

$q_n$  – максимальное давление колеса на почву, Па.

В зависимости (22) давление колеса на почву принято максимальным, так как давление в контакте колеса с почвой распределено неравномерно (рисунок 1).

Выбор параметров колеса производится по следующей методике [3, 4].

В зависимости от массы, действующей на колесо, задаемся наружным диаметром шины и определяем площадь пятна контакта на жестком основании:

$$F_{\text{кжк}} = \frac{F_{\text{кп}}}{\kappa_1 \cdot \kappa_2}, \quad (23)$$

где  $\kappa_1 = 1,1 \dots 1,6$  – коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины;

$\kappa_2 = 1,5$  – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта.

Затем определяется ширина шины:

$$B = \frac{F_{\text{кжк}}}{\kappa_{\text{он}} \cdot D}, \quad (24)$$

где  $\kappa_{\text{он}}$  – коэффициент способности шины образовывать пятно контакта.

Коэффициент  $\kappa_{\text{он}} = 0,16$  для обычных шин,  $\kappa_{\text{он}} = 0,2$  для широкопрофильных шин и  $\kappa_{\text{он}} = 0,24$  для пневмокотков.

Зная  $D$  и  $B$  по каталогу выбирается шина и проводится ее проверка на соответствие ГОСТ 26955-86.

### **Выводы**

1. Обоснована зависимость допустимого давления колеса от коэффициента пористости почвы при различных агрофонах.

2. Предложена методика выбора размеров колес в зависимости от нагрузки и свойств почвы.

### **Литература**

1. Воронин, А.Д. Основы физики почв / А.Д. Воронин. - М.: Изд-во МГУ, 1986.-244 с.
2. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда. - Минск, 1997. - 269 с.
3. Техника сельскохозяйственная мобильная: ГОСТ 26953-86. - Введен впервые. Введен 14.07.86. -М.: Издательство стандартов. Методы определения воздействия движителей на почву, 1986. 4 с.
4. Техника сельскохозяйственная мобильная: ГОСТ 26955-86. - Введен впервые. Введен 14.07.86. -М.: Издательство стандартов. Нормы воздействия движителей на почву, 1986. -7 с.

УДК 631.43

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ПО ЭНЕРГОЗАТРАТАМ НА ПЕРЕДВИЖЕНИЕ**

*Орда А.Н., Шкляревич В.А. (БГАТУ)*

*Найдены зависимости для определения работы вертикальной деформации почвы и работы деформации почвы при сдвиге по величине которых можно оценивать параметры движителя.*

**Введение**

Реализация тягово-сцепных свойств тракторов осуществляется за счет работы деформации почвы при сдвиге  $A_{\tau}$ , которая должна достигать значительной величины у колесных тракторов высокого тягового класса (30 – 50 кН). Повышение работы деформации почвы при сдвиге  $A_{\tau}$  можно осуществить при прочих равных условиях увеличением либо нормального давления, либо площади опорной поверхности движителя. Однако, изменение величины нормального давления и площади опорной поверхности неодинаково влияют на потери энергии при деформации почвы, величина которых численно равна работе вертикальной деформации почвы  $A_{\sigma}$ . Такие параметры движителя как нормальное давление, площадь опорной поверхности, количество осей можно оценивать отношением работы вертикальной деформации почвы  $A_{\sigma}$  к работе деформации почвы при сдвиге  $A_{\tau}$  ( $A_{\sigma} / A_{\tau}$ ). Движитель, имеющий меньшую величину  $A_{\sigma} / A_{\tau}$ , меньше затратит энергии на передвижение и будет предпочтительнее других по конструкции ходовых систем.

### Основная часть

Работа вертикальной деформации почвы после  $n$  повторных нагружений [1]:

$$A_{\sigma n} = S_1 \int_0^{h_1} \sigma(h) dh + S_2 \int_{h_1}^{h_2} \sigma(h) dh + \dots + S_n \int_{h_{n-1}}^{h_n} \sigma(h) dh, \quad (1)$$

где  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – площадь опорной поверхности движителя при 1, 2, ...,  $n$ -ом нагружении.

