

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОЧВОЙ ХОДОВЫХ СИСТЕМ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВЫХ МАШИН

Н.Н. Романюк,

ректор БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

И.С. Крук,

проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.Н. Орда,

профессор каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.А. Шкляревич,

ст. преподаватель каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ

А.С. Воробей,

науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент

Н.П. Амельченко,

доцент БГУИР, канд. техн. наук, доцент

В статье приведены обоснованные критерии подобия взаимодействия колесных ходовых систем с почвой. На основании подобия обоснована конструкция механической модели для проведения исследований слеодообразования и уплотнения почвы в условиях почвенного канала.

Ключевые слова: колесо, почва, уплотнение почвы, глубина следа, механическая модель, трактор-установка.

The article provides reasonable similarity criteria for the interaction of the wheel drive systems with the soil. Based on the similarity, the mechanical model design is justified to carry out soil track and compaction studies in soil channel conditions.

Key words: wheel, soil, soil compaction, track depth, mechanical model, tractor unit.

Введение

Создание и использование средств моделирования взаимодействия с почвой ходовых систем транспортно-тяговых машин базируется на теории подобия. Применение теории подобия позволяет распространить результаты опыта на моделях небольшого размера на другие системы машин, эксплуатируемых в реальных условиях.

Полное подобие процесса взаимодействия ходовых систем машин предполагает учет всех определяющих параметров. Решение такой задачи затруднительно. Поэтому будем решать частные задачи процесса взаимодействия с учетом основных факторов.

На процесс слеодообразования и уплотнения почвы многоосными ходовыми системами влияет множество факторов. Основные из них:

G – вертикальная нагрузка, кН;

N – число осей ходовой системы, шт;

B и D – ширина и диаметр колес, м;

$x_{цм}$ – смещение центра тяжести от оси, м;

p_w – давление воздуха в шинах, кПа;

$p_{кр}$ – величина крюкового усилия, кН;

δ – величина буксования колес, %;

p – несущая способность почвы, кПа;

k – коэффициент объемного смятия почвы, кН/м³.

К критериям отклика, характеризующим процесс слеодообразования и уплотнения почвы, относятся: глубина следа h и плотность почвы ρ :

$$h = \varphi(G, N, B, D, x_{цм}, p_w, p_{кр}, \delta, p_0, k),$$

$$\rho = \varphi(G, N, B, D, x_{цм}, p_w, p_{кр}, \delta, p_0, k).$$

При исследованиях процесса взаимодействия ходовых систем с грунтом теорию подобия применяли В.И. Баловнев [1], Г.Г. Тенчуриин [2], М. Беккер [3], А. Солтинский [4]. В качестве критериев подобия ими предложены следующие выражения:

$$\frac{v^2}{g \cdot l}, \frac{c_n \cdot l}{G}, \varphi_{сч}, f, \frac{\eta \cdot v}{g \cdot l}, \quad (1)$$

где v – скорость движения машины, м/с;

c_n – приведенная жесткость системы, Н/м;

l – определяющий линейный размер системы, м;
 $\varphi_{сц}$ – коэффициент сцепления;
 f – коэффициент сопротивления передвижению;
 η – коэффициент вязкости, Н·с/м²;
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Методами теории подобия занимались Г.И. Покровский [5], В.М. Мацелуро [6], Г.И. Кожевников [7] и ряд других ученых. К основным критериям подобия, определенным этими авторами, относятся следующие:

$$\frac{q}{g \cdot \gamma \cdot l}, \frac{v^2}{g \cdot l}, \frac{c}{g \cdot \gamma \cdot l}, \rho_{мп}, \quad (2)$$

где q – давление деформатора на почву, Па;
 γ – объемная масса почвы, кг/м³;
 c – сцепление, Па;

$\rho_{мп}$ – угол внутреннего трения, рад.

Моделировать процесс взаимодействия деформатора с почвой на основании критериев подобия (1) и (2) крайне сложно, так как это связано с одновременным изменением таких физико-механических свойств почвы, как объемная масса и сцепление при постоянстве угла внутреннего трения.

