

3. Сцепления транспортных и тяговых машин / И. Б. Барский [и др.]; под ред. Ф. Р. Геккера и др. – М. : Машиностроение, 1989. – 339 с.

4. Чудаков, Е. А. Теория автомобиля / Е. А. Чудаков. – М. : Машгиз, 1950.

Представлено 06.06.2024

УДК 62-592.52

## **АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВ СОЧЛЕНЕННОГО ТРОЛЛЕЙБУСА**

### **ANALYSIS OF THE POTENTIAL BRAKING QUALITIES OF AN ARTICULATED TROLLEYBUSON**

**Поварехо А. С.**, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
А. Pavarekha, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*Динамика движения сочлененных машин отличается от аналогичных процессов для одиночных транспортных средств, поэтому особенности движения сочлененных средств пассажирского транспорта на переходных режимах являются актуальным предметом исследований. Данная работа связана с определением потенциально возможных тормозных качеств сочлененного трехосного троллейбуса.*

*The dynamics of movement of articulated vehicles differs from similar processes for single vehicles, therefore, the features of movement of articulated means of passenger transport in transitional modes are an urgent subject of research. This work is related to the determination of the potentially possible braking qualities of an articulated three-axle trolleybus.*

**Ключевые слова:** торможение, удельная тормозная сила, эффективность торможения, троллейбус, тормозная сила.

**Keywords:** braking, specific braking force, braking efficiency, trolleybus, braking force.

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, одним из эксплуатационных факторов, влияющих на тормозные качества транспортных средств, являются дорожные условия, определяемые коэффициентом сцепления колес с опорной поверхностью. Величина потенциально реализуемой тормозной силы определяется произведением нормальной реакции на колесе на максимальное значение коэффициент сцепления [1]. Чаще всего максимальное значение коэффициента сцепления для определенного дорожного фона принимается постоянным, однако при более детальной оценке взаимодействия колеса с опорной поверхностью следует учитывать его зависимость от конструктивных параметров шины, силовых и кинематических параметров ее работы в процессе движения [2].

При функциональном анализе динамики торможения транспортных средств коэффициент сцепления считается переменным и определяется как изменение удельной тормозной силы от скольжения колеса. Его часто называют коэффициентом использования сцепного веса. Для шин современных автомобилей зависимости имеют вид, представленный на рис. 1, и при моделировании часто аппроксимируются экспоненциальными зависимостями вида

$$\varphi = \varphi_{\max} \cdot (1 - e^{-k \cdot s}).$$

Устойчивость движения сочлененного троллейбуса в процессе торможения зависит от правильного выбора величин и соотношения тормозных сил, а также согласованной работы тормозных систем отдельных его звеньев. При этом наибольшую опасность с точки зрения устойчивости представляет случай блокирования колес задней оси тягача. Кроме того, известно, что усилия сжатия в связывающем тягач и прицеп элементе увеличивают, а усилия растяжения уменьшают занос тягача.

Наличие относительной подвижности звеньев, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости приводит к достаточно сложному характеру изменения нормальных нагрузок на мосты и, соответственно, реализуемых тормозных сил, в различных условиях эксплуатации, различной загрузке троллейбуса и эффективности торможения.

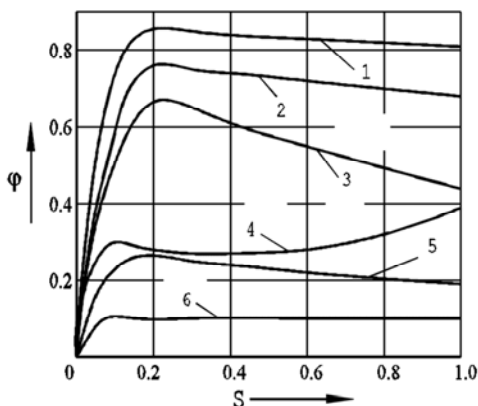


Рисунок 1 – Влияние дорожного фона и скольжения шины на реализуемый колесом коэффициент сцепления:

- 1 – сухое асфальтобетонное покрытие; 2 – твердая грунтовая дорога;
- 3 – мокрое асфальтобетонное покрытие; 4 – рыхлый снег;
- 5 – укатанная снежная дорога; 6 – ледяное покрытие

Кроме этого, следует иметь ввиду необходимость поддержания требуемых соотношений тормозных сил по мостам, которые регламентируются предписаниями нормативных документов [3–4].

