

Рисунок – Датчик угла наклона головы оператора транспортного средства  
1 – металлический шар; 2 – первая контактная пластина;  
3 – вторая контактная пластина; 4, 5 – клеммы; 6 – ограничитель

#### Список использованных источников

1. Мероприятия по обеспечению безопасности дорожного движения при управлении транспортным средством сельскохозяйственного назначения / И.Н. Мисун, А.Г. Кузнецов, А.П. Миронь, В.Л. Мисун // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 марта 2019г./ редкол.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 312–314.

2. Устройство для предупреждения от засыпания за рулем оператора транспортного средства сельскохозяйственного назначения: пат. № 12302 Республики Беларусь на полезную модель / А.Л. Мисун, О.Г. Агейчик, Л.В. Мисун, А.Г. Кузнецов, В.А. Агейчик, А.П. Миронь, И.М. Морозова; заявл. 12.11.2019; опубл. 30.06.2020.

УДК 629.3.014.2

**Ляхов А.П.**, кандидат технических наук, доцент;

**Станкевич А.Ф.**, старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНОЙ СИЛЫ ТЯГИ И БУКСОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЯ ТРАКТОРА**

*Аннотация. Несмотря на проведенные теоретические и экспериментальные исследования [1-6] до сих пор не получены удовле-*

*творительные аналитические зависимости, с достаточной точностью описывающие процесс взаимодействия движителя с грунтом, образования силы тяги и особенно буксования движителя.*

### Основной текст

Трактор, как тяговая машина, характеризуется комплексом показателей его тягово-сцепных свойств, таких как коэффициент сцепления  $\varphi$ , сопротивления качению  $f$ , буксования ведущих колес  $\delta$ .

Значения указанных показателей зависят от типа движителя (колесный, гусеничный) его параметров, физико-механических свойств почвы с которой он взаимодействует при движении.

Существуют две точки зрения на механизм образования силы тяги за счёт сцепления движителя с грунтом:

— сцепление обеспечивается как за счет сил трения между опорной поверхностью движителя и грунтом, так и реакций при прессовании грунта упорными поверхностями грунтозацепов.

— сцепление происходит от сопротивления грунта сдвигу и сил трения почвенных кирпичей и грунтом при их относительном смещении.

Таким образом максимальная касательная сила тяги движителя определяется исходя из двух следующих допущений:

1. Максимальная сила тяги трактора создается за счет сопротивления сдвигу, почвенных кирпичей, зажатых между почвозацепами движителя и сил трения, действующих по вершинам и боковым поверхностям почвозацепов.

2. Сцепной вес трактора равномерно распределен по опорной поверхности контакта движителя с грунтом.

Известно [1, 2, 6], что максимальные касательные напряжения сдвига в грунте определяется по уравнению Кулона-Мора:

$$\tau = c + qtg\varphi \quad (1)$$

где  $c$ ,  $\varphi$  – коэффициенты, которые характеризуют свойства грунта и определяются по экспериментальным зависимостям  $\tau = f(q)$ .

Коэффициент  $c$  определяет сцепные связи частиц грунта,  $\varphi$  – внутреннее трение между частицами.

Экспериментальные зависимости уравнения (1) имеют следующий вид:

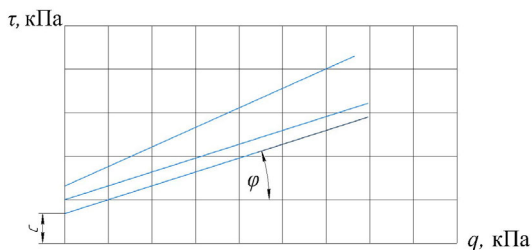


Рисунок 1 – Зависимости напряжений сдвига от давления по уравнению Кулона-Мора

Для определения максимальной касательной силы тяги необходимо левую и правую часть уравнения (1) умножить на площадь контакта (сдвига) и добавить силу трения, возникающую по поверхности почвозацепов движителя с грунтом. Кроме того, необходимо определить нормальные напряжения  $q$ , действующие по этим площадкам. Для этого при расчетах используются результаты экспериментальных зависимостей сдвига штампов либо отдельных элементов движителя которые по конструкции и материалу соответствующие реальным, а условия испытаний критерия подобия.

