

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, ВИКОНАВЧІ ОРГАНИ ТА МАШИНИ ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА

УДК 631.314.2

Определение кинематических параметров движения почвенного пласта по рабочей поверхности корпуса плуга и его падения на поверхность поля

*Назаров Ф. И., ассистент кафедры «Технологии и механизация животноводства»
учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»*

Аннотация

Цель. Обоснование оптимальных параметров установки дополнительных устройств на пахотный агрегат в зависимости от состояния почвы, скорости движения, типов и параметров корпусов плуга.

Методы. Применен теоретический метод исследования. Метод предусматривает построение математической модели, описывающей процесс движения пласта почвы по поверхности отвала плуга с учетом физико-механических свойств почвы, конструктивных и динамических параметров.

Результаты. Получены зависимости, позволяющие определить кинематические параметры движения почвенного пласта по поверхности корпуса плуга и при падении на поверхность поля. Уточнено значение коэффициента, учитывающего сопротивление движения почвы в зависимости от ее механического состава и влажности.

На основании экспериментальных данных проведен анализ полученных зависимостей, определено как влияют скорость движения агрегата, геометрические параметры рабочей

поверхности корпуса и физико-механические свойства почвы на скорость и время движения пласта.

Обоснованы оптимальные параметры установки дополнительных орудий для поверхностной обработки почвенных пластов в пахотных агрегатах.

Выводы. При принятых допущениях (скорость агрегата со временем не меняется, поверхность отвала имеет форму циклоиды) получены зависимости, позволяющие определить кинематические параметры движения почвенного пласта по поверхности корпуса оборотного плуга в зависимости от параметров рабочей поверхности отвала, скорости движения агрегата и свойств почвы.

Полученные результаты позволяют на стадии проектирования обосновать параметры установки дополнительных устройств на пахотный агрегат и могут использоваться в области сельскохозяйственного машиностроения.

Ключевые слова: пахотный агрегат, траектория, движения, почва, скорость, пласт, рабочая поверхность, корпус, отвал.

УДК 631.314.2

Determination of the kinematic parameters of the soil formation movement along the working surface of the plow body and its falling to the surface of the field

*Nazarov F. I.,
assistant of the department TML, Educational establishment «Belarusian state agrarian technical
university»*

Annotation

Purpose. Substantiation of optimal parameters of installation of additional devices on arable unit depending on soil condition, speed of movement, types and parameters of hulls of the plow.

Methods. A theoretical method of investigation has been applied. The method involves the construction of a mathematical model describing the process of soil movement along the surface of the plow blade, taking into account the physico-

mechanical properties of the soil, constructive and dynamic parameters.

Results. Dependences have been obtained that make it possible to determine the kinematic parameters of soil movement along the surface of the plow body and upon falling to the surface of the field. The value of the coefficient, taking into account the resistance of soil movement depending on its mechanical composition and humidity, is specified.

Based on the experimental data, the analysis of the obtained dependences is made, it is determined how the speed of movement of the aggregate, the geometric parameters of the working surface of the hull and the physical and mechanical properties of the soil affect the velocity and time of the formation movement.

The optimal parameters of the installation of additional tools for surface treatment of soil layers in arable units are substantiated.

Conclusions. Under assumed assumptions (the speed of the aggregate does not change over time, the dump surface has the form of a cycloid), dependences have been obtained that make it possible to determine the kinematic parameters of soil movement along the surface of the rotating plow body, depending on the parameters of the working surface of the blade, the speed of movement of the aggregate, and soil properties.

The obtained results allow to justify the installation parameters of additional devices for arable unit at the design stage and can be used in the field of agricultural engineering.

Keywords: arable aggregate, trajectory, movements, soil, speed, formation, working surface, body, blade.

УДК 631.314.2

Визначення кінематичних параметрів руху ґрунтового шару по робочій поверхні корпусу плуга та його падіння на поверхню поля

Назаров Ф. І.,

асистент кафедри ТМЖ, УО «Білоруський державний аграрний технічний університет»

Анотація

Мета. Обґрунтування оптимальних параметрів установки додаткових пристроїв на орний агрегат залежно від стану ґрунту, швидкості руху, типів і параметрів корпусів плуга.

Методи. Застосовано теоретичний метод дослідження. Метод передбачає побудову математичної моделі, що описує процес руху шару ґрунту по поверхні полиці плуга з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунту, конструктивних і динамічних параметрів.

