

В. В. Гуськов, Г. П. Грибко, Н. А. Черноморец
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТОРМОЖЕНИЯ
ТРАКТОРНОГО ПОЕЗДА НА БАЗЕ ТРАКТОРА КЛ. 1,4 т

Широкое использование колесных тракторов на транспортных работах в сельском хозяйстве (до 60—70% времени от полной загрузки колесного трактора кл. 0,9—1,4 т), тенденция к повышению энергонасыщенности трактора до 25 л. с./т и соответственно повышение транспортных скоростей до 35 км/ч, а в перспективе до 40 км/ч и выше, увеличение грузоподъемности тракторного агрегата, а также необходимость обеспечения безопасности движения в сложных условиях эксплуатации выдвигают проблему оснащения тракторного поезда эффективными системами торможения. Это в свою очередь требует изучения динамики торможения тракторного поезда.

В общем случае дифференциальное уравнение движения тракторного агрегата при торможении имеет вид:

$$\frac{d_2x}{dt^2} \Sigma m = \Sigma P(t), \quad (1)$$

где $\frac{d_2x}{dt^2}$ — замедление движения агрегата при торможении; Σm — масса агрегата; $\Sigma P(t)$ — сумма проекций на направление движения внешних сил, действующих на агрегат.

Уравнение (1) является нелинейным, и решение его в общем виде невозможно.

В качестве примера рассмотрим тракторный поезд, расчетная схема которого представлена на рис. 1. При этом примем следующие допущения:

1) замедление поезда происходит только в результате действия тормозных сил;

2) торможение происходит без блокировки колес, т. е. тормозные силы, подведенные к колесу, в любой момент времени реализуются полностью.

Сумма проекций всех сил на направление движения, действующих на двухосный прицеп 3:

$$\frac{d_2x}{dt^2} m_3 = P_{\tau 3} - P_{2, 3}; \quad (2)$$

для одноосного прицепа 2

$$\frac{d_2x}{dt^2} m_2 = P_{\tau_2} + P_{2,3} - P_{1,2}; \quad (3)$$

для трактора 1

$$\frac{d_2x}{dt^2} m_1 = P_{\tau_1} + P_{1,2}, \quad (4)$$

где P_{τ_1} , P_{τ_2} , P_{τ_3} — тормозные силы; $P_{1,2}$, $P_{2,3}$ — усилия в сцепках; m_1 , m_2 , m_3 — массы соответствующих звеньев агрегата.

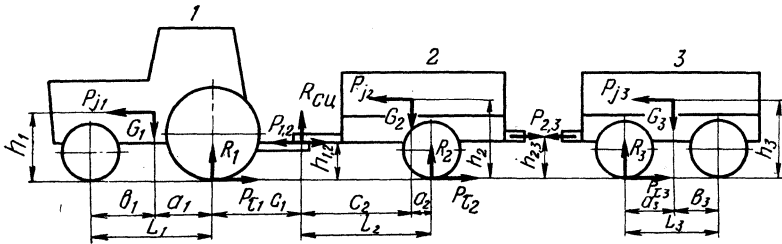


Рис. 1. Расчетная схема тракторного поезда.

Из уравнения (2)

$$P_{2,3} = P_{\tau_3} - \frac{d_2x}{dt^2} m_3; \quad (5)$$

из уравнения (4)

$$P_{1,2} = \frac{d_2x}{dt^2} m_1 - P_{\tau_1}. \quad (6)$$

Подставив в уравнение (3) значения выражений (5) и (6), получим:

$$\frac{d_2x}{dt^2} m_1 + \frac{d_2x}{dt^2} m_2 + \frac{d_2x}{dt^2} m_3 = P_{\tau_1} + P_{\tau_2} + P_{\tau_3},$$

или окончательно

$$jM = P_{\tau_1} + P_{\tau_2} + P_{\tau_3}, \quad (7)$$

где $M = m_1 + m_2 + m_3$ — общая масса агрегата; $j = \frac{d_2x}{dt^2}$ — общее замедление.

Усилия в сцепках отсутствуют при условии $P_{2,3} = 0$, если

$$\frac{P_{\tau 3}}{m_3} = \frac{d_2 x}{dt^2},$$

или $j_3 = j$, где j_3 — парциальное замедление звена 3.

И $P_{1,2} = 0$, если

$$\frac{P_{\tau 1}}{m_1} = \frac{d_2 x}{dt^2},$$

или $j_1 = j$, где j_1 — парциальное замедление звена 1.

Предположим, $P_{2,3} = P_{1,2} = 0$, тогда

$$\frac{P_{\tau 2}}{m_2} = \frac{d_2 x}{dt^2},$$

или $j_2 = j$, где j_2 — парциальное замедление звена 2.

Следовательно, условием отсутствия усилий в сцепках является равенство парциальных замедлений всех звеньев поезда: $j_1 = j_2 = j_3 = j$.

