

машины. – 2005. – № 4. – С. 26-28.

4. Агеев Л.Е., Джаборов Н.И., Эвиев В.А. Оптимизация энергетических параметров МТА // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 2. – С. 19-20.

#### **Анотація**

### **ЭФФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗА ЕНЕРГОВИТРАТАМИ ТРАКТОРІВ ПРИ ОСНОВНІЙ ОБРОБЦІ ҐРУНТУ**

Лебедев С., Пипченко О.

*За результатами експериментальних досліджень оцінено енерговитрати тракторів загального призначення при основній обробці ґрунту.*

#### **Abstract**

### **EFFICIENT USE OF ENERGY COSTS OF THE TRACTOR TILLAGE**

S. Lebedev, A. Pipchenko

*According to the results of experimental researches energy general purpose tractors in primary processing of soil.*

**УДК 629.114**

### **ВЛИЯНИЕ БЛОКИРОВКИ КОЛЕС НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ КЛАССИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ**

**Подригало М.А., д.т.н., проф., Савченков Б.В., к.т.н., Холодов М.П.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*Определенное влияние блокировки задних колес на эффективность торможения тракторов классической компоновки. Показано, что снижение эффективности торможения обусловлено резким уменьшением вертикальной нагрузки на колеса при их блокировании.*

**Введение.** Большинство моделей тракторов классической компоновки классов 6-14 кН имеют тормозные механизмы только на колесах задней (наиболее нагруженной) оси. При торможении нормальная реакция опорной поверхности на задних колесах уменьшается, что влечет за собой уменьшение предельной по сцеплению тормозной силы и снижение эффективности торможения. Причиной снижения вертикальной нагрузки на ось является действие опрокидывающего момента на трактор в продольной плоскости в процессе торможения.

В настоящей статье определено влияние блокировки колес на уменьшение нормальной реакции опорной поверхности, действующей на

задние (тормозные) колеса трактора классической компоновки. Показано, что наилучшим с позиции обеспечения максимально возможной эффективности торможения является режим торможения при задних колесах трактора, находящихся на пределе блокирования.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Для оценки эффективности торможения колесного трактора с одной задней тормозной осью используется расчетная схема, приведенная на рис. 1.

Предельная по сцеплению тормозная сила, которую способен реализовать трактор определяется следующей зависимостью

$$P_T = \varphi R_{z2}, \quad (1)$$

где:  $\varphi$  – коэффициент сцепления колес с дорогой;

$R_{z2}$  – нормальная (вертикальная) реакция дороги на задних колесах (суммарная).

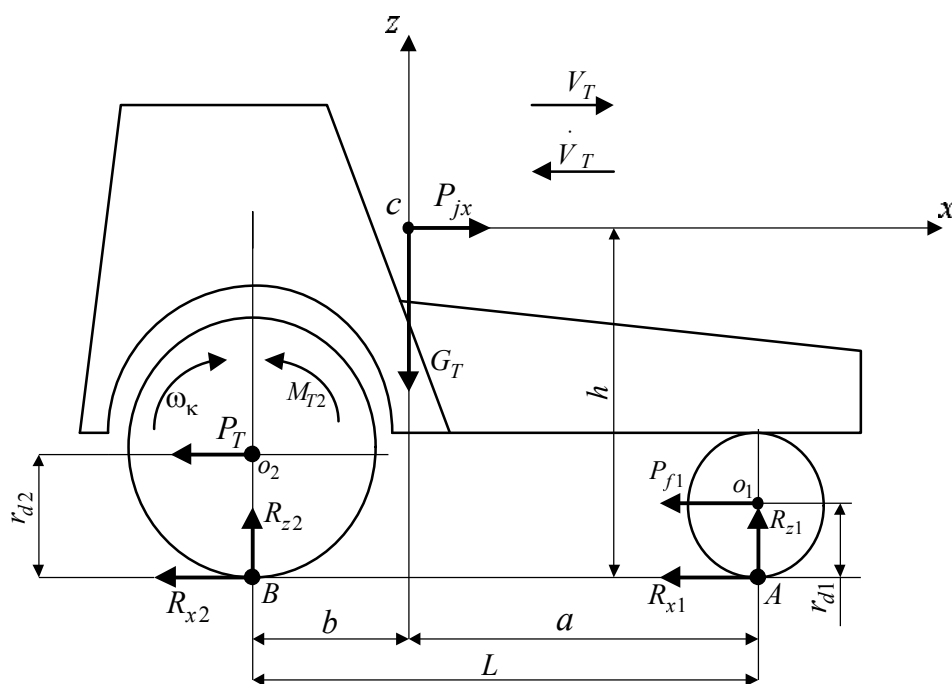


Рис. 1 – Схема сил, действующих на трактор при торможении.

