

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЕННЫХ ПЛАСТОВ В ПАХОТНЫХ АГРЕГАТАХ

**И.С. Крук,**

*декан факультета механизации БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Ф.И. Назаров,**

*ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ*

**Ю.В. Чигарев,**

*профессор каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, докт. ф.-м. наук, профессор;  
профессор Западнопоморского технологического университета (Респ. Польша)*

**Н.Г. Бакач,**

*заместитель директора РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
канд. техн. наук, доцент*

**Г.А. Радишевский,**

*доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Ж.И. Пантелеева,**

*ассистент каф. высшей математики БГАТУ*

*Получены зависимости, позволяющие определить кинематические параметры движения частиц почвенного пласта по поверхности корпуса оборотного плуга и при падении на поверхность поля. Полученные результаты позволяют на стадии проектирования обосновать параметры установки катковых приставок относительно корпуса плуга.*

*Ключевые слова: траектория, движение, почва, скорость, частица, зависимость, корпус плуга, отвал.*

*The dependences allowing to determine the kinematic parameters of the soil layer particles motion on the reversible plough surface, and upon falling onto the field are received. The obtained results permit to justify the installation parameters of the roller implement relatively to the plough body at the design stage.*

*Keywords: trajectory, movement, soil, speed, particle, dependence, the plough body, blade.*

### Введение

Дополнительная поверхностная обработка почвенного пласта одновременно со вспашкой может осуществляться тремя способами в зависимости от конструкции и ширины захвата пахотного агрегата:

- 1) обработка пластов, полученных при предыдущем проходе агрегата;
- 2) обработка пластов сразу после вспашки;
- 3) обработка комбинированным способом (одновременная обработка пластов сразу после вспашки и пластов, полученных при предыдущем проходе агрегата).

При этом технологический процесс совмещения вспашки и поверхностной обработки почвенных пластов осуществляется следующим образом.

Почвенный пласт подрезается и начинает подъем по лемеху. Далее происходит скольжение по поверхности отвала, поворот и частичное крошение. Получив энергию движения корпуса плуга, пласт почвы отбрасывается с поверхности отвала под углом к горизонтальной и вертикальным плоскостям и падает на поверхность поля на некотором расстоянии от корпуса плуга (рис. 1) [1-3]. При вто-

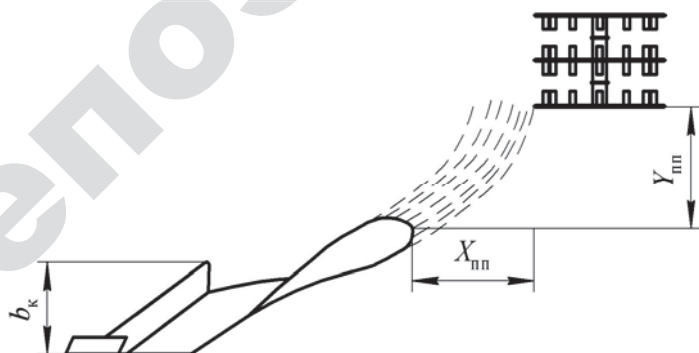


Рисунок 1. Технологический процесс вспашки с одновременной поверхностной обработкой почвенных пластов

ром и частично третьем способе совмещения вспашки с поверхностной обработкой, почвенный пласт после падения может сразу обрабатываться дополнительными почвообрабатывающими приспособлениями и орудиями. Поэтому наименьшее расстояние установки дополнительных устройств определяется условием полного оседания частиц почвы, которым была передана энергия движения корпуса плуга до начала воздействия рабочих органов дополнительных орудий. То есть в момент соприкосновения рабочего органа оборудования почвенный пласт должен быть неподвижен, или траектории движения пласта и рабочих органов орудий (приспособлений) до воздействия не должны пересекаться.

При установке почвообрабатывающего устройства на меньшем расстоянии к корпусу плуга, слетевший с отвала движущийся пласт будет попадать на рабочие органы орудия сверху, увеличивать его массу, изменять равномерность глубины хода по ширине, а, следовательно, повышать тяговое сопротивление и, как следствие, энергоёмкость и качество выполняемого технологического процесса. Увеличение расстояния выноса орудий повлечет за собой увеличение конструктивной длины и ширины агрегата, а, следовательно, материалоемкость выполняемого процесса.