Приняв, что  $S_1 = S_2 = \dots = S_n = S$ , получим:

$$A_{\sigma n} = S \left( \int_0^{h_1} \sigma(h) dh + \int_{h_1}^{h_2} \sigma(h) dh + \dots + \int_{h_{n-1}}^{h_n} \sigma(h) dh \right). \quad (2)$$

Так как функция  $\sigma(h)$  для сильно упрочняющихся почв является непрерывной (рисунок 1), применим свойство аддитивности интеграла. Тогда зависимость (2) примет вид:

$$A_{\sigma n} = S \int_0^{h_n} \sigma(h) dh. \quad (3)$$

Наиболее полно реальные процессы взаимодействия движителя с почвой отражает функциональная зависимость напряжения почвы  $\sigma$  от величины деформации (осадки) почвы  $h$ , предложенная профессором Кацыгиным В. В. [1]:

$$\sigma = p_0 th \left( \frac{k}{p_0} h \right), \quad (4)$$

где  $p_0$  – предел несущей способности почвы, Па;

$k$  – коэффициент объемного смятия почвы, равный тангенсу угла наклона касательной к кривой в начале координат (рисунок 1), Н/м<sup>3</sup>.

Таким образом, работа вертикальной деформации почвы после  $n$  повторных нагружений с учетом формулы (4):

$$A_{\sigma n} = S \int_0^{h_n} p_0 th \left( \frac{k}{p_0} h \right) dh. \quad (5)$$

Значение этого интеграла:

$$A_{\sigma n} = S \frac{p_0^2}{k} \left| \ln ch \frac{k}{p_0} h \right|_0^{h_n}. \quad (6)$$

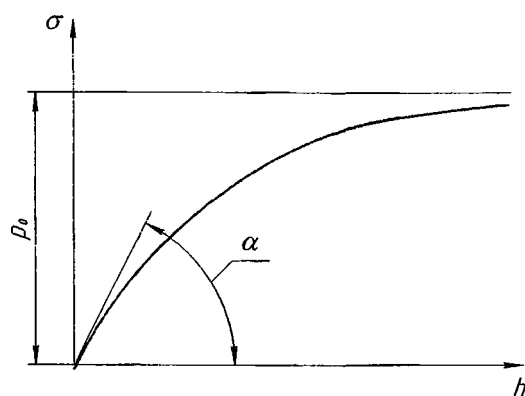


Рисунок 1. Зависимость напряжения от величины осадки почвы

Подставив вместо верхнего предела интегрирования  $h_n$  его значение, определяемое формулой [2]:

$$h_n = \frac{p_0}{k} \cdot \operatorname{arch} \left( \frac{n^B}{\sqrt{1 - \sigma_0^2 / p_0^2}} \right). \quad (7)$$

получим:

$$A_{\sigma n} = S \frac{p_0^2}{k} \ln \operatorname{ch} \left( \operatorname{arch} \frac{n^{\frac{B \cdot k}{p_0^2}}}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_0^2}{p_0^2}}} \right), \quad (8)$$

или

$$A_{\sigma n} = S \frac{p_0^2}{k} \ln \frac{n^{\frac{B \cdot k}{p_0^2}}}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_0^2}{p_0^2}}}. \quad (9)$$

где  $B$  – экспериментальный коэффициент, зависящий от глубины залегания подстилающего слоя и степени нарастания его влияния на деформацию рыхлого слоя почвы,

Покажем, что выражение (9) идентично формуле работы деформации (6) в функции от глубины деформации почвы. Из зависимости (4):

$$\frac{k}{p_0} h = \operatorname{arth} \frac{\sigma_0}{p_0}. \quad (10)$$

В [2] показано, что

$$\operatorname{arth} \frac{\sigma_0}{p_0} = \operatorname{arch} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_0^2}{p_0^2}}}. \quad (11)$$

Тогда выражение (11) примет вид:

$$\frac{k}{p_0} h = \operatorname{arch} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_0^2}{p_0^2}}}. \quad (12)$$

Подставим в формулу (6) для определения работы вертикальной деформации почвы после первого нагружения ( $n = 1$ ) вместо выражения  $\frac{k}{p_0}h$  его значение:

$$A_{\sigma 1} = S \frac{p_0^2}{k} \ln \operatorname{ch} \left( \operatorname{arch} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_0^2}{p_0^2}}} \right) \quad (13)$$

или

$$A_{\sigma 1} = S \frac{p_0^2}{k} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_0^2}{p_0^2}}}. \quad (14)$$

