

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ  
В ТРАНСМИССИЯХ КОЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

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

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

*Аннотация. Рассмотрено движение полноприводной двухосной машины в тормозном режиме. Получены математические выражения для определения моментов, нагружающих трансмиссию, с учетом конструктивных параметров машины и эксплуатационных условий ее движения, проведены расчеты.*

*Abstract. The motion of a four-wheel drive biaxial machine in the braking mode is considered. Mathematical expressions for determination of the moments loading a transmission are received, taking into account design parameters of the car and operational conditions of its movement, calculations are carried out.*

*Ключевые слова: торможение, нагруженность, распределение моментов, трансмиссия, полноприводная машина.*

*Key words: braking, loading, torque distribution, transmission, all-wheel drive.*

## ВВЕДЕНИЕ

Наряду с динамическими показателями процесса торможения, определяющими эффективность работы тормозной системы, существенный интерес представляет анализ влияния конструктивных параметров трансмиссии на распределение моментов между мостами полноприводной машины. Как установлено в результате проведенных авторами исследований наибольший интерес представляет оценка нагруженности трансмиссии полноприводной машины, оборудованной тормозными механизмами (ТМ) только на одном из мостов (схемы характерны для универсально-пропашных тракторов).

Секция «ТРАКТОРЫ, МОБИЛЬНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ»  
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При торможении с заблокированным межосевым приводом происходит регулирование тормозных сил за счет перераспределения тормозного момента между мостами трактора. Перераспределяющийся момент нагружает трансмиссию машины, и его величина зависит от многих факторов: эффективности ТМ, развесовки машины по мостам, вида агрегатирования, перераспределения при торможении весовой нагрузки, сцепных качеств передних и задних колес и т.д.

Тормозные силы на колесах мостов машины с учетом перераспределения тормозного момента определяется по формулам:

$$F_1 = \frac{\Delta M \cdot \eta_{\text{тр}}}{u_{\text{тр}} \cdot r_{\text{к1}}}; \quad F_2 = \frac{(M_{\text{ТМ}} - \Delta M) \cdot \eta_2 \cdot u_2}{r_{\text{к2}}} \quad (1)$$

где  $M_{\text{ТМ}}$  – тормозной момент, развиваемый тормозными механизмами заднего ведущего моста;  $\Delta M$  – перераспределяющийся момент, снимаемый с задних тормозных механизмов;  $u_{\text{тр}}$  – передаточное отношение трансмиссии от передних колес до тормозных механизмов;  $\eta_{\text{тр}}$  – к.п.д. участка трансмиссии между передними колесами и тормозными механизмами;  $u_2$  – передаточное отношение от тормозных механизмов к колесам заднего моста;  $\eta_2$  – к.п.д. участка трансмиссии между тормозными механизмами и задними колесами.

При торможении с заблокированным приводом на прямолинейном участке дороги действительные линейные скорости колес переднего  $V_{\text{д1}}$  и заднего  $V_{\text{д2}}$  мостов равны между собой:  $V_{\text{д1}} = V_{\text{д2}}$ .

Для нахождения значений скольжений колес мостов с учетом их взаимосвязи разрешим уравнения (1) относительно  $\Delta M$  и приравняв полученные выражения в результате имеем:

$$\frac{F_1 \cdot u_{\text{тр}} \cdot r_{\text{к1}}}{\eta_{\text{тр}}} = M_{\text{ТМ}} - \frac{F_2 \cdot r_{\text{к2}}}{\eta_2 \cdot u_2} \quad (2)$$

Значения тормозных сил определяем по известным зависимостям

$$F_i = N_i \cdot \varphi_i = N_i \cdot \varphi_{i \text{ max}} \cdot (1 - e^{-k_i \cdot S_i}), \quad (3)$$

Секция «ТРАКТОРЫ, МОБИЛЬНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ»  
 где  $N_i$  – нормальные реакции на колесах мостов;  $S_i$  – скольжения колес мостов;  $k_i$  – коэффициенты кривых скольжения.