Для исследования процесса слеодообразования на модели определим критерии подобия на основании следующих механических свойств почвы: несущей способности p_0 , коэффициента объемного смятия k , коэффициентов трения покоя f_n и скольжения $f_{ск}$ и коэффициента деформации k_D .

Целью работы является обоснование критериев подобия взаимодействия колес с почвой.

Основная часть

Для установления критериев подобия используют метод анализа системы основных уравнений, а также анализа размерностей. Применение теории размерностей не исключает возможности недоучтенного одного или нескольких существующих факторов. Использование системы основных уравнений гарантирует учет всех существующих условий протекания процесса.

Для того чтобы установить безразмерные комплексы процесса деформации почвы движителями, необходимо проанализировать зависимости напряжения смятия и сдвига от деформации почвы.

Преобразования указанных зависимостей будем проводить на основании теории расширенного подобия [8], согласно которой не обязательно соблюдение геометрического подобия, а коэффициенты подобия линейных размеров и деформации почвы не зависят друг от друга.

Зависимость напряжения смятия σ от деформации почвы h определяется по формуле [9]

$$\sigma = p_0 \cdot th \left(\frac{k}{p_0} \cdot h \right), \quad (3)$$

где k – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³.

С целью определения критериев подобия обозначим в уравнении (3) коэффициенты подобия

напряжений, несущих способностей, коэффициенты объемного смятия и деформации почвы соответственно k_p, k_{p0}, k_k, k_h .

Тогда напряжение, предел несущей способности, коэффициент объемного смятия и деформации почвы в случае деформации модельным колесом:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{k_p}, p_{0m} = \frac{p_{0n}}{k_{p0}}, k_m = \frac{k_n}{k_k}, h_m = \frac{h_n}{k_h}.$$

Подставив в формулу (3) значения входящих в нее величин и коэффициентов для модельной почвы, получим:

$$\sigma_m \cdot k_p = p_{0m} \cdot k_{p0} \cdot th \left(\frac{k_k \cdot k_m \cdot h_m \cdot k_h}{k_{p0} \cdot p_{0m}} \right),$$

или

$$\sigma_m = \frac{k_{p0}}{k_p} p_{0m} \cdot th \left(\frac{k_k \cdot k_m \cdot h_m \cdot k_h}{k_{p0} \cdot p_{0m}} \right). \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) совпадают в том случае, если

$$\frac{k_{p0}}{k_p} = 1 \text{ и } \frac{k_k}{k_{p0}} = 1.$$

При этом

$$\frac{p_{0n}}{\sigma_n} = \frac{p_{0m}}{\sigma_m}, \frac{k_n \cdot h_n}{p_{0n}} = \frac{k_m \cdot h_m}{p_{0m}}.$$

Следовательно, критериями подобия будут следующие зависимости:

$$\frac{p_0}{\sigma} \text{ и } \frac{k}{p_0} \cdot h. \quad (5)$$

Зависимость между напряжением сдвига τ и деформацией почвы S определяется по формуле [9]

$$\tau = f_{ск} \sigma \left[1 + \frac{f_{np}}{ch(S/k_D)} \right] th \left(\frac{S}{k_D} \right), \quad (6)$$

где $f_{ск}$ – коэффициент трения скольжения;

f_{np} – приведенный коэффициент трения.

$$f_{np} = \frac{4f_n - 3f_{ск}}{2f_{ск}},$$

где f_n – коэффициент трения покоя;

k_D – коэффициент деформации, м.

$$k_D = \frac{S_0}{Arch \left(1 + \sqrt{\frac{1 + 8f_{np}^2}{2f_{np}} - 1 + 8f_{np}^2} \right)},$$

где S_0 – величина деформации, соответствующая максимальному касательному напряжению, м.

Рассмотрим, как изменяется значение коэффициентов формулы (6) для модели. Безразмерные коэффициенты f_n и $f_{ск}$ принимаем постоянными для натурной и модельной систем. Обозначим коэффициенты подобия напряжений сдвига, размеров колеса, буксо-

вания и коэффициентов деформации соответственно $k_{сд}$, k_l , k_σ , $k_{кд}$.