Как показывают проведенные эксперименты, нерациональная установка почвообрабатывающих устройств относительно корпуса плуга влияет на энергоёмкость, материалоемкость и качество выполнения технологического процесса. Поэтому определение траектории движения частиц почвы по поверхностям корпуса плуга и дальности их отбрасывания является одной из первостепенных задач.

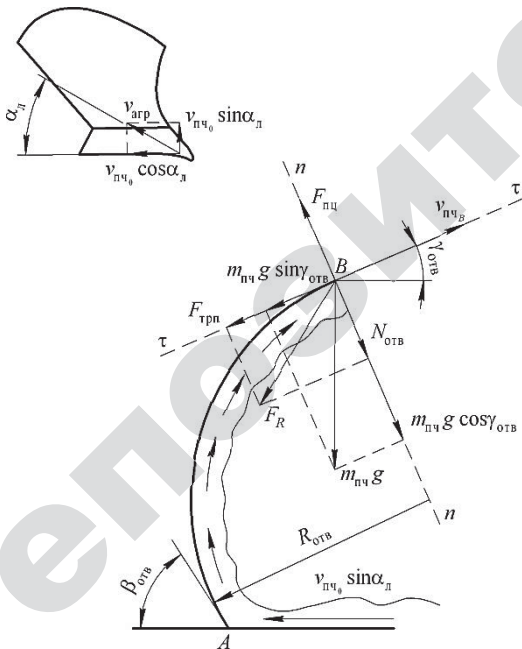


Рисунок 2. Расчетная схема движения частицы почвы по отвалу корпуса плуга

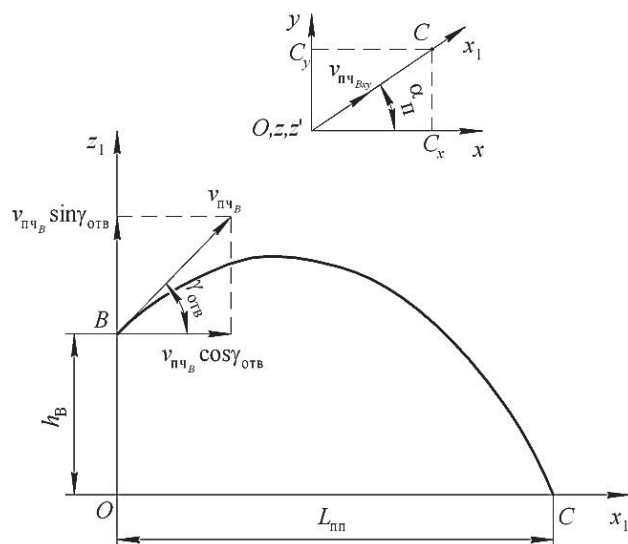


Рисунок 3. Расчетная схема к определению расстояния падения отбрасываемой отвалом частицы почвы

### Основная часть

Дальность отбрасывания частиц почвенного пласта отвалом определяется скоростью движения агрегата, типом и параметрами отвала, размерами и состоянием пласта, а также другими факторами [1-3]. В настоящее время плуги оснащаются тремя типами отвалов: культурным, полувинтовым и винтовым.

Для изучения закономерностей оборачивания и отбрасывания почвенного пласта корпусом плуга примем следующие допущения: скорость агрегата со временем не меняется, поверхность отвала имеет постоянный радиус кривизны  $R_{отв}$ . Почвенный пласт подрезается лемехом корпуса и движется по поверхности отвала (рис. 2). Данное движение рассматривается как относительное (система отсчета связана с отвалом). При подрезании слоя почвы величина относительной скорости принимается равной величине скорости агрегата:  $v_{пч_0} = v_{агр}$ . Слой почвы начинает двигаться по рабочей поверхности корпуса со скоростью  $v_{пч_0} \sin \alpha_d$  ( $v_{агр}$  – скорость агрегата, м/с;  $\alpha_d$  – угол наклона кромки лемеха к направлению движения агрегата (плуга)), а движение вдоль отвала осуществляется со скоростью  $v_{пч_0} \cos \alpha_d$ .