С учетом кинематического несоответствия  $m_H$  взаимосвязь скольжений колес мостов  $S_1$  и  $S_2$  можно представить в виде:

$$S_1 = m_H + S_2 \cdot (1 - m_H); \quad S_2 = (S_1 - m_H)/(1 - m_H). \quad (4)$$

Подставляя значения нормальных реакций в (3), а затем в (2) и зажаваясь значением тормозного момента  $M_{TM}$  определяем величину скольжения заднего моста  $S_2$ , а затем, с учетом (4) получаем выражение для нахождения величины перераспределяющегося момента:

$$\begin{aligned} \Delta M = M_{TM} - & \left[ \frac{m \cdot g \cdot (l_1 - A) - F_{\text{сопр}} \cdot h - F_{\text{сц}} \cdot (h - h_{\text{сц}})}{B} \right] + \\ & + \left[ \frac{Q_{\text{сц}} \cdot (L + l_{\text{сц}} - A) - F_{\text{сопр}} \cdot h - F_{\text{сц}} \cdot (h - h_{\text{сц}})}{B} \right] \cdot \\ & \cdot \varphi_{2 \max} \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot S_2}) \cdot r_{k2} / (\eta_2 \cdot u_2), \\ A = \varphi_{1 \max} \cdot & (1 - e^{-k_1 \cdot (m_H + S_2 \cdot (1 - m_H))}) \cdot h, \\ B = L - & (A - \varphi_{2 \max} \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot S_2})) \cdot h, \end{aligned}$$

где  $L, l_1, h$  – база машины, горизонтальная и вертикальная координаты центра масс;  $m$  – масса машины;  $l_{\text{сц}}, h_{\text{сц}}$  – горизонтальная и вертикальная координаты сцепки;  $F_{\text{сц}}, Q_{\text{сц}}$  – горизонтальная и вертикальная составляющие усилия в сцепке;  $F_{\text{сопр}}$  – сила сопротивления движению машины.

Как следует из полученных зависимостей (рисунок 1), при увеличении момента тормозного механизма влияние кинематического несоответствия на перераспределение моментов снижается. Это объясняется тем, что при указанных значениях тормозных моментов происходит полная реализация сцепных качеств колес заднего моста, и колеса переднего моста также находятся в условиях, близких к их полному скольжению.

При отрицательных значениях кинематического несоответствия по мере увеличения его абсолютных значений происходит снижение

Секция «ТРАКТОРЫ, МОБИЛЬНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ» величины момента, подводимого к колесам переднего моста, и увеличение значений момента, подводимого к колесам заднего моста. При росте положительных значений кинематического несоответствия происходит обратная картина – снижается момент на колесах заднего и увеличивается момент на колесах переднего моста.

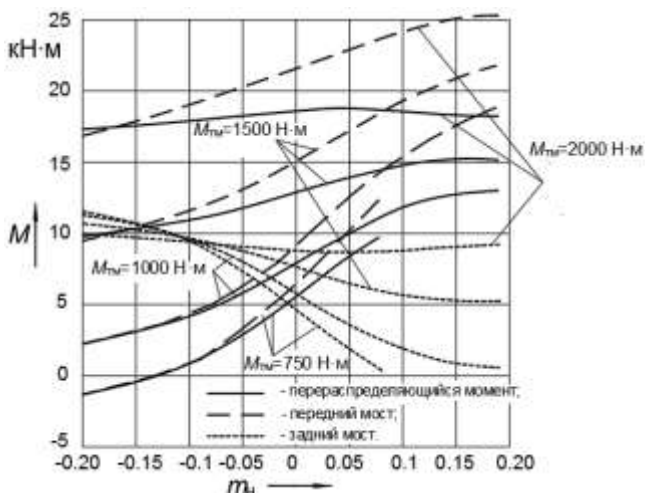


Рисунок 1 – Распределение моментов между мостами трактора Беларус-1221 при различных значениях тормозных моментов

Наибольшие значения перераспределяющегося момента достигают 17 кН·м. Величина суммарного момента, нагружающего передний мост в приведении к его колесам, имеет место при  $m_H = 0,16$  и составляет 25,2 кН·м.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные зависимости свидетельствуют, что величина перераспределяющегося между мостами момента существенно зависит от эффективности тормозных механизмов и кинематического несоответствия межосевого привода, что следует учитывать при проектировании трансмиссии полноприводной машины, согласовывая тормозную эффективность с величиной кинематического несоответствием.

Представлено 17.05.2019