На рисунках 2, 3, 4 представлены экспериментальные данные полученные при сдвиге штампов на торфяно-болотных грунтах различного состояния [4].

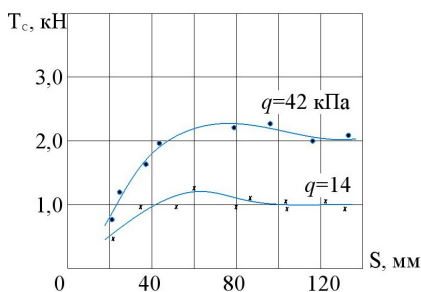


Рисунок 2 – Зависимость изменения сопротивления сдвигу  $T_c$  от смещения штампа  $S$

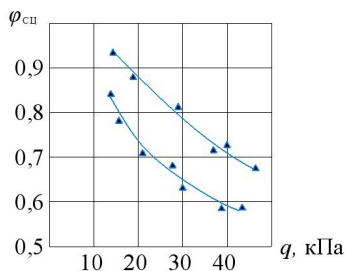


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента сцепления  $\varphi_{сц}$  от нормального давления  $q$

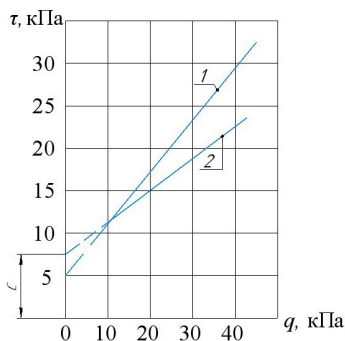


Рисунок 4 – Зависимость почвенных напряжений  $\tau$  сдвига от нормального давления  $q$ .

1 – торфяно-болотный грунт  $W = 77\%$ , твердость 350 кПа;

2 – торфяно-болотный грунт  $W = 85\%$ , твердость 160 кПа;  $c = 7$  кПа;  $\varphi = 30^\circ$

Суммарная площадь контакта движителя с почвой равна:

– площадь сдвига, приходящаяся на почвенные кирпичи между грунтозацепами движителя

$$S_0 = 2(BL - ibl) \quad (2)$$

где  $B$ ,  $L$  – соответственно ширина и длина площади контакта;

$i$  – количество почвозацепов;

$b$  – ширина вершины почвозацепа;

$l$  – длина почвозацепа.

Боковая площадь сдвига почвенных кирпичей:

$$S_1 = 4(hL - iS_b) \quad (3)$$

где  $h$  – высота почвозацепа;

$S_b$  – боковая площадь почвозацепа.

С учетом выражений (1, 2, 3) и удельных давлений по вершинам и боковым к поверхностям почвозацепов, а также силы трения определяем максимальную касательную силу тяги движителя.

$$P_{\kappa_{\max}} = C(S_0 + S_1) + G \left( 1 - i \frac{l}{L} \right) tg\varphi + P_1 \cdot tg\varphi + f_{\tau} G \cdot i \cdot \frac{l}{L} \quad (4)$$

где  $f_{\tau}$  – коэффициент трения материала движителя о грунт;

$G$  – эксплуатационный вес трактора;

$P_1$  – боковая распределенная сила, действующая по высоте почвенного кирпича на единицу его длины.

$$P_1 = 4N_y \left( L - i \frac{S_{\varphi}}{h} \right) \quad (5)$$

где  $h$  – высота почвозацепа;

$N_y$  – распределённая сила действующая по высоте почвенного кирпича на единицу его длины.