Самым наилучшим с точки зрения как эффективности торможения, так и сохранения устойчивости движения было бы обеспечение равенства удельных тормозных сил по мостам транспортного средства независимо от его загрузки и условий движения при торможении. Для сочлененного троллейбуса это условие выглядит следующим образом:

$$\gamma_1 = \frac{F_1}{N_1} = \gamma_2 = \frac{F_2}{N_2} = \gamma_3 = \frac{F_3}{N_3}, \quad (1)$$

где  $\gamma_i$  – удельная тормозная сила соответствующего моста троллейбуса;  $N_i$  – нормальная реакция на колесах соответствующего моста;  $F_i$  – тормозная сила, реализуемая  $i$ -м мостом троллейбуса.

С учетом допущения об отсутствии податливостей в соединении звеньев троллейбуса можно записать, что в установившемся режиме торможения замедление сочлененного троллейбуса определяется следующим образом:

$$x''_{ст} = x''_т = x''_п = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{m_т + m_п} = \frac{\gamma_1 \cdot N_1 + \gamma_2 \cdot N_2 + \gamma_3 \cdot N_3}{m_т + m_п}.$$

Для решения вышеприведенных уравнений необходимо задаться критерием выбора распределения тормозных сил по мостам сочлененного троллейбуса. Расчет тормозных сил может вестись двумя путями:

- в первом случае тормозные силы, развиваемые в пятнах контакта шин с дорогой, определяются с учетом приходящегося на колеса веса и коэффициента сцепления с дорогой;

- во втором случае рассматриваются характеристики реальной тормозной системы и оцениваются выходные параметры процесса торможения сочлененной машины.

С целью обеспечения наибольшей эффективности торможения при определении выходных характеристик тормозных механизмов целесообразно исходить из условий максимального использования сцепного веса, приходящегося на колеса транспортного средства в установившемся режиме торможения. В этом случае условие (1) выглядит следующим образом:

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \varphi_{max},$$

где  $\varphi_{max}$  – максимально возможный по условиям сцепления коэффициент сцепления шин с дорогой.

Тогда максимально возможное замедление машины:

$$x''_{ст} = x''_т = x''_п = g \cdot \varphi_{max}. \quad (2)$$

Подставляя значения замедлений (2) в выражения для определения нормальных реакций и усилий в соединительных элементах звеньев, можно записать:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{сц}} &= \frac{m_{\text{п}} \cdot g \cdot (l_3 + \varphi_{\text{max}} \cdot h_{\text{п}})}{l_{\text{сц}} + l_3 + \varphi_{\text{max}} \cdot h_{\text{сц}}}, \\
 N_3 &= \frac{m_{\text{п}} \cdot g \cdot (l_{\text{сц}} - \varphi_{\text{max}} \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{сц}}))}{l_{\text{сц}} + l_3 + \varphi_{\text{max}} \cdot h_{\text{сц}}}, \\
 N_2 &= \frac{m_{\text{т}} \cdot g \cdot (l_1 - \varphi_{\text{max}} \cdot h_{\text{т}}) + N_{\text{сц}} \cdot (l_1 + l_{\text{ст}} - \varphi_{\text{max}} \cdot h_{\text{сц}})}{l_1 + l_2}, \\
 N_1 &= \frac{m_{\text{т}} \cdot g \cdot (l_2 + \varphi_{\text{max}} \cdot h_{\text{т}}) - N_{\text{сц}} \cdot (l_{\text{ст}} - l_2 - \varphi_{\text{max}} \cdot h_{\text{сц}})}{l_1 + l_2}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Тормозные силы, исходя из условия максимального использования сцепного веса, определяются следующим образом

$$F_1 = \varphi_{\text{max}} \cdot N_1; \quad F_2 = \varphi_{\text{max}} \cdot N_2; \quad F_3 = \varphi_{\text{max}} \cdot N_3, \tag{4}$$

где значение нормальных реакций вычисляются согласно выражениям (3).

Для оценки требуемой эффективности тормозных механизмов мостов согласно выражениям (4) построены графические зависимости тормозных сил по сцеплению, реализуемых на колесах мостов при различных сцепных условиях для груженого и в снаряженном состоянии троллейбуса (рис. 2).

Необходимые для максимальной реализации сцепных качеств тормозные моменты тормозных механизмов могут быть найдены из выражений:

$$M_{\text{т}i} = N_i \cdot \varphi_i \cdot r_{\text{ди}i}, \tag{5}$$

где  $i$  – индекс, соответствующий номеру моста троллейбуса;  $r_{\text{ди}i}$  – динамический радиус соответствующего колеса.