Определим условия наличия в сцепках растягивающих (положительных) усилий: $P_{2,3} > 0$, если

$$P_{\tau 3} - \frac{d_2 x}{dt^2} m_3 > 0,$$

или $j_3 > j$.

И $P_{1,2} > 0$, если

$$\frac{d_2 x}{dt^2} m_1 - P_{\tau 1} > 0,$$

или $j_1 < j$.

Таким образом, величина и знак усилий в сцепках зависят от соотношения парциальных замедлений звеньев поезда.

В реальных условиях может иметь место асинхронность срабатывания тормозов осей тракторного поезда, причем тормозные силы достигают заданной величины в течение некоторого промежутка времени. Вследствие этого в начальный период торможения будет неустановившийся режим, на протяжении которого соотношение парциальных замедлений может быть различным и лишь при достижении заданного значения последних всеми звеньями поезда установится их постоянное соотношение.

В работах ряда исследователей [1, 2] при решении уравнения торможения транспортного средства принимается нарастание за-

медления по закону прямой. Это в значительной мере облегчает решение с достаточной точностью.

Однако, пользуясь аналитическими методами, сложно учесть влияния асинхронности срабатывания тормозов и проследить характер процесса торможения во времени.

Нами было проведено совместное решение уравнений (5), (6) и (7) на аналоговой вычислительной машине МНБ-1 при следующих исходных данных: начальная скорость торможения $v_{нач} = 30$ км/ч; нарастание парциальных замедлений по закону прямой; время нарастания замедления от нуля до максимальной величины $t_1 = 0,5$ сек.

Геометрические и весовые показатели исследуемого тракторного поезда приведены в табл. 1.

Таблица 1
Геометрические и весовые показатели исследуемого трактора

$G_1, \text{ кг}$	$G_2, \text{ кг}$	$G_3, \text{ кг}$	$b_3, \text{ м}$	$h_3, \text{ м}$	$L_1, \text{ м}$	$h_1, \text{ м}$	$a_1, \text{ м}$	$b_1, \text{ м}$
3000	6300	5300	1,35	1,3	2,37	0,783	0,788	1,582
$c_1, \text{ м}$	$h_{1,2}, \text{ м}$	$L_2, \text{ м}$	$a_2, \text{ м}$	$c_2, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$h_{2,3}, \text{ м}$	$L_3, \text{ м}$	$a_3, \text{ м}$
0,35	0,43	3,55	0,55	3	1,3	0,6	2,7	1,35

В качестве переменных величин при решении задавались:

1. Соотношение максимальных парциальных замедлений, определяемое по выражению

$$\frac{j_3}{j_2} = \frac{j_2}{j_1} = q.$$

Очевидно, что при $q > 1$ усилия в сцепках должны быть растягивающие, а при $q < 1$ — сжимающие.

2. Время асинхронности срабатывания тормозов Δt . Причем Δt считается положительным, если торможение поезда начинается с прицепа 3 и затем через равные промежутки времени тормозятся соответственно прицеп 2 и трактор 1.

В процессе решения на ленту осциллографа записывались следующие величины: замедление \ddot{x} ; скорость \dot{x} ; путь x ; усилия в сцепках $P_{1,2}$ и $P_{2,3}$.

На рис. 2 представлен типичный фрагмент осциллограммы для случая, когда $q > 1$ и $\Delta t > 0$, по которому можно проанализировать характер изменения исследуемых величин в течение всего времени торможения. Время торможения можно условно разде-

лить на два периода: 1) период неустановившегося режима торможения; 2) период установившегося режима.

В первый период замедление и усилия в сцепках возрастают, причем последние к концу периода начинают уменьшаться, имея при этом ярко выраженные максимумы. К началу второго периода замедление достигает максимальной величины, а усилия в сцепках достигают своего номинального значения. В течение второго периода замедление и усилия в сцепках остаются постоянными, скорость падает до 0.

Анализ результатов решений при различных вариантах соотношений q и Δt показывает, что:

1. Максимальные значения усилий в сцепках зависят главным образом от величины Δt , причем при положительных значениях Δt максимальные усилия в сцепках будут растягивающие, при отрицательных сжимающие. В то же время номинальные значения усилий в сцепках зависят от отношения парциальных замедлений и не зависят от Δt . При синхронном торможении ($\Delta t=0$) максимальные значения усилий в сцепках равны номинальным.

2. Величина тормозного пути зависит от асинхронности срабатывания тормозов Δt . Типичная зависимость тормозного пути

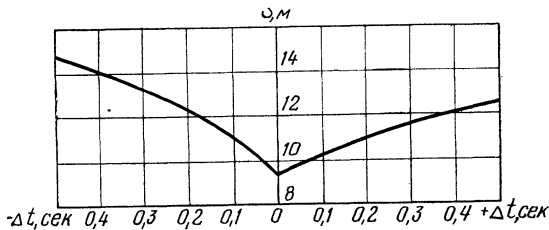


Рис. 3. Зависимость тормозного пути от асинхронности срабатывания тормозов ($j_{\max} = 5,5$ м/сек², $q=1,2$).