Для определения реакции  $R_{z2}$  составляется уравнение равновесия моментов в продольной плоскости симметрии трактора [1]

$$\sum M_A = R_{z2} \cdot L - G_T \cdot a + P_{jx} \cdot h = 0, \quad (2)$$

где:  $L$  – продольная колесная база;

$a$  – расстояние от передней оси трактора до проекции центра масс на горизонтальную плоскость;

$h$  – высота центра масс трактора;

$G_T$  – общий вес трактора;

$P_{jx}$  – сила инерции поступательного движения трактора,

$$P_{jx} = -\frac{G_T}{g} \dot{V}_T = \frac{G_T}{g} j_x, \quad (3)$$

где:  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\dot{V}_T$  – линейное ускорение трактора;

$j_x$  – замедление трактора при торможении,

$$j_x = -\dot{V}_T. \quad (4)$$

Из выражения (2) определим

$$R_{z2} = G_T \cdot \frac{a}{L} - P_{jx} \cdot \frac{h}{L} = G_T \cdot \left( \frac{a}{L} - \frac{j_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right). \quad (5)$$

Учитывая выражение (1), а также известное [2] соотношение

$$j_x = m_x \varphi g, \quad (6)$$

получим после преобразований

$$m_x = \frac{a/L}{1 + \varphi h/L}, \quad (7)$$

где:  $m_x$  – коэффициент использования сцепного веса трактора при торможении только задними колесами [3],

$$m_x = \frac{P_T}{\varphi G_T}. \quad (8)$$

Подставляя (7) в (6), получим уравнение для максимально возможного замедления трактора при торможении только задних колес

$$j_x' = \varphi g \frac{a/L}{1 + \varphi h/L}. \quad (9)$$

Условием достаточности установки тормозов только на колесах задней оси является [3]

$$j_x \geq [j_x], \quad (10)$$

где:  $[j_x]$  – нормативное значение среднего установившегося замедления трактора;

$[j_x] = 3,5 \text{ м/с}^2$  – в соответствии со стандартами СНГ [4] и  $[j_x] = 2,5 \text{ м/с}^2$  – по международным стандартам [5].

Невыполнение условия (10) для определенных моделей тракторов, а также рост транспортных скоростей движения  $V_T$  до 40 км/ч и выше вынудил многие фирмы-производители устанавливать тормоза не только на задних, но и на передних колесах тракторов классической компоновки [6,7]. Это повлекло за

собой увеличение себестоимости продукции и усложнение конструкции тракторов.

Однако при составлении уравнения (2) авторами работ [1,2,3,7] рассматривалась одномассовая расчетная схема, характерная для движения трактора с заблокированными колесами при торможении. В этом случае величина нормальной реакции на задних колесах трактора меньше, чем при торможении с колесами находящимися на грани блокирования. Таким образом, реализуются меньшая тормозная сила  $P_T$  и замедление  $j_x$  трактора.

**Цель и постановка задачи.** Целью исследования является оценка возможности повышения эффективности торможения колесных тракторов только задними тормозными механизмами при поддержании колес на пределе блокирования.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить нормальную реакцию на задних незаблокированных колесах трактора;

- произвести оценку увеличения эффективности торможения трактора при поддержании задних колес на пределе блокирования.

**Определение нормальных реакций на задних колесах.** Тормозной момент  $M_T$  на колесе, как и касательная реакция  $R_x$  в контакте колеса с дорогой являются внешними по отношению к колесу и трактору усилиями [8]. При блокировании колеса тормозной момент  $M_T$  становится внутренним усилием и, для данного случая, уравнение (2) справедливо. При незаблокированных в процессе торможения колесах (рис.1) момент  $M_{T2}$  и касательная реакция  $R_{x2}$  приводятся к тормозной силе  $P_T$ , приложенной к оси задних колес. В этом случае, составляя уравнение равновесия моментов относительно центра масс трактора, получим

$$\sum M_c = R_{z1} \cdot a - R_{x1} \cdot (h - r_{\ddot{a}1}) - R_{z2} \cdot b - P_T(h - r_{\ddot{a}2}) = 0, \quad (11)$$

где:  $b$  – расстояние от задней оси до проекции центра масс трактора на горизонтальную плоскость;

