

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ СОЧЛЕНЕННОГО ТРОЛЛЕЙБУСА**

**ON THE ISSUE OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE BRAKING SYSTEM OF AN ARTICULATED TROLLEYBUS**

**Поварехо А. С.**, канд. техн. наук, доц.,  
**Рахлей А. И.**, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

A. Pavarekha, Ph. D. in Engineering, Associate Professor,  
A. Rakhley, Ph. D. in Engineering, Associate Professor,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*В данной статье проведена оценка распределения нормальных реакций и тормозных сил по мостам сочлененного троллейбуса при торможении рабочей тормозной системой и выбор выходных параметров тормозных механизмов, а также поверочный расчет рабочей тормозной системы для оценки ее соответствия требованиям нормативных документов, в качестве которых рассматривались ГОСТ 22895-77 «Тормозные системы автотранспортных средств. Технические требования» и Правила ЕЭК ООН № 13.*

*In this article, an assessment of the distribution of normal reactions and braking forces along the bridges of an articulated trolley during braking by the service brake system and the selection of the output parameters of the braking mechanisms, as well as a verification calculation of the service brake system to assess its compliance with the requirements of regulatory documents, in the quality of which GOST 22895-77 «Braking systems of motor vehicles funds. Technical Requirements» and UNECE Regulation No. 13.*

**Ключевые слова:** нормальная реакция, тормозная сила, эффективность торможения, тормозной момент.

**Keywords:** normal reaction, braking force, braking efficiency, braking torque.

## ВВЕДЕНИЕ

Торможение сочлененного троллейбуса – это сложный динамический процесс, который в общем случае зависит от конструктивных параметров машины, выходных характеристик ее функциональных систем и условий взаимодействия с окружающей средой.

Величина реализуемой на колесах сочлененного троллейбуса тормозной силы зависит не только от характеристик дороги и колеса, но и от величины нормальной реакции, действующей на колесо. Как правило, нормальные реакции при торможении изменяются по сложному закону, который оказывает влияние на основные характеристики процесса торможения, и коэффициент динамичности изменения нормальных реакций для трехосного троллейбуса определяется существенным образом темпом нарастания тормозных сил.

В связи с указанным, важным представляется оценка распределения нормальных реакций и тормозных сил по мостам сочлененного троллейбуса при торможении рабочей тормозной системой и выбор выходных параметров тормозных механизмов.

В качестве нормативных документов при анализе характеристик тормозных систем использовались следующие:

- 1) ГОСТ 22895-77 «Тормозные системы автотранспортных средств. Технические требования» [1];
- 2) Правила ЕЭК ООН № 13 [2].

## АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ПО МОСТАМ СОЧЛЕНЕННОГО ТРОЛЛЕЙБУСА ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Для сочлененного троллейбуса на изменении нормальных реакций на мостах сказывается асинхронность срабатывания их тормозных систем, что, в отличие от одиночной машины, вызывает за счет упругих характеристик связи звеньев и подвески, значительные знакопеременные силы, догружающие и разгружающие колеса.

Для оценки распределения нормальных реакций и выбора рациональной, с точки зрения использования сцепного веса, эффективности тормозных механизмов мостов рассмотрим торможение сочлененного троллейбуса в установившемся режиме. Расчетная схема представлена на рис. 1.



В качестве массо-геометрических параметров сочлененного троллейбуса рассматривались: массы звеньев, значения статических нагрузок на мостах, горизонтальные и вертикальные координаты центров масс звеньев, динамические радиусы шин мостов, координаты расположения сочленения относительно мостов.

Указанные параметры рассматривались, как для груженого, так и снаряженного троллейбуса.

Для определения нормальных реакций по мостам троллейбуса составим уравнения равновесия с учетом инерционных сил. Для удобства расчленим машину в точке, соответствующей сцепному устройству, на тягач и прицеп, заменив воздействие звеньев друг на друга силами, соответствующими реакциям в соединительных шарнирах. При этом общую реакцию разделим на горизонтальную и вертикальную составляющие, соответственно  $N_{\text{сц}}$  и  $Q_{\text{сц}}$  (рис. 1).

Для прицепного звена можно записать:

$$\begin{cases} m_{\text{п}} \cdot g \cdot l_3 - N_{\text{сц}} \cdot (l_{\text{сц}} + l_3) + m_{\text{п}} \cdot x_{\text{п}}'' \cdot h_{\text{п}} + Q_{\text{сц}} \cdot h_{\text{сц}} = 0 \\ N_3 + N_{\text{сц}} - m_{\text{п}} \cdot g = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса прицепа;  $l_{\text{сц}}$ ,  $l_3$  – горизонтальные координаты центра масс прицепа;  $h_{\text{п}}$  – вертикальная координата центра масс прицепа;  $N_3$  – нормальная реакция, действующая на колеса моста прицепа;  $g$  – ускорение свободного падения;  $x_{\text{п}}''$  – замедление второго звена троллейбуса;  $h_{\text{сц}}$  – высота расположения сцепного устройства.

