

УДК 629.017

**ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ КАТКОВ С УЧЕТОМ  
ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ  
НАГРУЗКИ МЕЖДУ БОРТАМИ ГУСЕНИЧНОГО  
ТРАКТОРА**

**Дубинин Е.А., к.т.н., доц.; Полянский А.С., д.т.н., проф.**  
*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

**Хворост А.Г., асп.**  
*Харьковский национальный технический университет сельского  
хозяйства имени Петра Василенко*

*Получены зависимости для определения среднего значения вертикальной нагрузки на каждый опорный каток гусеничного движителя и ее рассеяние в зависимости от величины смещения линии действия суммарной вертикальной реакции относительно проекции*

*центра масс трактора на опорную плоскость. Полученные результаты позволяют оценить нагруженность катков гусеничного трактора при его агрегатировании с прицепными орудиями.*

### **Введение**

При работе гусеничного трактора с плугом возникает опрокидывающий момент, вызывающий перераспределение вертикальных реакций между бортами. В настоящей статье, с использованием вероятностного метода, определены вертикальные реакции на каждом из опорных катков гусеничного движителя с учетом действия опрокидывающего момента в поперечной плоскости. Получены аналитические зависимости, позволяющие осуществлять расчет указанных реакций с учетом геометрических параметров трактора и величины опрокидывающего момента.

### **Анализ последних достижений и публикаций**

Вероятностный метод определения вертикальных реакций на колесах многоосных автомобилей был ранее предложен в работах [1, 2]. В основу указанного метода было положено предположение о том, что распределение вертикальной реакции на одно колесо подчиняется нормальному закону. Используя правило "трех сигм" и определив максимально и минимально возможные вертикальные реакции на каждом колесе, авторы работ [1, 2] получили характеристики нормального распределения случайной величины (оценки математического ожидания и среднего квадратического отклонения). Однако полученные в работах [1, 2] аналитические выражения не могут быть использованы для оценки нагруженности катков гусеничного движителя при агрегатировании трактора с орудием (например, плугом) и действии опрокидывающих моментов.

### **Цель и постановка задач исследования**

Целью исследования является оценка нагруженности катков гусеничного трактора при его агрегатировании с прицепными орудиями и возникновении опрокидывающих моментов.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить исходную систему уравнений;
- определить экстремальные нагрузки на каждый каток;
- определить вероятностные характеристики нагрузки на каждый каток.

### **Определение исходной системы уравнений**

На рис.1 приведена расчетная схема сил, действующих на ходовую часть трактора при возникновении опрокидывающего момента  $M_y$  в по-

перечной плоскости. Действие момента  $M_y$  вызывает смещение суммарной вертикальной реакции дороги  $R_{z\Sigma}$  на величину  $y_0$  в поперечной плоскости (рис.1).

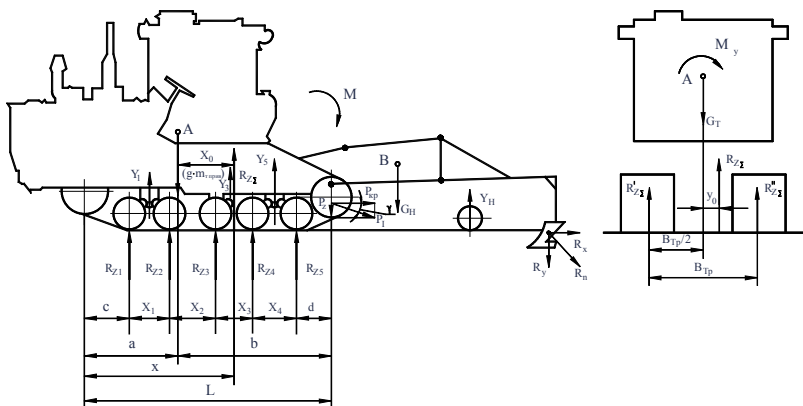


Рис.1 – Расчетная схема сил, действующих на ходовую часть трактора при возникновении момента  $M_y$

Величина указанного смещения может быть определена как

$$y_0 = \frac{M_y}{m_{\text{Тприв}} \cdot g}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{Тприв}}$  - приведенная, с учетом навесных орудий, масса трактора;

$g$  - ускорение силы тяжести,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ .

При действии момента  $M_y$  суммарная вертикальная реакция распределяется между гусеницами трактора следующим образом

$$\begin{cases} \frac{R'_{z\Sigma}}{R_{z\Sigma}} = 0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}}; \\ \frac{R''_{z\Sigma}}{R_{z\Sigma}} = 0,5 + \frac{y_0}{B_{mp}}; \end{cases} \quad (2) \quad (3)$$

где  $B_{mp}$  – поперечная база гусеничного трактора;

$R'_z, R''_z$  – суммарные вертикальные реакции опорной поверхности на менее и более нагруженных гусеницах.

