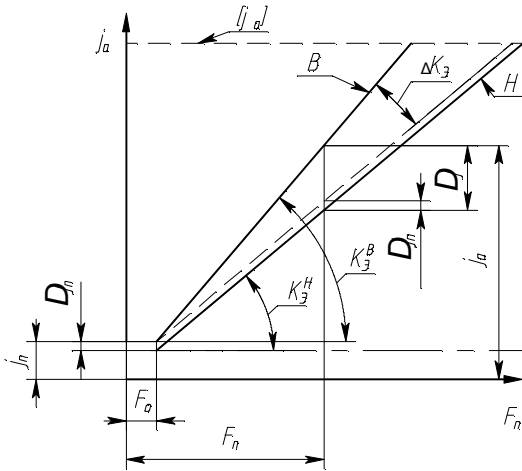


Рисунок 4 – Схема для определения коэффициента  $\Delta K_{\mathcal{E}}$

Очевидно, что порог различия водителем изменения коэффициента эффективности тормозного управления может быть получен вычитанием:

$$\Delta K_{\mathcal{E}} = K_{\mathcal{E}}^B - K_{\mathcal{E}}^H. \quad (13)$$

После подстановки и очевидных преобразований получим

$$\Delta K_{\mathcal{E}} = \frac{\Delta j - \Delta j_n}{F_n - F_0}. \quad (14)$$

С учетом выражения (4) пороговое замедление  $\Delta j_n$  можно определить как

$$\Delta j_n \leq 0,07(j_n + 2,5). \quad (15)$$

После подстановки выражений (4), (15) в формулу (14) и не сложных преобразований получим зависимость порога различия водителем изменения коэффициента эффективности тормозного управления от усилия на педали тормоза

$$\Delta K_{\varepsilon} = \begin{cases} 0 & \text{при } F_n \leq F_0 \\ \frac{0.07(j_a - j_n)}{F_n - F_0} & \text{при } F_n > F_0 \end{cases} \quad (16)$$

С учетом системы (7) выражение (16) можно переписать в виде:

$$\Delta K_{\varepsilon} = \begin{cases} 0 & \text{при } F_n \leq F_0 \\ 0.07K_{\varepsilon} & \text{при } F_n > F_0 \end{cases} \quad (17)$$

**Выводы.** Предложенные зависимости позволяют:

- более точно с учетом начальных условий торможения определить коэффициент эффективности тормозного управления колесной машины;
- определить диапазон изменения коэффициента эффективности при торможении колесной машины, как рабочей тормозной системой, так и аварийной системой;
- определить порог различия водителем изменения коэффициента эффективности тормозного управления.

Предложенные зависимости могут быть использованы при проектировании автоматических адаптивных систем тормозного управления:

- для определения диапазона регулирования коэффициента эффективности  $K_{\varepsilon}$ ;
- для определения отклонений коэффициента эффективности  $K_{\varepsilon}$ , при которых водитель не различает изменения эффективности торможения колесной машины.

**Список литературы:** 1. Савельев Б.В. Обоснование статической характеристики тормозной системы автомобиля. Автореф. дис. к.т.н. – М., 1988. 2. Нужный В.В. Разработка электропневматического тормозного привода автотранспортного средства. Диссертация на соискание уч.ст.к.т.н. – Донецк, 1996. 3. ГОСТ 22895 – 77. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 14 с. 4. ДСТУ UN/ECE R 13-07,08:2002 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – Київ.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та технічної політики, 2002. – 180 с.

Поступила в редколлегию 15.12.2009