В случае равномерного распределения веса трактора по осям зависимость работы вертикальной деформации почвы от числа осей ходовой системы примет вид:

$$A_{\sigma n} = S \frac{p_0^2}{k} \ln \frac{n \frac{B \frac{k}{p_0^2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{\sigma_0}{np_0} \right)^2}}}{\sqrt{1 - \left( \frac{\sigma_0}{np_0} \right)^2}}. \quad (15)$$

Работа, производимая при сдвиге после  $n$  нагружений:

$$A_{\tau n} = A_{\tau 1} + A_{\tau 2} + \dots + A_{\tau 2}, \quad (16)$$

где  $A_{\tau 1}, A_{\tau 2}, \dots, A_{\tau 2}$  - работа сдвига, производимая соответственно при 1, 2, ...,  $n$ -ом нагружении.

Работа сдвига почвы при одном нагружении [1]:

$$A_{\tau} = S \int_0^{S_1} \tau(S) dS_1. \quad (17)$$

Зависимость величины касательных напряжений  $\tau$  от величины сдвига  $S_1$  применительно к ведущему колесу [1]:

$$\tau = f_{\text{ск}} \sigma \left( 1 + \frac{f_{\text{np}}}{\operatorname{ch} \frac{\delta L}{k_{\tau}}} \right), \quad (18)$$

где  $f_{\text{ск}}$  - коэффициент трения скольжения;  
 $f_{\text{np}}$  - приведенный коэффициент трения;  
 $\delta$  - величина буксования колеса;  
 $L$  - длина опорной поверхности движителя (колеса), м;  
 $k_{\tau}$  - коэффициент деформации почвы, м.

Тогда

$$A_{\tau} = S f_{\text{ск}} \sigma \int_0^L \left( 1 + \frac{f_{\text{np}}}{\operatorname{ch} \frac{\delta x}{k_{\tau}}} \right) \operatorname{th} \frac{\delta x}{k_{\tau}} dx, \quad (19)$$

или

$$A_{\tau} = \frac{Sf_{\text{ск}}\sigma k_{\tau}}{\delta} \left[ \ln ch \frac{\delta L}{k_{\tau}} - f_{\text{нр}} \left( \frac{1}{ch \frac{\delta L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right]. \quad (20)$$

Выражение для нахождения работы сдвига почвы при  $n$ -ом нагружении отличается от зависимости (20) только величиной напряжения, которое принимает значение  $\sigma_n$ . С учетом этого, работа сдвига почвы после  $n$  нагружений будет равна:

$$A_{\tau} = \frac{Sf_{\text{ск}}\sigma k_{\tau}}{\delta} \left[ \ln ch \frac{\delta L}{k_{\tau}} - f_{\text{нр}} \left( \frac{1}{ch \frac{\delta L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] \sum_{i=1}^N \sigma_n, \quad (21)$$

или, подставив вместо  $\sigma_n$  его значение [2]:

$$\sigma_n = p_0 th \left( \frac{n^{\frac{B-k}{p_0}}}{\sqrt{1 - \left( \frac{\sigma_0}{np_0} \right)^2}} \right). \quad (22)$$

получаем:

$$A_{\tau} = \frac{Sf_{\text{ск}}\sigma k_{\tau}}{\delta} \left[ \ln ch \frac{\delta L}{k_{\tau}} - f_{\text{нр}} \left( \frac{1}{ch \frac{\delta L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] \sum_{i=1}^N p_0 th \left( \frac{n^{\frac{B-k}{p_0}}}{\sqrt{1 - \left( \frac{\sigma_0}{np_0} \right)^2}} \right). \quad (23)$$

### Заключение

Параметры движителя, такие как нормальное давление, площадь опорной поверхности, количество осей, можно оценивать отношением работы вертикальной деформации почвы к работе деформации почвы при сдвиге, величину которых можно найти соответственно по зависимостям (15) и (23). Сравнивая отношения вышеназванных работ для различных по конструкции движителей при одних и тех же почвенных условиях, можно определить, какой из них затратит меньше энергии на передвижение по поверхности почвы, и следовательно будет предпочтительнее в процессе эксплуатации.

### Литература

1. Кацыгин В. В. и др. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий // Вопросы сельскохозяйственной механики, том 13. – Минск: «Урожай», 1964. – 270 с.
2. Орда А. Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук – Минск: 1997.