Значение силы  $N_y$  можно определить по формуле М.Г. Беккера [1].

$$N_y = \frac{G}{2\pi l L} h \operatorname{arctg} \frac{h}{b} \quad (6)$$

С учетом (6) значение  $P_1$  равно

$$P_1 = 0,64G \left( 1 - \frac{iS_{\delta}}{Lh} \right) \frac{h}{b} \operatorname{arctg} \frac{h}{b} \quad (7)$$

После подстановок (2, 3, 7) в (4) окончательно получим

$$P_{\kappa_{\max}} = 2bc \left[ L \left( 1 + 2 \frac{h}{b} \right) - 1,3il \right] + G \left[ \left( 1 - i \frac{h}{b} \right) + 0,64 \left( 1 - \frac{iS_{\delta}}{Lh} \right) \frac{h}{b} \operatorname{arctg} \frac{h}{b} \right] tg\varphi + f_{\tau} i G \frac{l}{L} \quad (8)$$

Если принять идентичный характер протекания зависимости  $\tau = f(S)$  (рисунок 2) при моделировании сдвига у реального движителя, то её кривую можно представить, как кривую буксования для данного типа почвы. Для этого ее представляем в безразмерных параметрах:

$$P = \frac{\tau}{\tau_{\max}} \quad (9)$$

где  $\tau$ ,  $\tau_{\max}$  – текущее и максимальное сдвигающее напряжение при сдвиге.

Буксование:

$$\delta = \frac{\Delta S}{L} \quad (10)$$

$\Delta S$  – величина сдвига пятна контакта.

Зависимость (9) можно представить идентичным выражением:

$$P = \frac{P_T}{P_{K_{\max}}} \quad (11)$$

$P_T$  – тяговое усилие трактор;

$P_{K_{\max}}$  – максимальная касательная сила тяги трактора.

Аналитическое выражение буксования в безразмерных параметрах имеет вид (12), а его график приводится на рисунке 5.

$$\delta = \frac{kP}{1 - (1 - k)P^n} \quad (12)$$

где  $k$  – угловой коэффициент касательной проведенной из начала координат к кривой буксования;

$n$  – показатель степени равный 2–3 в зависимости от типа грунта;

$P$  – безразмерный параметр (уравнение 9).

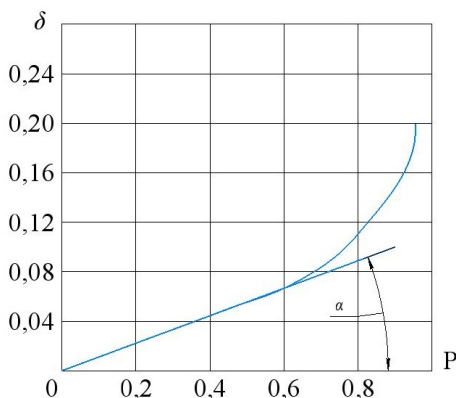


Рисунок 5 – Зависимость буксования движения в безразмерных параметрах

### **Выводы**

1. Максимальное значение касательной силы тяги трактора определяется по теоретической зависимости Кулона-Мора и экспериментальным данным сдвига штампов, либо элементов движителей трактора. Эти зависимости учитывают физико-механические свойства грунта и конструктивные особенности движителя.

2. При расчетах с использованием зависимости Кулона-Мора применяют экспериментальные данные зависимостей сдвига элементов, либо элементы движителей трактора  $T_c = f(S)$ ,  $\tau = f(q)$ ,  $\varphi \in f(q)$ .

3. Принимая допущение от идентичности изменения касательной силы тяги осей смещения штампа и приводя данные сдвига к безразмерным параметрам получаем аналитическое выражение (12) для расчета буксования движителей трактора.

#### Список использованных источников

1. Беккер М.Г. Введение в теорию системы местность-машина. М, Машиностроение, 1973. – 519 с.

2. Гуськов В.В. и др. Тракторы: Теория: – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

3. Кнороз В.И. и др. Работа автомобильной шины. М., «Транспорт», 1978, – 238 с.

4. Ляхов А.П. Исследование тягово-цепных свойств гусеничных болотоходных тракторов класса 40...60 кН : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Мн. – 1981. – 21 с.

5. Новиков А.В., Ляхов А.П. и др. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Практикум, Минск, БГАТУ, 2011. – 408 с.

6. Скотников В.А. и др. Проходимость машин – Минск : Наука и техника, 1982. – 328 с.

**Abstract.** Despite the theoretical and experimental studies carried out, satisfactory analytical dependences have not yet been obtained that describe with sufficient accuracy the process of interaction between the propeller and the ground, the formation of traction force, and especially the slipping of the propeller.