Рассмотрим движение частицы почвы массой  $m_{пч}$  (кг) по поверхности отвала (линия  $AB$ ). В верхней точке  $B$  отвала (рис. 2) на частицу действуют: сила тяжести, центробежная сила инерции, сила реакции отвала и сила трения [4].

Сила тяжести

$$G = m_{пч} g, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $m \cdot c^{-2}$ .

Данную силу разложим на две составляющие:  $m_{пч} g \sin \gamma_{отв}$  – направленную по касательной к поверхности отвала  $\tau - \tau$ , и  $m_{пч} g \cos \gamma_{отв}$ , направленную по нормали  $n-n$  к указанной поверхности ( $\gamma_{отв}$  – угол наклона касательной, проведенной к поверхности отвала в точке  $B$ , к горизонту, град.).

Центробежная сила инерции  $F_{шц}$

$$F_{шц} = \frac{m_{пч} v_{пч_0}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}}, \quad (2)$$

где  $R_{отв}$  – радиус кривизны поверхности отвала в рассматриваемом сечении (радиус окружности, по которой построена парабола отвала), м.

Радиус кривизны должен обеспечивать условие полного размещения почвенного пласта на поверхности отвала, не допустив пересыпания почвы через верхний обрез, и чтобы отвальный пласт не задирился нижним обрезом.

Для плугов общего назначения принимается условие [2-4]

$$R_{отв_{мин}} \leq R_{отв} \leq R_{отв_{макс}}. \quad (3)$$

Минимальный и максимальный радиусы определяются по следующим формулам [2-4]:

$$R_{мин} = \frac{b_k}{\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_{лем}\right) \cos \gamma_{лем}}; \quad (4)$$

$$R_{макс} = \frac{b_k \sqrt{k^2 - 1}}{k^2 (\cos \varepsilon_{лем} - \cos \theta_R)}, \quad (5)$$

где  $b_k$  – ширина захвата корпуса, м;  
 $\varepsilon_{лем}$  – угол между лемехом и дном борозды, град;  
 $\gamma_{лем}$  – угол между лезвием лемеха и стенкой борозды, град;  
 $k$  – количество корпусов, шт.;

$\theta_R$  – угол (град), определяемый из равенства

$$\operatorname{tg} \theta_R = \frac{\sqrt{k^2 - 1}}{\cos \gamma_{лем}}. \quad (6)$$

При невыполнении неравенства (3), минимальный радиус определяется по выражению:

$$R_{отв_{мин}} = \frac{\sqrt{k^2 - 1}}{k (\cos \varepsilon_{лем} + \sin \Delta \varepsilon_{лем})}, \quad (7)$$

где  $\Delta \varepsilon_{лем}$  – дополнительный угол, на который увеличивается дуга окружности для обеспечения большого прогиба крыла отвала (для культурных отвалов  $\Delta \varepsilon_{лем} = 4-5^\circ$ , для скоростных –  $\Delta \varepsilon_{лем} = 5-8^\circ$ , для полувинтовых –  $\Delta \varepsilon_{лем} = 8-10^\circ$ ) [2-5].

Сила реакции отвала  $N_{отв}$  направлена по нормали.

Сила трения  $F_{трп}$ , направленная по касательной к поверхности отвала, определяется по формуле:

$$F_{трп} = f_{трп} N_{отв}, \quad (8)$$

где  $f_{трп}$  – коэффициент трения почвы о поверхность отвала (табл. 1).