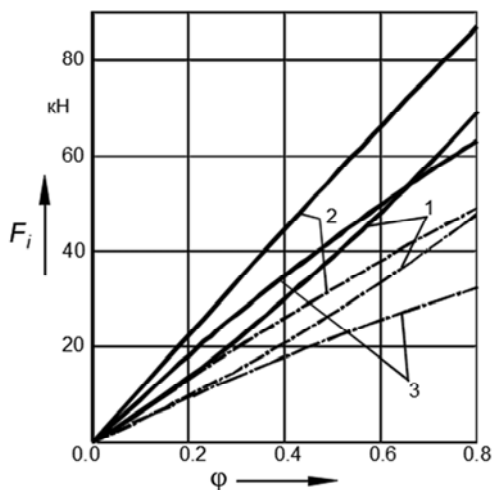


Рисунок 2 – Идеальное распределение тормозных сил по мостам сочлененного троллейбуса при различных сцепных условиях:

————— – грузеный; - - - - - – снаряженный; 1, 2, 3 – номера мостов

Графические зависимости тормозных моментов (5) на колесах мостов при реализации их сцепных качеств для грузеного и в снаряженном состоянии троллейбуса представлены на рис. 3.

Как видно из представленных зависимостей величины тормозных сил и моментов на мостах сочлененного троллейбуса зависят от эффективности торможения троллейбуса и его загрузки. При этом следует отметить различный характер распределения тормозных сил для грузеного и снаряженного троллейбуса. Так, для грузеного троллейбуса характерным во всем диапазоне изменения коэффициента сцепления является наибольшее значение тормозной силы для среднего моста троллейбуса. Так, для  $\phi = 0,8$  реализуемая колесами моста тормозная сила составляет 86,95 кН. Тормозные силы на первом и третьем мостах близки друг к другу, а в диапазоне  $\phi = 0,6-0,7$  практически одинаковы. При  $\phi = 0,8$  тормозные силы составляют  $F_1 = 69,37$  кН и 63,5 кН для первого и третьего мостов соответственно.

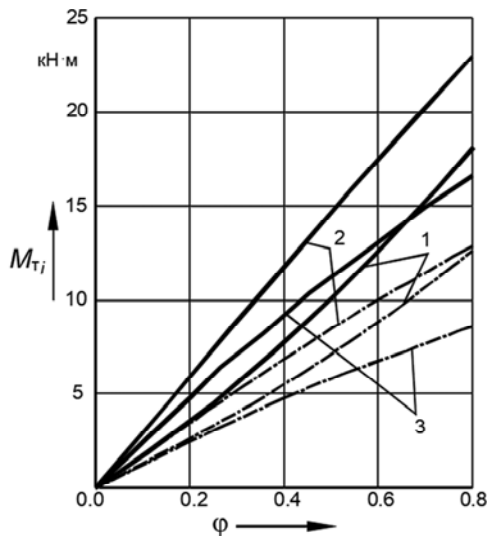


Рисунок 3 – Необходимые по условиям сцепления значения тормозных моментов на колесах мостов сочлененного троллейбуса:

————— – груженный; - - - - - – снаряженный; 1, 2, 3 – номера мостов

Следует отметить, что количественное соотношение тормозных сил по мостам зависит также от эффективности торможения, т. е. величины коэффициента сцепления  $\phi$ . Так, при увеличении  $\phi$  уменьшается разница между  $F_2$  и  $F_1$  и увеличивается между  $F_2$  и  $F_3$ . Данная тенденция имеет место как для груженого, так и для снаряженного троллейбуса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведенных на рис. 3 зависимостей можно определить требуемую для реализации процесса торможения с одинаковыми удельными тормозными силами эффективность тормозных механизмов мостов. В качестве критерия выбора расчетных значений тормозных моментов принимается полное использование сцепного веса, что является наилучшим решением с точки зрения безопасности движения.

При этом в качестве дорожного фона, определяющего условия использования сцепных свойств шин с опорной поверхностью, следует принять асфальт среднего качества с  $\phi = 0,8$  (рис. 1), который

является наиболее характерным для эксплуатации троллейбуса в городских условиях. В этом случае тормозные моменты, развиваемые тормозными механизмами колес мостов сочлененного троллейбуса имеют значения: передний мост –  $M_{т1} = 18,2$  кН·м; средний мост –  $M_{т2} = 22,8$  кН·м; задний мост –  $M_{т3} = 16,7$  кН·м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тракторные поезда / П. П. Артемьев [и др.]; под ред. В. В. Гуськова. – М: Машиностроение, 1982. – 181 с.
2. Бойков, В. П. Повышение эффективности эластичных движителей тракторов и сельскохозяйственных машин : автореферат диссертации на соискание ученой степени д. т. н. / Белорусский политехн. ин-т. – Минск, 1987. – 42 с.
3. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения: Правила ЕЭК ООН № 13 (10) / Пересмотр 6. Введ. 01.07.10. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 280 с.
4. ГОСТ 22895-77. Государственный Стандарт Республики Беларусь. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования: Введ. 01.01.81. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 20 с.

Представлено 03.05.2024