В работе [2] для двухосного автомобиля определены вероятностным методом вертикальные реакции на колесах с учетом неравномерности их распределения между колесами одной оси. Для двухосного автомобиля, при распределении вертикальной нагрузки между двумя мостами, справедливы соотношения [2]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R'_{Z1}}{R_{Z\Sigma}} + \frac{R''_{Z1}}{R_{Z\Sigma}} = \frac{b}{L}; \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R'_{Z2}}{R_{Z\Sigma}} + \frac{R''_{Z2}}{R_{Z\Sigma}} = \frac{a}{L}; \end{array} \right. \quad (5)$$

$$R'_{Z1} + R''_{Z1} + R'_{Z2} + R''_{Z2} = R_{Z\Sigma}; \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R'_{Z1} + R'_{Z2} = R''_{Z1} + R''_{Z2} = 0,5, \end{array} \right. \quad (7)$$

где  $a, b$  – расстояния от передней и задней осей автомобиля до проекции центра масс на горизонтальную плоскость;

$L$  – продольная колесная база автомобиля;

$R'_{Z1}, R''_{Z1}$  – вертикальные реакции на колесах передней оси;

$R'_{Z2}, R''_{Z2}$  – вертикальные реакции на колесах задней оси.

Все обозначения с одним штрихом в работе [2] отнесены к колесам одного борта, а с двумя штрихами – к колесам другого борта. По аналогии с двухосным автомобилем, рассмотренным в работе [2], предположим, что, с учетом месторасположения точки приложения суммарной вертикальной реакции опорной поверхности, вертикальная нагрузка воспринимается только двумя парами опорных катков (симметрично с каждого борта трактора).

С учетом смещения  $y_0$  суммарной вертикальной реакции  $R_{Z\Sigma}$  и принятых выше допущений, соотношение между вертикальными реакциями опорных катков, условно воспринимающих эти реакции, можно определить как

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R''_{Z1}}{R_{Z\Sigma}} = \frac{b}{L} - \frac{R'_{Z1}}{R_{Z\Sigma}}; \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R'_{Z2}}{R_{Z\Sigma}} = 0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}} - \frac{R'_{Z1}}{R_{Z\Sigma}}; \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R'_{Z2}}{R_{Z\Sigma}} = 0,5 - \frac{b}{L} + \frac{y_0}{B_{mp}} + \frac{R'_{Z1}}{R_{Z\Sigma}}, \end{array} \right. \quad (10)$$

где  $L$  – условная продольная база трактора (расстояние между поперечными линиями, проходящими через оси опорных катков, воспри-

нимающих вертикальную нагрузку).

В системе, состоящей из трех уравнений (8)-(10) четыре неизвестные. Это означает, что задав значение одной из них, можно определить значения трех остальных. Приняв в качестве независимой переменной отношение  $R'_{z1}/R_{z\Sigma}$  (так удобнее) и приравняв последнюю к нулю, получим

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R''_{z1}}{R_{z\Sigma}} = \frac{b}{L}; \end{array} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R'_{z2}}{R_{z\Sigma}} = 0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}}; \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R''_{z2}}{R_{z\Sigma}} = 0,5 - \frac{b}{L} + \frac{y_0}{B_{mp}}. \end{array} \right. \quad (13)$$

При  $R'_{z1}/R_{z\Sigma} = 0$  в уравнении (13) должно выполняться условие

$\frac{R''_{z2}}{R_{z\Sigma}} \geq 0$ , что возможно при

$$\frac{b}{L} \leq 0,5 + \frac{y_0}{B_{mp}}. \quad (14)$$

Таким образом

$$\left( \frac{R''_{z2}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\min} = 0,5 - \frac{b}{L} - \frac{y_0}{B_{mp}}. \quad (15)$$

Выражение (15) справедливо при  $R'_{z1}/R_{z\Sigma} = 0$  и

$$\frac{b}{L} = 0,5 + \frac{y_0}{B_{mp}}. \quad (16)$$

Таким образом, при  $R'_{z1}/R_{z\Sigma} = \left( R'_{z1}/R_{z\Sigma} \right)_{\min} = 0$

$$\frac{R''_{z1}}{R_{z\Sigma}} = \left( \frac{R''_{z1}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\max} = \frac{b}{L}. \quad (17)$$

Из выражения (12) при  $R'_{z1}/R_{z\Sigma} = 0$  определим

$$\frac{R'_{z2}}{R_{z\Sigma}} = \left( \frac{R'_{z2}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\max} = 0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}}. \quad (18)$$

Таким образом, при выполнении условия (14), диапазон изменения относительной вертикальной реакции  $R'_{z1} / R_{z\Sigma}$  находится в пределах

$$0 \leq \frac{R'_{z1}}{R_{z\Sigma}} \leq \frac{b}{L}. \quad (19)$$

Аналогично рассмотрим распределение вертикальных реакций при  $\frac{b}{L} \geq 0,5 + \frac{y_0}{B_{mp}}$ . В этом случае возможно получение

$$\frac{R'_{z2}}{R_{z\Sigma}} = \left( \frac{R'_{z2}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\min} = 0, \quad (20)$$

а также

$$\left( \frac{R'_{z2}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\max} = \frac{a}{L}. \quad (21)$$