**Таблица 1. Расчетные значения коэффициента трения  $f_{трп}$  и угла трения  $\varphi_1$  [5, 6]**

Тип почвы	$f_{трп}^*$	$\varphi_1$
Песчаные и супесчаные рыхлые (сыпучие)	0,25–0,35	14°–19°30′
Песчаные и супесчаные связные	0,50–0,70	26°30′–35°
Легко- и среднесуглинистые	0,35–0,50	19°30′–26°30′
Тяжелые суглинки и глины	0,40–0,90	22°–42°

*Примечание: меньшие значения  $f_{трп}$  для всех типов почв, за исключением связных песчаных, соответствуют низкой, а большие – высокой влажности почвы; большее значение  $f_{трп}$  у песчаных связных почв соответствует низкой влажности почвы.*

Спроектировав указанные силы на нормаль  $n-n$  и касательную к поверхности отвала  $\tau - \tau$ , получим уравнения равновесия системы в следующем виде:

$$\frac{m_{пч} v_{пч}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - m_{пч} g \cos \gamma_{отв} - N_{отв} = 0, \quad (9)$$

$$m_{пч} a_{пч} = F_{трп} + m_{пч} g \sin \gamma_{отв}, \quad (10)$$

где  $v_{пч}$  – скорость частицы почвенного пласта, м/с.

Из равенства (9) при  $N_{отв} = 0$  можно определить критическую для рассматриваемого поперечного сечения скорость движения агрегата (м/с), при которой частица будет достигать верхней кромки отвала

$$v_{пч_{кр}} = \sqrt{\frac{R_{отв} g \cos \gamma_{отв}}{\sin^2 \gamma_{отв}}}. \quad (11)$$

Если скорость движения агрегата меньше критической скорости для данного сечения  $v_{пч_{кр}} > v_{агр}$ , то частица сваливается с отвала, а перед отвалом почва может сгуживаться. При условии  $v_{пч_{кр}} < v_{агр}$  обеспечивается отбрасывание слоя пласта без сгуживания.

Дальность отброса частиц почвы от оси пути зависит от величины относительной скорости движения пласта по отвалу и углов наклона вектора указанной скорости к горизонту и к направлению движения плуга. Кроме того, пласт почвы имеет переносную скорость  $v_{агр}$  вместе с движением плуга. Эта скорость определяет отброс частиц по направлению движения.

Для определения относительной скорости из уравнения (9) выразим силу  $N$  и подставим в (10). Учитывая равенство (8), получим

$$m_{пч} a_{пч} = f_{трн} \frac{m_{пч} v_{пч}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} m_{пч} g \cos \gamma_{отв} + m_{пч} g \sin \gamma_{отв}. \quad (12)$$

Разделим правую и левую часть равенства на  $m_{пч}$ , получим

$$a_{пч} = \frac{dv_{пч}}{dt} = f_{трн} \frac{v_{пч}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв}. \quad (13)$$

Данное выражение можно представить в следующем виде:

$$\frac{v_{пч} dv_{пч}}{dx} = + f_{трн} \frac{v_{пч}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв}$$

Разделив переменные и проинтегрировав это выражение, получим следующее решение:

$$\frac{R_{отв}}{2f_{трн} \sin^2 \gamma_{отв}} \ln \left| f_{трн} \frac{v_{пч}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв} \right| = x + C_1 \quad (14)$$

При начальных условиях  $x_0 = 0$ ,  $v_0 = v_{пч0}$ ,

$$C_1 = \frac{R_{отв}}{2f_{трн} \sin^2 \gamma_{отв}} \ln \left| f_{трн} \frac{v_{пч0}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв} \right|$$

Тогда

$$\frac{R_{отв}}{2f_{трн} \sin^2 \gamma_{отв}} \ln \left| f_{трн} \frac{v_{пч}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв} \right| = x +$$

$$+ \frac{R_{отв}}{2f_{трн} \sin^2 \gamma_{отв}} \ln \left| f_{трн} \frac{v_{пч0}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв} \right|$$

или

$$f_{трн} \frac{v_{пч}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв} =$$

$$= e^{2f_{трн} \frac{\sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} x} \cdot \left( f_{трн} \frac{v_{пч0}^2 \sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} - f_{трн} g \cos \gamma_{отв} + g \sin \gamma_{отв} \right)$$

$$v_{пч}^2 = e^{2f_{трн} \frac{\sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} x} \cdot \left( v_{пч0}^2 - \frac{R_{отв} g \cos \gamma_{отв}}{\sin^2 \gamma_{отв}} + \frac{R_{отв} g}{f_{трн} \sin \gamma_{отв}} \right) + \frac{R_{отв} g \cos \gamma_{отв}}{\sin^2 \gamma_{отв}} - \frac{R_{отв} g}{f_{трн} \sin \gamma_{отв}}$$