Тогда напряжение сдвига, длина опорной поверхности колеса, буксование и коэффициент деформации почвы при взаимодействии с ней модельного колеса

$$\tau_m = \frac{k_{\tau_n}}{k_{сд}}; l_m = \frac{l_n}{k_l}; \delta_m = \frac{\delta_n}{k_\delta}; k_{ом} = \frac{\tau_n}{k_{кд}}.$$

Уравнение (6) после подстановки значений входящих в него величин для модельных колеса и почвы можно записать:

$$\begin{aligned} \tau_m \cdot k_{сд} &= f_{ск} \cdot \sigma_m \cdot k_p \times \\ &\times \left[1 + \frac{4 \cdot f_n - 3 \cdot f_{ск}}{2 \cdot f_{ск} \cdot ch \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{кд} \cdot k_{ом}} \right)} \right] \times \\ &\times th \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{кд} \cdot k_{ом}} \right), \\ \text{или} \\ \tau_m &= \frac{k_p}{k_{сд}} \cdot f_{ск} \cdot \sigma_m \times \\ &\times \left[1 + \frac{4 \cdot f_n - 3 \cdot f_{ск}}{2 \cdot f_{ск} \cdot ch \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{кд} \cdot k_{ом}} \right)} \right] \times \\ &\times th \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{кд} \cdot k_{ом}} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Для того чтобы выражения (6) и (7) были одинаковыми, необходимо выполнить следующие условия:

$$\frac{k_p}{k_{сд}} = 1; \frac{k_l \cdot k_\sigma}{k_{кд}} = 1.$$

Критериями подобия процесса сдвига почвы будут

$$\frac{\sigma}{\tau}, \frac{\delta \cdot l}{k}, f_n, f_{ск}. \quad (8)$$

Рассмотрим изменение давления воздуха в шинах колес при моделировании их воздействия на почву.

Как известно, при передвижении машин по мягким почвам основная часть сопротивления передвижению приходится на колесобразование. Формула, предложенная А.Е. Омеляновым, отражает связь сопротивления качению колеса с давлением воздуха в шинах, свойствами почвы и размерами колеса [10]

$$P_f = c'_1 \cdot G \cdot \sqrt[3]{\frac{P_w}{k} \cdot D} + c'_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{P_w} \cdot D^2}, \quad (9)$$

где $P_f = f \cdot G$ – сопротивление качению колеса;

c'_1 и c'_2 – безразмерные коэффициенты, зависящие от конструкции шины.

Вторым слагаемым уравнения (9) в случае движения по мягким почвогрунтам можно пренебречь.

Тогда

$$P_f = c'_1 \cdot G \cdot \sqrt[3]{\frac{P_w}{k} \cdot D}.$$

Преобразовав эту формулу для случая качения колеса, получим:

$$G_m \cdot k_m \cdot f = c'_1 \cdot G_m \cdot k_m \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{k_{pw}}{k_k} \cdot k_m \right) \cdot \left(\frac{P_{wm}}{D_m} \cdot k_l \right)},$$

где k_m – коэффициент материального подобия;

k_{pw} – коэффициент подобия давлений воздуха в шинах моделируемых колес.

Отсюда критерий подобия

$$\frac{P_w}{k \cdot l}. \quad (10)$$

Основные критерии подобия процесса взаимодействия колесного движителя с деформируемым основанием:

$$\frac{\sigma}{p_0}, \frac{k}{p_0}, h, \frac{\tau}{\sigma}, \frac{\delta l}{k_0}, f_n, f_{ск}, \frac{P_w}{k \cdot l} \quad (11)$$

могут быть применены при исследовании слеодообразования колесом и многоосными ходовыми системами, так как процесс деформации почвы при повторных нагружениях зависит от характера ее деформации при первом приложении нагрузки, т.е. обусловлен константами p_0 и k .