Результати. Отримано залежності, що дозволяють визначити кінематичні параметри руху ґрунтового шару по поверхні корпусу плуга та під час падіння на поверхню поля. Уточнено значення коефіцієнта, що враховує опір руху ґрунту залежно від його механічного складу та вологості.

На підставі експериментальних даних проведено аналіз отриманих залежностей, визначено як впливають швидкість руху агрегату, геометричні параметри робочої поверхні корпусу та фізико-механічні властивості ґрунту на швидкість і час руху шару.

Обґрунтовано оптимальні параметри установки додаткових знарядь для поверхневого обробітку ґрунтових шарів в орних агрегатах.

Висновки. За прийнятими припущеннями (швидкість агрегату з часом не змінюється,

поверхня полиці має форму циклоїди) отримані залежності, що дозволяють визначити кінематичні параметри руху ґрунтового шару по поверхні корпусу оборотного плуга залежно від параметрів робочої поверхні полиці, швидкості руху агрегату та властивостей ґрунту.

Отримані результати дозволяють на стадії проектування обґрунтувати параметри установки додаткових пристроїв на орний агрегат і можуть використовуватися в галузі сільськогосподарського машинобудування.

Ключові слова: орний агрегат, траєкторія, руху, ґрунт, швидкість, шар, робоча поверхня, корпус, полиця.

Постановка проблеми. С целью улучшения качества основной обработки почвы и снижения энергетических затрат на последующие технологические операции в конструкциях пахотных агрегатов применяются различные дополнительные устройства и орудия для поверхностной обработки почвенных пластов. Они обеспечивают крошение, рыхление, частичное выравнивание и уплотнение верхнего слоя обороченного пласта. Как показывают экспериментальные и теоретические исследования, наименьшие энергетические затраты достигаются при минимальном расстоянии

установки приставки относительно корпуса плуга [1]. Минимальное расстояние установки можно принять равным максимальной дальности отбрасывания почвенного пласта отвалом плуга, тогда оно будет зависеть от состояния почвы, скорости движения агрегата, типов и параметров корпусов плуга.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросу установки прицепных и навесных дополнительных устройств уделено внимание в рекомендациях по проектированию катковых приставок для пахотных агрегатов [1]. В рекомендациях приведены зависимости, позволяющие определить расстояние падения частиц почвы от корпуса плуга и обосновать параметры установки дополнительных почвообрабатывающих орудий в пахотных агрегатах. На основании 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. Для нахождения поправочного коэффициента необходимо проводить дополнительные эксперименты.

Цель исследований. Обосновать оптимальные параметры установки дополнительных устройств на пахотный агрегат в зависимости от состояния почвы, скорости движения, типов и параметров корпусов плуга.

Методы исследований. Применен теоретический метод исследования. Метод предусматривает построение математической модели, описывающей процесс движения пласта почвы по поверхности отвала плуга с учетом физико-механических свойств почвы, конструктивных и динамических параметров.

Результаты исследований. Для изучения закономерностей оборачивания и отбрасывания почвенного пласта корпусом плуга применяются следующие допущения: пласт принимается за материальную точку, скорость агрегата со временем не меняется, поверхность отвала имеет постоянный радиус кривизны. Почвенный пласт подрезается лемехом корпуса и движется по поверхности отвала. Данное движение рассматривается как относительное, подвижная система отсчета связана с отвалом. При подрезании слоя почвы начальная величина относительной скорости принимается равной величине скорости агрегата [1]. Отметим, что отвал имеет довольно сложную конфигурацию, поэтому принимать его поверхность как окружность можно с большим приближением. Предположим, что рабочая поверхность корпуса плуга может быть описана уравнением «перевернутой» циклоиды, где $r_{ц}$ –

радиус катящегося по горизонтальной линии (потолку) круга (рис. 1).

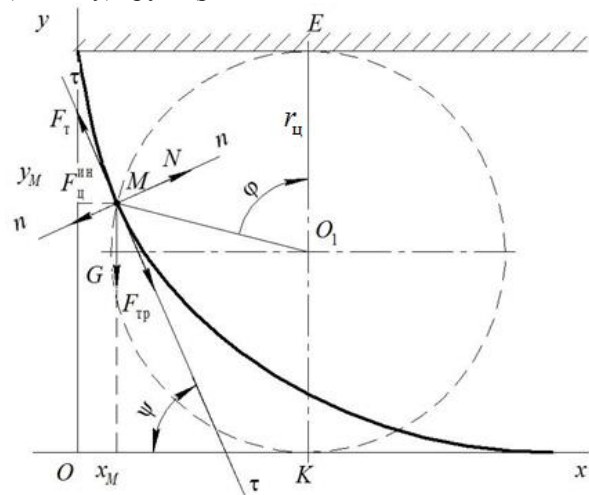


Рис. 1. Схема к определению кинематических параметров движения почвенного пласта
Fig. 1. Scheme to determine the kinematic parameters of soil movement