Скорость в момент отрыва частицы от кромки отвала получим при  $x = s_{пч}$

$$v_{пчБ} = v_{кон} = \left( e^{2f_{трн} \frac{\sin^2 \gamma_{отв}}{R_{отв}} s_{пч}} \cdot \left( v_{пч0}^2 - \frac{R_{отв} g \cos \gamma_{отв}}{\sin^2 \gamma_{отв}} + \frac{R_{отв} g}{f_{трн} \sin \gamma_{отв}} \right) + \frac{R_{отв} g \cos \gamma_{отв}}{\sin^2 \gamma_{отв}} - \frac{R_{отв} g}{f_{трн} \sin \gamma_{отв}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (15)$$

где  $s_{пч}$  – длина траектории движения частицы почвы, м.

Рассмотрим относительное движение частицы пласта, вылетевшей с верхней кромки отвала (рис. 3). Для упрощения, считаем, что верхняя кромка отвала параллельна нижней кромке, а частица вылетела под углом  $\gamma_{отв}$  к горизонту и под углом  $\alpha_{пч}$  к направлению движения плуга. То есть плоскость полета частицы расположена в

плане, приблизительно, под углом  $\alpha_n$  к продольной оси пути. Для определения наименьшего расстояния установки приставки необходимо связать координатную ось с носком лемеха корпуса плуга и спроецировать точку падения частицы пласта на оси  $Oy$  и  $Ox$ . Расстояния, измеренные по данным осям, будут определять наименьшее расстояние между корпусом плуга и ближайшим рабочим органом катковой приставки. Для упрощения исследований, на начальном этапе рассмотрим движение частицы в плоскости  $z_1Ox_1$ , ось  $O_1x_1$  которой повернута в плоскости  $xOy$  на угол  $\alpha_n$  относительно оси  $Ox$ , соответствующий проекции угла вылета частицы на плоскость  $xOy$ .

Из анализа дифференциальных уравнений движения частицы по относительным координатным осям  $Ox_1, Oz_1$  получаются уравнения движения частицы в параметрической форме (с независимым параметром времени  $t$ ). Поскольку траектория движения на этом участке не определена, уравнения движения будем составлять для декартовых координат (рис. 3). Задача сводится к частному случаю исследований закономерностей движения тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту.

В начале движения частица находится в точке  $B$ , при этом:

$$t_0 = t_B = 0; x_0 = x_B = 0; \dot{x}_{пч_B} = v_{пч_B} \cos \gamma_{отв}. \quad (16)$$

$$z_1 = z_{пч_B} = 0; \dot{z}_{пч_B} = v_{пч_B} \sin \gamma_{отв}. \quad (17)$$

В конце движения частица почвы находится в точке  $C$ , причем

$$t_C = t; z_C = h_B. \quad (18)$$

Запишем дифференциальные уравнения движения частицы в общем виде:

$$m_{пч} \ddot{x}_{пч_B} = \sum_{k=1}^n F_{kx};$$

$$m_{пч} \ddot{z}_{пч_B} = \sum_{k=1}^n F_{kz}.$$

Для данного случая

$$m_{пч} \ddot{x}_{пч_B} = 0;$$

$$m_{пч} \ddot{z}_{пч_B} = -m_{пч} g.$$

Откуда

$$\ddot{x}_{пч_B} = 0; \quad (19)$$

$$\ddot{z}_{пч_B} = -g. \quad (20)$$

Интегрируем методом разделения переменных:

$$\ddot{x}_{пч_B} = \frac{dv_{пч_{Bx}}}{dt}, \quad \frac{dv_{пч_{Bx}}}{dt} = 0.$$

$$\ddot{z}_{пч_B} = \frac{dv_{пч_{Bz}}}{dt}, \quad \frac{dv_{пч_{Bz}}}{dt} = -g.$$

$$\dot{x}_{пч_B} = v_{пч_{Bx}} = \frac{dv_{пч_{Bx}}}{dt}, \quad (21)$$

$$\dot{z}_{пч_B} = v_{пч_{Bz}} = v_{пч_{Bz}} \sin \gamma_{отв} - gt, \quad (22)$$

Выражения (21) и (22) представляют собой уравнения для проекций скорости полета частицы.