Данные экспериментальных исследований процесса вдавливания штампа в почву [9] свидетельствуют о влиянии размеров деформатора на зависимость напряжений от деформаций (рис. 1). Зависимость критериев подобия σ / p_0 от $(k / p_0) \cdot h$ в данном случае выражается одной кривой (рис. 2).

Для нахождения безразмерных показателей оценки уплотнения почвы найдем зависимость плотности почв, деформированной модельным колесом, от величины напряжения. Зависимость плотности верхнего слоя почвы от напряжения имеет следующий вид [10]:

$$\rho_0 = \rho_n \left(1 + \frac{\beta}{k} \cdot \sigma_0 \right), \quad (12)$$

где ρ_n – плотность почвы до деформирования, кг/м³;

β – коэффициент распределения напряжений, м⁻¹.

Плотность почвы после деформации и до нее, коэффициент распределения напряжений, напряжение и коэффициент объемного смятия в случае воздействия на почву модельным колесом равны:

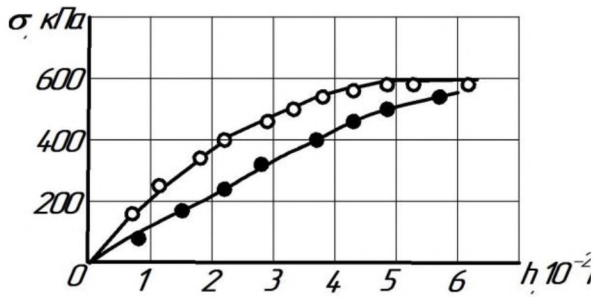


Рисунок 1. Экспериментальные зависимости от деформации почвы [9]:

● – диаметр штампа $D = 0,14$ м;
○ – диаметр штампа $D = 0,11$ м.

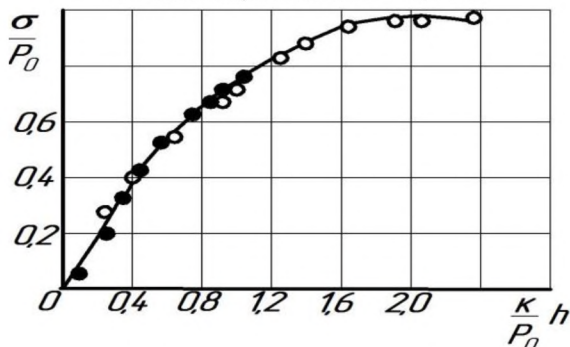


Рисунок 2. Зависимость напряжений смятия от деформации почвы в критериальном виде

$$\rho_{0m} = \frac{\rho_{0н}}{k_{n_0}}, \quad \rho_{nm} = \frac{\rho_{нн}}{k_{n_n}}, \quad \beta_m = \frac{\beta_n}{k_e},$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{k_p}, \quad k_m = \frac{k_n}{k_k},$$

где $k_{n_0}, k_{n_n}, k_e, k_p$ и k_k – коэффициенты подобия составляющих зависимости плотности почвы от удельного давления (12).

Подставив в зависимость (12) значения входящих в нее величин и коэффициентов для модельных колеса и почвы, получим:

$$\rho_{0m} \cdot k_{n_0} = \rho_{nm} \cdot k_{n_n} \left(1 + \beta_m \cdot k_e \frac{\sigma_m \cdot k_p}{k_m \cdot k_k} \right),$$

или

$$\rho_{0m} = \frac{k_{n_n}}{k_{n_0}} \cdot \rho_{nm} \left(1 + k_e \frac{k_p}{k_k} \cdot \beta_m \frac{\sigma_m}{k_m} \right). \quad (13)$$

Уравнения (13) идентичны в том случае, если

$$\frac{k_{n_n}}{k_{n_0}} = 1 \quad \text{и} \quad k_e \frac{k_p}{k_k} = 1.$$

При этом

$$\frac{\rho_{нн}}{\rho_{0н}} = \frac{\rho_{nm}}{\rho_{0m}}, \quad \beta_n = \frac{\sigma_n}{k_n}, \quad \beta_m = \frac{\sigma_m}{k_m}.$$

Следовательно, критериями подобия процесса уплотнения почвы будут следующие выражения:

$$\frac{\rho_0}{\rho_n} \quad \text{и} \quad \beta \cdot \frac{\sigma}{k}. \quad (14)$$

В работе [11] обоснована возможность исследования уплотнения почвогрунтов в условиях лабораторных испытаний. Поэтому наряду с изучением механики образования следа в условиях почвенного канала можно также исследовать и уплотнение почвы.