$R_{z1}$  – нормальная реакция дороги на передних колесах;

Откуда определим  $R_{z2}$ , учитывая, что  $R_{z1} = G_T - R_{z2}$

$$R_{z2} = G_T \cdot \frac{a}{L} - P_T \cdot \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L} - R_{x1} \cdot \frac{h - r_{\ddot{a}1}}{L}, \quad (12)$$

где:  $r_{\ddot{a}1}, r_{\ddot{a}2}$  – динамические радиусы передних и задних колес, соответственно;

$R_{x1}$  - касательная реакция на передних колесах трактора обусловленная сопротивлением качению передних колес,

$$R_{x1} = f \cdot R_{z1} = P_{f1} \quad (13)$$

где:  $f$  – коэффициент сопротивления качению передних колес;

$P_{f1}$  - суммарное сопротивление качению передних колес.

Подставляя (13) в (12) и учитывая, что  $R_{z1} = G_T - R_{z2}$ , получим

$$R_{z2} = \frac{G_T \left( \frac{a}{L} - f \frac{h - r_{\ddot{a}1}}{L} \right) - P_T \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L}}{1 + f \frac{h - r_{\ddot{a}1}}{L}}. \quad (14)$$

Пренебрегая величиной  $f \frac{h - r_{\ddot{a}1}}{L}$  (ввиду ее относительной малости) упростим выражение (14)

$$R_{z2} = G_T \frac{a}{L} - P_T \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L}. \quad (15)$$

При торможении на пределе блокирования задних колес допустимо использовать соотношение (1). В этом случае уравнение (15) примет вид

$$R_{z2} = G_T \frac{\frac{a}{L}}{1 + \varphi \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L}}. \quad (16)$$

**Оценка увеличения эффективности торможения трактора при поддержании задних колес на пределе блокирования.** Максимально возможная тормозная сила, реализуемая на пределе блокирования задних колес трактора, определяется после подстановки (16) в (1)

$$P_T = G_T \varphi \frac{\frac{a}{L}}{1 + \varphi \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L}}. \quad (17)$$

Замедление трактора при торможении

$$j_x'' = \frac{P_T}{G_T} g = \varphi g \frac{\frac{a}{L}}{1 + \varphi \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L}} = m_x \varphi g. \quad (18)$$

Коэффициент использования сцепного веса трактора при торможении

$$m_x = \frac{\frac{a}{L}}{1 + \varphi \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L}} = \frac{\frac{a}{L}}{1 + \varphi \frac{h}{L} \left( 1 - \frac{r_{\ddot{a}2}}{h} \right)}. \quad (19)$$

Сравнивая между собой выражения (9) и (18), а также – (7) и (19), можно сделать вывод о том, что при поддержании задних колес трактора на пределе

блокирования происходит увеличение  $m_x$  и  $j_x$  по сравнению с режимом торможения трактора при заблокированных задних колесах.

Относительное увеличение замедления трактора при поддержании задних колес трактора на пределе блокирования по сравнению с вариантом заблокированных задних колес

$$\delta j_x = \left( \frac{j_x''}{j_x'} - 1 \right) 100\% = \frac{\frac{\varphi r_{\ddot{a}2}}{L}}{1 + \varphi \frac{h - r_{\ddot{a}2}}{L}} 100\%. \quad (20)$$

На рис. 2 приведены графики зависимостей  $\delta j_x(\varphi)$  для нескольких моделей колесных тракторов классической компоновки различных лет выпуска. Анализ графиков приведенных на рис. 2 показывает, что поддержание задних колес тракторов на пределе блокирования позволяет повысить эффективность торможения (величину установившегося замедления) на 10-20% в зависимости от геометрических параметров тракторов и коэффициента  $\varphi$  сцепления колес с дорогой. В таблице 1 приведены геометрические параметры тракторов, использованные при расчете характеристик, приведенных на рис. 2.

Таблица 1 – Геометрические параметры анализируемых моделей тракторов

Модель трактора	Шины задних колес	$h$ , м	$L$ , м	$r_{\ddot{a}2} = r_{\ddot{n}02}^*$ , м
T-16МГ	9,5-32	0,954	2,5	0,590
МТЗ-80/МТЗ-80Л	15,5 R38	0,805	2,37	0,730
МТЗ-80/МТЗ-80Л	18,4 L38	0,758	2,37	0,693
ХТЗ-6021	12,4 R28	0,852	2,175	0,578

\*) При расчетах динамический радиус заднего колеса  $r_{\ddot{a}2}$  принимался равным статическому радиусу  $r_{\ddot{n}02}$ .