Перепишем уравнения еще раз, подставив, соответственно

$$v_{пч_{Bx}} = \frac{dx}{dt}, \quad \frac{dx}{dt} = v_{пч_B} \cos \gamma_{отв}; \quad (23)$$

$$v_{пч_{Bz}} = \frac{dz}{dt}, \quad \frac{dz}{dt} = v_{пч_{Bz}} \sin \gamma_{отв} - gt, \quad (24)$$

Проинтегрировав еще раз, получим

$$x_{пч_B} = v_{пч_B} \cos \gamma_{отв} t; \quad (25)$$

$$z_{пч_B} = v_{пч_B} \sin \gamma_{отв} t - \frac{gt^2}{2}. \quad (26)$$

Выражения (25) и (26) являются уравнениями движения тела на участке  $BC$ .

Учитывая начальные условия, получим

$$x_{пч_C} = v_{пч_B} \cos \gamma_{отв} t; \quad (27)$$

$$z_{пч_C} = v_{пч_B} \sin \gamma_{отв} t - \frac{gt^2}{2} + h_B, \quad (28)$$

где  $h_B$  – расстояние от поверхности почвы до верхней кромки отвала, м.

Исключив параметр  $t$ , получим уравнение траектории относительного движения частицы почвы

$$z_{пч_C} = x_{пч_C} \operatorname{tg} \gamma_{отв} - \frac{gx_{пч_C}^2}{2v_{пч_B}^2 \cos^2 \gamma_{отв}} + h_B. \quad (29)$$

В точке падения частицы на плоскость  $z_C = 0$ . Приравняв правую часть последнего уравнения к нулю и решив получившееся квадратное уравнение, получим относительную координату в точке  $C$ , куда падают частицы почвы на плоскость  $xOy$ .

$$x_C = \frac{v_{пч_B}}{2g} (v_{пч_B} \sin^2 \gamma_{отв} + \cos \gamma_{отв} \sqrt{v_{пч_B}^2 \sin^2 \gamma_{отв} + 2gh_B}). \quad (30)$$

Подставляя в данную зависимость равенство (15), определим расстояние, на котором частица почвы упадет на плоскость  $xOy$ . Чтобы определить расстояния между корпусом плуга и крайними рабочими органами катковой приставки, необходимо спроецировать расстояние  $Ox_C$  на координатные оси

$$Y_{\min} = x_C \sin \alpha_n; \quad (31)$$

$$X_{\text{пн min}} = x_c \cos \alpha_{\text{п}} \quad (32)$$

Из полученных зависимостей следует, что расстояние падения частиц почвенного пласта определяется (по степени убывания) параметрами корпусов плуга, скоростью агрегата, типом и состоянием почвы.

Основными рабочими органами для основной обработки почвы являются корпуса плугов.

Лемех и отвал образуют рабочую поверхность корпуса плуга. Наиболее распространенной классификацией рабочих поверхностей и плужных корпусов является разделение их на цилиндрические, культурные, полувинтовые и винтовые. Основным признаком для классификации является степень и

характер воздействия рабочей поверхности на почвенный пласт.

Основные параметры различных типов рабочих поверхностей отечественных корпусов плуга приведены в табл. 2.

В Республике Беларусь наиболее распространены корпус с скоростной и № 28 фирмы Kverneland, предназначенные для работы на всех типах почвы. Последний, имея большую длину, создает более плоский профиль для улучшенной вспашки и пригоден для ведения пахоты от 15 до 30 см и ширины от 35 до 50 см. Подставив основные параметры в формулы (15) и (30), построили зависимости для корпуса Kverneland с шириной захвата 35 см (рис. 4, 5).