С учетом найденных критериев подобия (11) и (14) зависимости глубины следа и уплотнения почвы примут вид:

$$\frac{k}{P_0} \cdot h = \varphi \cdot \left(\frac{q}{P_0}, N, \frac{q_1}{q_{cp}}, \frac{\delta \cdot l}{k_o}, \frac{P_{kp}}{G}, \frac{P_w}{k \cdot l} \right), \quad (15)$$

$$\frac{\rho_0}{\rho_{II}} = \varphi \cdot \left(\frac{q}{P_0}, N, \frac{q_1}{q_{cp}}, \frac{\delta \cdot l}{k_o}, \frac{P_{kp}}{G}, \frac{P_w}{k \cdot l} \right). \quad (16)$$

С целью выбора размеров колес модели проанализируем влияние размеров опорной поверхности деформатора на деформацию почвы. Величина осадки, осуществляемой за счет уплотнения почвы, возрастает при увеличении опорной площади (рис. 3а), зависимость же пластической деформации от размеров деформатора изображается гиперболой (рис. 3б). В общем виде зависимость осадки штампа от площади его опоры приведена на рис. 3в [10, 11].

Для моделирования процесса слеодообразования необходимо, чтобы ширина колеса и длина опорной поверхности его не были меньше величины l_0 . Согласно исследованиям, критический размер l_0 колеблется в пределах 20-100 мм в зависимости от вида грунта и величины нагрузки. Исходя из этого, принимаем колеса с шинами 5.00-10.00.

Механическая модель для проведения исследований по образованию следа (рис. 4) состоит из четырех ведущих колес, движущихся по следу друг за другом. Привод каждого из них осуществляется от электродвигателя через червячный редуктор и цепную передачу. Колеса снабжены нагрузочными рамами, позволяющими изменять нагрузку, которая вместе с весом колеса составляет от 1 до 4 кН. Параллелограммный механизм обеспечивает вертикальное перемещение колес при изменении нагрузки. Рама модели имеет железнодорожный ход, что позволяет стыковаться через тяговое звено с тележкой почвенного канала. Конструкция модели дает возможность проводить опыты при разных скоростях передвижения и различном буксовании.

При проведении экспериментов, в целях сохранения постоянной опорной площади колеса, давление воздуха в шинах увеличивали для больших нагрузок.

При моделировании процесса деформации почвогрунтов усилия вдавливания сравнивали при относительно одинаковом погружении деформатора h/l , называемом параметрическим критерием. В предла-