В свою очередь

$$Q_{\text{сц}} = F_3 - m_{\text{п}} \cdot x_{\text{п}}'' = N_3 \cdot \gamma_3 - m_{\text{п}} \cdot x_{\text{п}}'',$$

где  $F_3$  – тормозная сила, развиваемая колесами;  $\gamma_3$  – реализуемый коэффициент сцепления колесами моста прицепа (удельная тормозная сила моста).

Подставляя в систему уравнений (1) выражение для определения  $Q_{\text{сц}}$ , и разрешая относительно  $N_{\text{сц}}$ , имеем

$$N_{\text{сц}} = \frac{m_{\text{п}} \cdot x_{\text{п}}'' \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{сц}}) + m_{\text{п}} \cdot g \cdot (l_3 + \gamma_3 \cdot h_{\text{сц}})}{l_{\text{сц}} + l_3 + \gamma_3 \cdot h_{\text{сц}}}$$

С использованием данного выражения находим нормальную реакцию на мосту прицепного звена, а затем и на мостах тягача:

$$N_3 = m_{\text{п}} \cdot g - N_{\text{сц}} = \frac{m_{\text{п}} \cdot g \cdot l_{\text{сц}} - m_{\text{п}} \cdot x_{\text{п}}'' \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{сц}})}{l_{\text{сц}} + l_3 + \gamma_3 \cdot h_{\text{сц}}}; \quad (2)$$

$$N_2 = \frac{m_{\text{т}} \cdot g \cdot (l_1 - \gamma_1 \cdot h_{\text{сц}}) + N_{\text{сц}} \cdot (l_1 + l_{\text{ст}} - \gamma_1 \cdot h_{\text{сц}}) - m_{\text{т}} \cdot x_{\text{т}}'' \cdot (h_{\text{т}} - h_{\text{сц}})}{l_1 + l_2 + (\gamma_2 - \gamma_1) \cdot h_{\text{сц}}}; \quad (3)$$

$$N_1 = m_{\text{т}} \cdot g + N_{\text{сц}} - N_2 = \frac{m_{\text{т}} \cdot g \cdot (l_2 + \gamma_2 \cdot h_{\text{сц}}) - N_{\text{сц}} \cdot (l_{\text{ст}} - l_2 - \gamma_2 \cdot h_{\text{сц}}) + m_{\text{т}} \cdot x_{\text{т}}'' \cdot (h_{\text{т}} - h_{\text{сц}})}{l_1 + l_2 + (\gamma_2 - \gamma_1) \cdot h_{\text{сц}}}, \quad (4)$$

где  $m_{\text{т}}$  – масса тягача;  $N_1, N_2$  – нормальные реакции на первом и втором мостах тягача;  $l_1, l_2, l_{\text{ст}}$  – горизонтальные координаты центра масс тягача;  $h_{\text{т}}$  – вертикальная координата центра масс тягача;  $x_{\text{т}}''$  – замедление тягача.

Для определения нормальных реакций на мостах сочлененного троллейбуса для различных значений замедления при торможении, проводился на ЭВМ расчет уравнений (2–4) для снаряженного и с номинальной загрузкой троллейбуса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам расчета построены зависимости (рис. 2), которые показывают, что на переднем мосту троллейбуса происходит увеличение нормальной реакции по отношению к статическому состоянию для троллейбуса с полной загрузкой на 35,8 %, для снаряженного троллейбуса – на 33,5 %. На среднем мосту в этом случае происходит уменьшение нормальной реакции в случае троллейбуса с полной загрузкой на 3,6 % и для машины в снаряженном состоянии – на 8 %. На мосту прицепа также имеет место уменьшение нормальной нагрузки, однако, несколько более заметное, чем для сред-

него моста. Таким образом, наиболее существенное изменение нормальной реакции при увеличении эффективности торможения характерно для переднего моста. Это необходимо учитывать при выборе параметров тормозных механизмов, а также систем обеспечения управляемости и устойчивости движения.

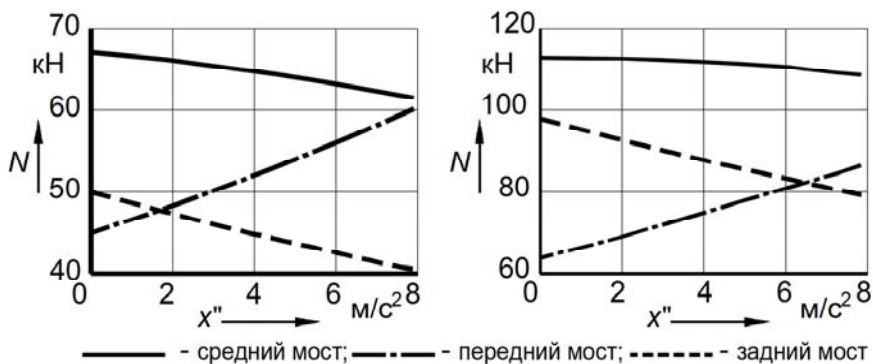


Рисунок 2 – Распределение нормальных реакций по мостам при различной эффективности торможения

## ЛИТЕРАТУРА

1. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и О 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.

2. ГОСТ 22895-77. Государственный Стандарт Республики Беларусь. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования: Введ. 01.01.81. – Мн. : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 20 с.

Представлено 12.05.2024