**Таблица 2. Характеристики рабочих поверхностей корпусов плуга [2-5]**

Тип рабочей поверхности	Глубина обработки а, см	Ширина захвата корпуса b <sub>к</sub> , см	γ <sub>лем</sub> , град.	ε <sub>лем</sub> , град.	Δε <sub>лем</sub> , град.
Культурная	18-25	25-40	40-45	25-30	4-5
Полувинтовая	18-25	30-45	35-40	22-27	8-10
Скоростная	18-25	30-40	38	27	2-4

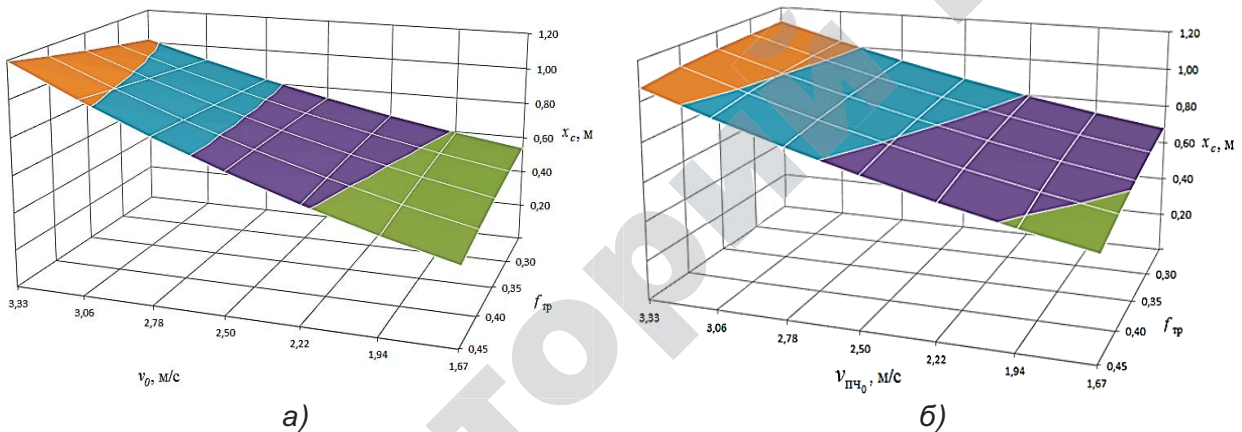


Рисунок 4. Зависимость дальности полета частицы почвы от скорости движения агрегата  $V_{\text{ПЧ}_0}$  и состояния почвы для корпусов: скоростного (а) и Kverneland № 28 (б)

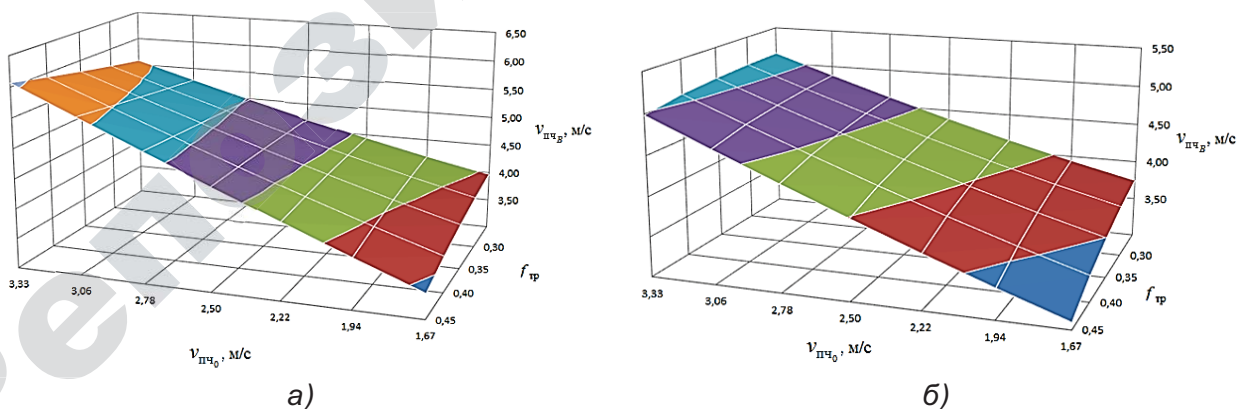


Рисунок 5. Зависимость начальной скорости полета частицы почвы  $V_{\text{ПЧ}_B}$  от скорости движения агрегата  $V_{\text{ПЧ}_0}$  и состояния почвы для корпусов: скоростного (а) и Kverneland № 28 (б)

На основании данных табл. 2, для различных типов рабочих поверхностей корпусов плуга построены графики зависимости дальности отбрасывания скорости схода с отвала частиц почвы от скорости движения агрегата ( $v_{арр} = v_{пч_0}$ ) и состояния почвы ( $f_{тр}$ ) для различных типов корпусов (рис. 4, 5).