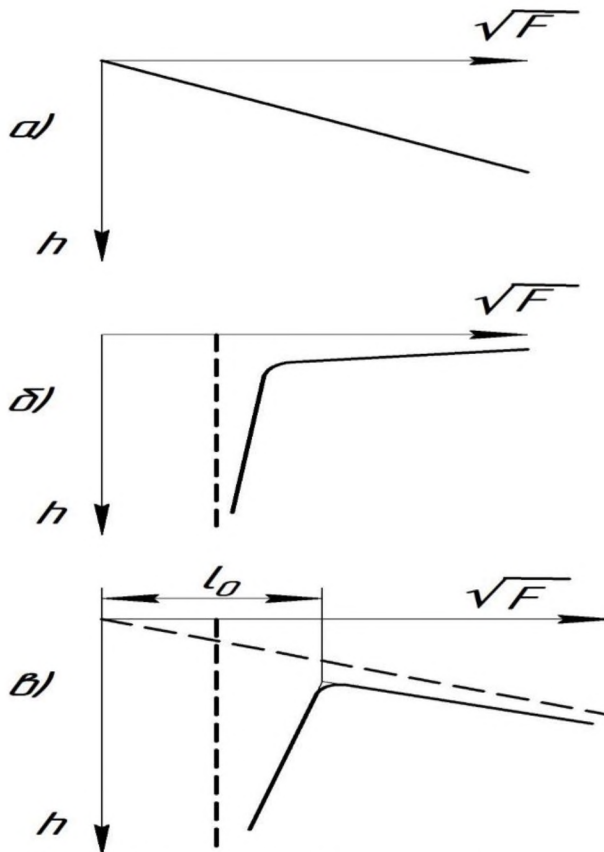
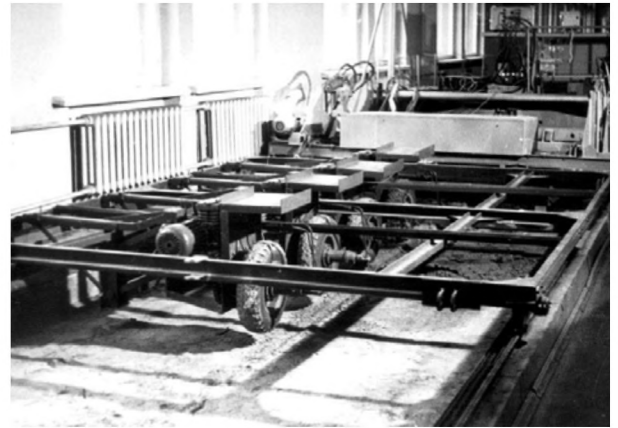


Рисунок 3. Зависимость деформации грунта от площади опоры:
а) – при уплотнении; б) – при сдвиге;
в) – в общем случае

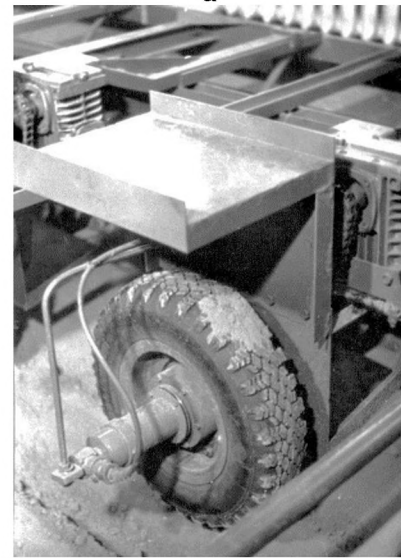
гаемой авторами методике параметрическим критерием служит выражение $(k/P_0)h$, в котором в качестве характерного размера выступает отношение несущей способности почвы P_0 к коэффициенту объемного ее смятия k .

Поскольку критерии подобия f_n и $f_{ск}$ зависят от давления, необходимо добиваться, чтобы разница между давлением модельного и натурального колес на почву была несущественной. Для этого размеры модели могут быть уменьшены не более чем в два-четыре раза по сравнению с натурными. При больших масштабах моделирования труднее осуществить подобие процесса слеодообразования по критерию σ/ρ_0 .

Напряжение сдвига, обуславливающее касательную силу тяги колеса, достигает максимального значения у опорных поверхностей различной длины при неодинаковой величине буксования. Буксование модельного колеса определится из критерия подобия $\delta \cdot l / k_0$. При одинаковом буксовании натурального и модельного колес напряжение сдвига у последнего достигнет меньшего значения. Для осуществления подобия процесса деформации почвы и развития тяги модельным колесом по этому критерию следует увеличить буксование модели. Значение буксования модельного колеса можно установить зная коэффициент k_0 , который определяется в начале опытов.



а



б

Рисунок 4. Механическая модель многоосного колесного хода: а – общий вид; б – привод колеса

Из условия постоянства критерия $P_w / (k \cdot l)$ давление воздуха в модельном колесе определяем из следующего уравнения:

$$P_{wm} = P_{wn} \frac{k_m}{k_n} \cdot \frac{l_m}{l_n}$$

Поскольку на коэффициент объемного смятия почвы влияет не только диаметр, но и ширина колеса, в качестве параметра l примем выражение $\sqrt{D \cdot B}$.