от Δt представлена на графике (рис. 3). Как видно из графика, при отрицательных значениях Δt тормозной путь возрастает быстрее, чем при положительных.

Общезвестно, что тормозной путь уменьшается с увеличением максимального замедления, но максимальное замедление ограничено условием сцепления колес с дорогой. Предельно воз-

можные тормозные силы, а следовательно, и парциальные замедления определяются из выражений:

$$P_{\tau 1 \max} = m_1 j_{1 \max} = R_1 \varphi; \quad (8)$$

$$P_{\tau 2 \max} = m_2 j_{2 \max} = R_2 \varphi; \quad (9)$$

$$P_{\tau 3 \max} = m_3 j_{3 \max} = R_3 \varphi, \quad (10)$$

где R_1, R_2, R_3 — опорные реакции, φ — коэффициент сцепления с дорогой.

Из рис. 1

$$R_1 = \frac{G_1 \left(b_1 - \frac{d_2 x}{dt^2} \cdot \frac{h_1}{g} \right) + R_{\text{сш}} (L + c_1) + P_{1, 2} h_{1, 2}}{L_1}; \quad (11)$$

где

$$R_{\text{сш}} = \frac{G_2 \left(\frac{d_2 x}{dt^2} \cdot \frac{h_2}{g} + a_2 \right) - P_{2, 3} (h_{2, 3} - h_{1, 2})}{L_2}; \quad (12)$$

$$R_2 = \frac{G_2 \left(c_2 - \frac{d_2 x}{dt^2} \cdot \frac{h_2}{g} \right) - P_{\tau 2} h_{1, 2} + P_{2, 3} (h_{2, 3} - h_{1, 2})}{L_2}; \quad (13)$$

$$R_3 = \frac{G_3 \left(\frac{d_2 x}{dt} \cdot \frac{h_3}{g} + a_3 \right) + P_{2, 3} h_{2, 3}}{L_3}. \quad (14)$$

Используя выражения (8), (9), (10), (11), (12), (13) и (14), получим:

$$j_{1 \max} = \frac{\left[b_1 + n - \frac{a_2 (L_1 + c_1)}{h_2} \right] g \varphi}{L + \left[h_1 - n - \frac{h_2 (L_1 + c_1)}{L_2} \right] \varphi},$$

где

$$n = \frac{G_2}{G_1};$$

$$j_{2 \max} = \frac{c_2 g \varphi}{L_2 + h_2 \varphi};$$

$$j_{3 \max} = \frac{a_3 g \varphi}{L_3 - h_3 \varphi}.$$

Общее максимальное замедление поезда можно определить по формуле, приведенной в работе [1],

$$j_{\max} = \frac{j_1 \max m_1 + j_2 \max m_2 + j_3 \max m_3}{M}$$

Усилия в сцепках определяем по формулам (4) и (5).

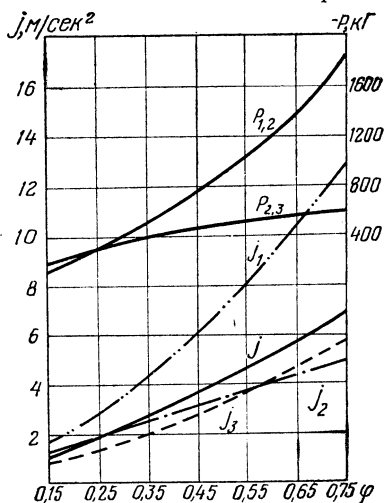


Рис. 4. Зависимость максимальных замедлений и усилий в сцепках от коэффициента сцепления колеса с дорогой.

По полученным результатам стрсим совмещенный график зависимостей замедлений и усилий в сцепках от коэффициента сцепления колеса с дорогой φ (рис. 4).

По графику можно определить максимальное замедление агрегата, а также величины парциальных замедлений, необходимых для 100-процентного использования сцепного веса в различных дорожных условиях.

Как видно из графика, закон изменения парциального замедления для каждого звена агрегата должен быть различным, что можно достичь применением специальных регуляторов.

Из графика следует, что при 100-процентном использовании сцепного веса тракторного поезда усилия в сцепках будут сжимающие (отрицательные) даже при одновременном срабатывании тормозов, что менее всего желательно.

Регулировать величины усилий в сцепках можно за счет изменения конструктивных и весовых показателей звеньев поезда, при этом будут соответственно изменяться парциальные замедления, а общее замедление необходимо иметь такой величины, чтобы обеспечить тормозной путь (при известном времени срабатывания тормозов) допустимой величины.

Литература

- [1] Беленький Ю. Б., Метлюк Н. Ф. и др. Новое в расчете и проектировании тормозов автомобилей. М., 1965. [2] Закин Я. Х., Щукин М. М. и др. Конструкции и расчет автомобильных поездов. Л., 1968.