При получении зависимости (9) принималось допущение о том, что коэффициент  $\varphi$  сцепления с дорогой колес, находящихся на грани блокирования и заблокированных, одинаково. Однако известно, что при блокировании колес происходит уменьшение коэффициента сцепления последнего с дорогой. С учетом указанного замечания выражение (9) примет вид

$$j_x''' = \xi \varphi g \frac{\frac{a}{L}}{1 + \xi \frac{\varphi h}{L}}, \quad (21)$$

где:  $\xi$  – коэффициент учитывающий уменьшение коэффициента сцепления при блокировании колеса [9].

Для сухого асфальтобетона коэффициент  $\xi = 0,8$ . Относительное увеличение замедления трактора в этом случае

$$\delta j_x = \left( \frac{j_x''}{j_x'''} - 1 \right) 100\% = \frac{1 - \xi + \xi \varphi \frac{r_{a2}}{L}}{\xi \left( 1 + \varphi \frac{h - r_{a2}}{L} \right)} 100\%. \quad (22)$$

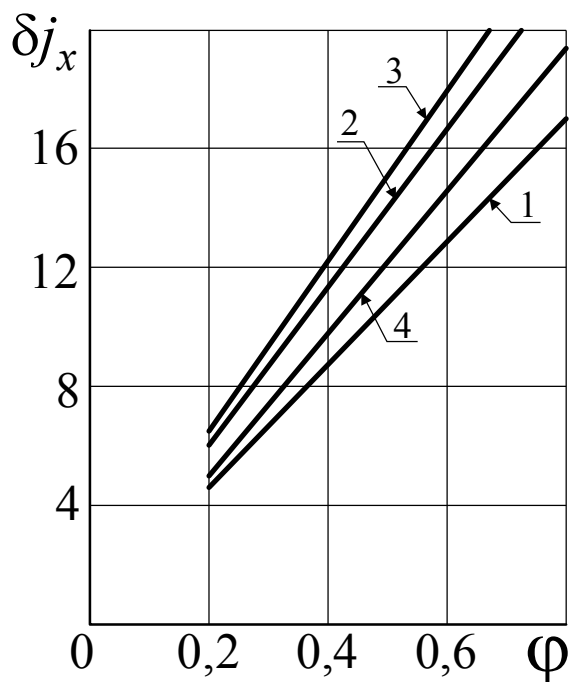


Рис. 2 – Относительное увеличение замедлений одиночного трактора при поддержании задних колес на пределе блокирования:

1 – самоходное шасси Т-16МГ (шины 9,5-32); 2 – трактор МТЗ-80/МТЗ-80Л (шины 15,5 R38); 3 – трактор МТЗ-80/МТЗ-80Л (шины 18,4 L38); 4 – трактор ХТЗ-6021 (шины 12,4 R28).

В таблице 2 приведен расчет  $\delta j_x$  с учетом уменьшения коэффициента сцепления  $\varphi$  при блокировании задних колес (для сухого асфальтобетона принимаем  $\varphi = 0,8$ ).

Анализ результатов расчета, приведенных, в таблице 2 показывает, что торможение трактора классической компоновки задними колесами, находящимися на грани блокирования, позволяет увеличить среднее установившееся замедление на сухом асфальтобетоне от 39% до 49% (в зависимости от модели трактора) по сравнению со случаем торможения с заблокированными колесами.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости улучшения управляемости тормозных механизмов трактора, что должно обеспечить водителю возможность более плавного подведения задних колес к пределу блокирования. В настоящее время на колесных тракторах классической компоновки классов 6-14 кН получили распространение закрытые дисковые тормоза с шариковым разжимным механизмом, обладающие высоким

серводействием и плохой управляемостью. Это означает, что торможения тракторов происходят с блокированием задних колес и низкой эффективностью. Резервом повышения эффективности торможения указанных тракторов (без установки тормозных механизмов на передние колеса) является применение на задних колесах тормозных механизмов прямого действия (без серводействия). Для компенсации повышения требуемого приводного усилия в настоящее время не составляет проблем применение усилителей в тормозном приводе. В качестве тормозных механизмов прямого действия лучше всего использовать дисковые тормозные механизмы открытого типа.