Тогда, согласно условию (10), давление воздуха в натурном и модельном колесах принимаем одинаковым.

Для проверки сходимости результатов модельных исследований с натурными (в критериальных зависимостях) проанализируем процесс деформации почвы в полевых условиях трактором-установкой 4×4 с колесами равного размера (рис. 5).

Распределение массы трактора по осям было равномерным, что позволило найти экспериментальную зависимость нарастания глубины следа и уплотнения почвы при повторных проходах одинаково нагруженных колес с шинами 10.00-28.00. Опыты проводились



Рисунок 5. Трактор-установка

на рыхлой почве (пахота) с подстилающим более прочным слоем. Нарастание глубины следа для модели и трактора-установки показано на рисунке 6.

В критериальном виде приведенные на рисунке 6 экспериментальные зависимости показаны на рисунке 7.

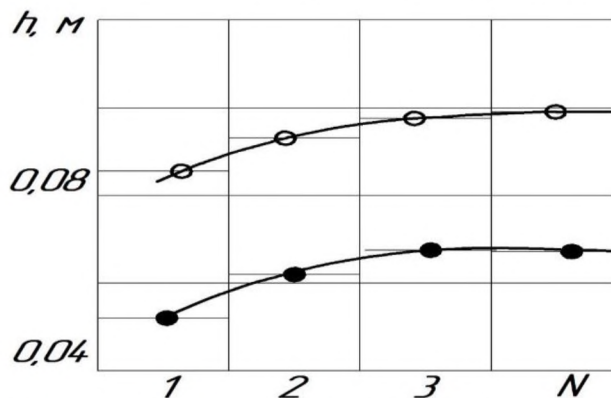


Рисунок 6. Нарастание следа при повторных проходах колес 10-28-0 и колес 5.00-10.00:
○ – колеса 10.0-28.00; ● – колеса 5.00-10.00

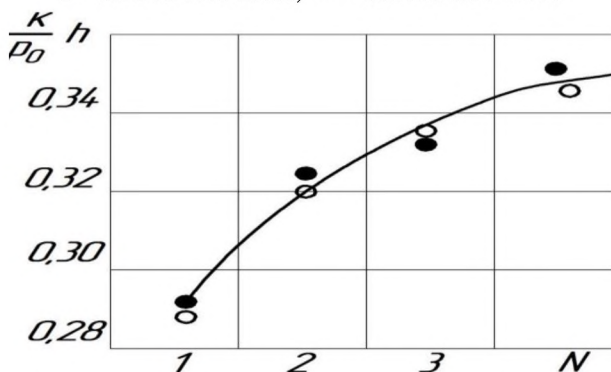


Рисунок 7. Критериальная зависимость процесса следообразования

Из рисунка 7 видно, что результаты опытов, полученные на модели многоосного хода и на тракторе-

установке, совпадают при обработке на основании полученных критериев подобия.

При проведении экспериментов, в целях сохранения постоянной опорной площадки колеса, давление воздуха в шинах увеличивали для больших нагрузок.

Заключение

1. На основании теории взаимодействия с почвой деформаторов обоснованы критерии подобия взаимодействия с почвой колесных ходовых систем.

2. Обоснована конструкция механической модели для проведения исследований по слеодообразованию и уплотнению почвы в условиях почвенного канала.

3. Обработанные в критериальном виде результаты исследований на модели в почвенном канале и на тракторе-установке в полевых условиях совпадают.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 336 с.

2. Тенчурин, Г.Г. Механическое моделирование взаимодействия ходовых органов трактора с грунтом: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Г.Г. Тенчурин. – Волгоград, 1969. – 178 с.

3. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность – машина / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

4. Soltynski, A. Okreslenie wlasnosci trakcyjnych pojazdow terenowych na podstawie badan ich model! Skalamyoh / A. Soltynski // Technikamotoryzacyjna. – 1963. – Т. 3-4. – S. 113-121.