Из полученных зависимостей следует, что наибольшее влияние на дальность полета частицы оказывают (по степени убывания) параметры рабочей поверхности отвала, скорость движения агрегата и свойства почвы. С ростом начальной скорости движения агрегата влияние коэффициента трения на дальность полета частицы уменьшается.

Из рис. 5 видно, что при выходе с отвала корпуса плуга у частицы почвы скорость значительно возрастает, такой рост скорости противоречит данным, полученным опытным путем. Это связано с тем, что при расчетах рассматривалась частица почвы, а не весь пласт, т.е. не учитывалось взаимодействие почвенных частиц внутри пласта. То есть формула (15) не учитывает взаимодействие между частицами пласта, и для ее коррекции необходимо ввести коэффициент  $k_{п}$ , учитывающий связность почвы (экспериментально установлено, что величина данного коэффициента находится в пределах 0,4...0,6 в зависимости от состояния почвы).

Тогда формула (15) примет окончательный вид:

$$v_{пч_В} = k_{п} \left[ \left( \frac{1}{2f_{тр} \sin \gamma_{отв}} \right) \left( v_{пч_0}^2 - \frac{R_{отв} g \cos \gamma_{отв}}{\sin^2 \gamma_{отв}} + \frac{R_{отв} g}{f_{тр} \sin \gamma_{отв}} \right) + \frac{R_{отв} g \cos \gamma_{отв}}{\sin^2 \gamma_{отв}} - \frac{R_{отв} g}{f_{тр} \sin \gamma_{отв}} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (33)$$

где  $k_{п}$  – коэффициент, учитывающий взаимодействие частиц пласта.

### Заключение

При принятых допущениях (скорость агрегата со временем не меняется, поверхность отвала имеет постоянный радиус кривизны  $R_{отв}$ ) получены зависимости, позволяющие определить кинематические параметры движения частиц почвенного пласта по поверхностям корпуса оборотного плуга в зависимости от параметров рабочей поверхности отвала, скорости движения агрегата и свойств почвы.

Получены зависимости, позволяющие определить расстояние падения частиц почвы от корпуса плуга и обосновать параметры установки дополнительных почвообрабатывающих орудий в пахотных агрегатах. На основе анализа полученных зависимостей, при принятых допущениях отмечена необходимость корректирования формулы расчета скорости схода частиц с поверхности отвала путем ввода коэффициента, учитывающего взаимодействия почвенных частиц внутри пласта. Отмечено, что величина данного коэффициента находится в пределах 0,4...0,6 в зависимости от состояния почвы.

Полученные результаты позволяют на стадии проектирования обосновать параметры установки дополнительных орудий для поверхностной обработки почвенных пластов в пахотных агрегатах и могут использоваться в области сельскохозяйственного машиностроения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3-х томах / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 2-е изд. пер. и доп.
2. Капустин, А.Н. Основы теории и расчета машин для основной и поверхностной обработки почв, посевных машин и машин для внесения удобрений: курс лекций / А.Н. Капустин; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 134 с.
3. Сельскохозяйственные машины [Текст]: Теория и технол. расчет / Б. Г. Турбин, А. Б. Лурье, С. М. Григорьев и др.; под ред. проф. Б. Г. Турбина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение. [Ленингр. отд-ние], 1967. – 583 с.
4. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко; под общ. ред. М.И. Медведева. – Киев: Изд-во Укр. академии сельскохоз. наук, 1960. – 284 с.
5. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
6. Кушнарв, А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарв, В.И. Кочев. – Киев: Урожай, 1989. – 144 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.10.2017