Таблица 2 – Относительное увеличение замедления трактора при поддержании задних колес на пределе блокирования с учетом падения коэффициента сцепления  $\varphi$  при блокировании колес ( $\varphi = 0,8; \xi = 0,8$ )

Модель трактора	$r_{\ddot{a}2} = r_{\ddot{n}02}, \text{м}$	$h, \text{м}$	$L, \text{м}$	$\delta j_x, 100\%$
Т-16МГ	0,590	0,954	2,5	39
МТЗ-80/МТЗ-80Л	0,730	0,805	2,37	48,4
МТЗ-80/МТЗ-80Л	0,693	0,758	2,37	47,3
ХТЗ-6021	0,578	0,852	2,175	42

## Выводы

1. Исследование одномассовой модели трактора классической компоновки с задними тормозными колесами не позволяет произвести оценку эффективности торможения при нахождении задних колес на пределе блокирования. Применение двухмассовой модели трактора для исследования процесса торможения позволило определить резерв повышения эффективности торможения за счет поддержания задних колес на пределе блокирования.

2. Полученные зависимости позволили определить, что даже при сохранении коэффициентом сцепления своей величины постоянной после блокирования колес на сухом асфальтобетоне относительное увеличение замедления при поддержании задних колес на пределе блокирования составляет от 16% до 20% и выше для различных моделей тракторов. При учете падения значения  $\varphi$  на 20% после блокирования задних колес на сухом асфальтобетоне указанное увеличение может достигать от 39% до 49% (в зависимости от модели трактора).

3. Применение на колесных тракторах классической компоновки тормозных механизмов с высоким серводействием (например, закрытых дисковых тормозов с шариковым разжимом колодок) приводит к их практически неуправляемому введению в действие, что влечет за собой быстрое блокирование задних колес и снижение эффективности торможения. Поэтому применение дисковых тормозов открытого типа (прямого действия) позволит улучшить управляемость тормозной системы, обеспечить возможность плавного доведения задних колес до грани блокирования и повысить эффективность торможения трактора без установки дополнительно тормозных механизмов на передние колеса.



## Список использованных источников

1. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков – М.: Машгиз, 1950. – 343 с.
2. Булгаков Н.А., Исследование динамики торможения автомобиля / Н.А. Булгаков, А.Б. Гредескул, С.И. Ломака // Научное сообщение №18. – Харьков: Изд-во Харьков. госуниверситета, 1962. – 36 с.
3. Тормозные свойства и тормозные механизмы колесных тракторов / [Подригало М.А., Волков В.П., Павленко В.А., Бобров Я.А., Абрамов Д.А.]; под ред. М.А. Подригало – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2007. – 507 с.
4. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.2.019 – 86. - [Введен. 01.07.87]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
5. Правила проверки тормозных устройств сельскохозяйственных механизмов и критерии их эффективности. ASAE S365. JТ (SAE J 1041). – Ростов на Дону: Перевод РН – 70996, 1987. – 15 с.
6. Лысов А.М., Развитие тормозных систем зарубежных тракторов при повышении транспортных скоростей / А.М. Лысов, С.Е. Либцис // Тракторы и сельхозмашины.- 1989, № 10.-с. 48-49.
7. Либцис С.Е. Требования к тормозным системам тракторов при повышении транспортных скоростей. / С.Е. Либцис, М.А. Подригало // Тракторы и сельхозмашины.- 1990.- № 11. - с. 20 - 21.
8. Подригало М.А. Качение автомобильного колеса и определение понятия «тяговая сила». / М.А. Подригало // Автомобильная промышленность. – 2007. - № 1. – с. 25-26.
9. Демьянюк В.А. Исследование возможности оптимизации процесса торможения автомобиля путем регулирования тормозных сил: дис... канд. техн. Наук:05.05.03. / Демьянюк Владимир Андреевич. - Львов, 1970.– 265 с.

## Анотація

### **БЛОКУВАННЯ ЗАДНІХ КОЛІС НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛЬМУВАННЯ ТРАКТОРІВ КЛАСИЧНОЇ КОМПОНОВКИ**

Подригало М., Савченков Б., Холодов М.

*Визначений вплив блокування задніх коліс на ефективність гальмування тракторів класичної компоновки. Показано, що зниження ефективності гальмування обумовлене різким зменшенням вертикального навантаження на колеса при їх блокуванні.*

## Abstract

### **IMPACT OF REAR-WHEEL LOCKING ON THE EFFICIENCY OF CONVENTIONAL-TRACTOR BRAKING**

M. Podrigalo, B. Savchenkov, M. Kholodov

*Impact of rear-wheel locking on the efficiency of conventional-tractor braking has been determined. Lower braking efficiency was shown to result from abrupt decrease in vertical load exerted on blocked wheels.*