5. Покровский, Г.И. Центробежное моделирование в горном деле / Г.И. Покровский, И.С. Федоров. М.: Недра, 1969. – С.

6. Мацепуро, В.М. Исследование сопротивления почв и грунтов методами теории подобия / В.М. Мацепуро // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Минск: Ураджай, 1970. – Т. 19. – С. 3-52.

7. Кожевников, Г.Н. Разработка метода физического моделирования процессов почвообработки в условиях почвенных каналов: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Г.Н. Кожевников; ВИМ и ВИЭСХ. – М., 1971. – 30 с.

8. Экимян, Н.Б. Применение метода расширенного подобия при моделировании осадок фундамента: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.23.02 / Н.Б. Экимян. – М., 1972. – 24 с.

9. Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Минск: Ураджай, 1964. – Т. 13. – С. 5-147.

10. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно- тракторных агрегатов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда; Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – Минск, 1997. – 36 с.

11. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву вертикальными вибродинамиче-

скими нагрузками пневмоколесных движителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01; 05.20.03; / Н.Н. Романюк; Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – Минск, 2008. – 206 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.05.2023

УДК 631.361:633.521

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-157-3-8-13>

ПОИСКОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ВОРОХА ЛЬНОКОСТРЫ ТРАНСПОРТЕРОМ С ВОЛНООБРАЗНОЙ КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ СЕТЧАТОЙ ЛЕНТОЙ

В.А. Шаршунов,

*профессор каф. техносферной безопасности и общей физики БГУТ,
докт. техн. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси*

А.Н. Карташевич,

*профессор каф тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА,
докт. техн. наук, профессор*

В.Н. Босак,

профессор каф безопасности жизнедеятельности БГСХА, докт. с.-х. наук, профессор

Н.С. Сентюров,

ст. преподаватель каф. тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА

Для создания малоотходного или безотходного производства в Республике Беларусь необходимо перерабатывать отходы сельского хозяйства. Данные отходы имеют повышенную влажность, засоренность и относительно невысокую теплоотдачу, поэтому перед переработкой их необходимо очищать. Ворох льнокостры является наиболее перспективным сырьем для производства пеллет, так как имеет в своем составе большое количество лигнина (21...29 %). С целью достижения высокой степени очистки и снижения потерь вороха льнокостры в отходы, в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии разработан транспортер с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой.

В статье представлены результаты экспериментов по выявлению основных факторов процесса выделения примесей из вороха льнокостры транспортером с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой и обоснование их границ варьирования. В качестве результирующего параметра были приняты: степень выделения минеральных примесей и уровень потерь вороха льнокостры. По результатам проведенных поисковых экспериментов установлено, что диаметр эксцентрикового вала, а также амплитуду колебаний сетчатой ленты можно зафиксировать на рациональных значениях, обеспечивающих уменьшение металлоемкости конструкции без снижения качества работы.

Анализ проведенных поисковых экспериментальных исследований транспортера с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой позволил определить рациональные интервалы варьирования факторов при изучаемом процессе, исходя из обеспечения высокой степени выделения E и низкого уровня потерь вороха льнокостры в отходы Π : частота колебаний сетчатой ленты – $30...45 \text{ с}^{-1}$; высота слоя вороха льнокостры – $0,01...0,04 \text{ м}$; расстояние между прутком и эксцентриковым валом – $0,16...0,2 \text{ м}$; скорость движения сетчатой ленты – $0,03...0,11 \text{ м/с}$.

Ключевые слова: ворох льнокостры, транспортер, сетчатая лента, минеральные примеси, степень выделения, уровень потерь, поисковый эксперимент.

In order to create low-waste or waste-free production in the Republic of Belarus, it is necessary to recycle agricultural waste. These wastes are moist, clogged and have a relatively low heat output, so they must be cleaned before they can be processed. The heap of flax waste is the most promising raw material for the production of pellets, as it contains a large amount of lignin (21...29 %). In order to achieve a high degree of purification and to reduce