При выполнении условия (20) из уравнения (9) получим

$$\frac{R'_{z1}}{R_{z\Sigma}} = \left( \frac{R'_{z1}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\max} = 0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}}. \quad (22)$$

При выполнении условия (21) из уравнения (9) также определим

$$\frac{R'_{z1}}{R_{z\Sigma}} = \left( \frac{R'_{z1}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\min} = 0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}} - \frac{a}{L}. \quad (23)$$

Следовательно, при  $\frac{b}{L} \geq 0,5 + \frac{y_0}{B_{mp}}$ , изменение относительных вертикальных реакций на разгруженном борту происходит в пределах

$$0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}} - \frac{a}{L} \leq \frac{R'_{z1}}{R_{z\Sigma}} \leq 0,5 - \frac{y_0}{B_{mp}} \quad (24)$$

и

$$0 \leq \frac{R'_{z2}}{R_{z\Sigma}} \leq \frac{a}{L}. \quad (24)$$

### Определение экстремальных нагрузок на опорные катки

Представим пару катков, расположенных соосно на левой и правой гусеницах, как условный мост. Возможные варианты попарного нагружения условных мостов представлены в таблице 1.

В соответствии с вариантами, представленными в таблице 1, используя полученные зависимости, нами были определены максимальные и минимальные значения вертикальных реакций на каждом опорном катке при изменении параметра  $x$  в каждом из указанных интервалов.

Таблица 1. Варианты нагружения пар опорных катков (условных мостов)

$x=a+x_0$	$[c; c+x_1]$	$[c+x_1; c+x_1+x_2]$	$[c+x_1+x_2; c+x_1+x_2+x_3]$	$[c+x_1+x_2+x_3; c+x_1+x_2+x_3+x_4]$
Нагружены мосты	1,2;	1,3;	1,4;	1,5;
	1,3;	1,4;	1,5;	2,5;
	1,4;	1,5;	2,4;	3,5;
	1,5	2,3;	2,5;	4,5
		2,4;	3,4;	
		2,5	3,5	

$x_0$  – продольное смещение линии действия реакции  $R_{z\Sigma}$ , вызванное действием опрокидывающего момента  $M$  в продольной плоскости.

### Определение вероятностных характеристик нагрузки на опорные катки

Для каждого интервала значений  $x$  определены зависимости для наименьших и наибольших относительных вертикальных реакций на опорных катках.

Для нормального закона распределения величины относительных вертикальных реакций на опорных катках определим оценку математического ожидания

$$\left( \frac{\bar{R}_{zi}}{R_{z\Sigma}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left[ \left( \frac{R_{zi}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\max} + \left( \frac{R_{zi}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\min} \right], \quad (26)$$

где  $R_{zi}$  – вертикальная реакция на  $i$ -ом опорном катке.

Используя правило “трех сигм”, находим среднее квадратическое отклонение для вертикальной реакции на  $i$ -ом опорном катке

$$\sigma_{R_{zi}} = \frac{1}{\sigma} \cdot \left[ \left( \frac{R_{zi}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\max} - \left( \frac{R_{zi}}{R_{z\Sigma}} \right)_{\min} \right]. \quad (27)$$

### Выводы

Полученные зависимости позволяют определить среднее значение вертикальной нагрузки на каждый опорный каток гусеничного движителя и ее рассеяние в зависимости от величины смещения линии действия суммарной вертикальной реакции относительно проекции центра масс трактора на опорную плоскость.

## Список использованных источников

1. Подригало М.А., Карпенко В.А. Вероятностная оценка распределения вертикальных реакций между колесами одной оси автомобиля // Тракторная энергетика в растениеводстве. Серия "Тракторостроение". Сборник научных трудов ХГТУСХ, 1999. – с. 229-234.

2. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / Подригало М.А., Волков В.П., Карпенко В.А., Гецович Е.М., Бобошко А.А., Ефимчук В.М., Матырин А.Н. / Под ред. М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 614 с.

## Анотація

### ОЦІНКА НАВАНТАЖЕНОСТІ КОТКІВ З ВРАХУВАННЯМ ПЕРЕРЕЗПОДІЛУ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ БОРТАМИ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА

Дубінін Є.О., Полянський О.С., Хворост О.Г.

*Отримано залежності для визначення середнього значення вертикального навантаження на кожний опорний коток гусеничного рушія і її розсіювання залежно від величини зсуву лінії дії сумарної вертикальної реакції відносно проекції центра мас трактора на опорну площину. Отримані результати дозволяють оцінити навантаженість котків гусеничного трактора при його агрегуванні з причіпними знаряддями.*

## Abstract

### ESTIMATION THE SKATING RINK STRESS LOADING WITH PROVISION OF VERTICAL LOAD BETWEEN CATERPILLAR TRACTOR BOARDS REDISTRIBUTIONS

E. Dubinin, A. Poljansky, A. Khvorost

*Dependencies for determination of average importance of the vertical load on each supporting caterpillar movers skating rink and its dissipation depending on values of total vertical reaction lines of the action offset to projection of the tractor's masses centre on supporting plane are received. Got results allow to value caterpillar tractor's skating rink loading under its unitization with towed implements.*