Рассмотрим пласт почвы массой m на поверхности отвала. Свяжем с точкой подвижную систему координат (τ, n) . Ось τ –касательная к циклоиде, n –нормаль. Точка движется вдоль касательной к траектории движения, которая в каждый момент времени меняет направление. Запишем уравнение движения относительно оси τ – τ . На точку почвенного пласта будут действовать: сила тяжести G_n , сила внутреннего трения частиц почвенного пласта почвы $F_{тр} = \mu \dot{s}$ (μ – коэффициент сопротивления, Н·с/м; \dot{s} – скорость почвенного пласта, м/с), $s = BM$ – путь, пройденный точкой M за время t , м, сила тяги F_t и центробежная сила инерции $\bar{F}_{ц} = -m_n \bar{a}_n$ (a_n – нормальное ускорение). Сила сопротивления обусловлена внутренним трением движения частиц пласта почвы (крошение, перемешивание, переупаковка порового пространства).

Коэффициент сопротивления μ находим по формуле:

$$\mu = \eta \cdot b_{тр}, \quad (1)$$

где η – динамическая вязкость почвы, Па·с (табл. 1);

$b_{тр}$ – размер почвенной частицы, м.

Таблица 1. Структура почвы [2]
Table 1. Soil structure [2]

Почва	W, %	η (при объемных деформациях), Па·с
Легкосуглинистая	13,9	$0,489 \cdot 10^4$
	11,4	$0,937 \cdot 10^4$
	9,7	$0,711 \cdot 10^4$
	7,7	$0,693 \cdot 10^4$
Среднесуглинистая	18,5	$0,453 \cdot 10^4$
	16,8	$0,925 \cdot 10^4$
	14,7	$0,847 \cdot 10^4$
	12,0	$0,845 \cdot 10^4$
Среднесуглинистая	9,9	$0,677 \cdot 10^4$
	18,9	$0,347 \cdot 10^4$
	17,6	$0,036 \cdot 10^4$
	13,6	$0,747 \cdot 10^4$
Среднесуглинистая	12,5	$0,678 \cdot 10^4$
	11,2	$0,639 \cdot 10^4$

Н. А. Качинский предложил разделить все твердые частицы на физический песок (крупнее 0,01 мм) и физическая глина (менее 0,01 мм). По количеству физического песка и физической глины почву относят к различным типам [2].

Имеем из рисунка 1

$$m_n \frac{d^2 s}{dt_1^2} = -m_n g \sin \psi - F_{тр} + F_T, \quad (2)$$

где m_n – масса пласта, кг;
 ψ – угол наклона касательной, проведенной к циклоиде в точке М, к горизонту, град.
Учитывая, что $F_{тр} = \mu \dot{s}$, уравнение (2)

можно записать в следующем виде:

$$m_n \frac{d^2 s}{dt_1^2} = -m_n g \sin \psi - \mu \frac{ds}{dt_1} + F_T, \quad (3)$$

Данное уравнение содержит три переменные s , t_1 , ψ . Уравнения циклоиды представим в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= r_{\Pi} (\varphi_{\Pi} + \sin \varphi_{\Pi}), \\ y &= r_{\Pi} (1 + \cos \varphi_{\Pi}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где φ_{Π} – угол между прямой, проведенной из центра круга O_1 перпендикулярно потолку, и отрезком, соединяющим точку М и центр круга O_1 .

Из (4) составим выражение для производной:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= -\frac{r_{\Pi} \sin \varphi_{\Pi}}{r_{\Pi} (1 - \cos \varphi_{\Pi})} = \\ &= -\frac{2 \sin \frac{\varphi_{\Pi}}{2} \cos \frac{\varphi_{\Pi}}{2}}{2 \sin^2 \frac{\varphi_{\Pi}}{2}} = -\operatorname{ctg} \frac{\varphi_{\Pi}}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

В то же время дифференциал дуги циклоиды есть выражение:

$$ds = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx. \quad (6)$$

Подставив (5) в (6), дифференциал дуги циклоиды будет:

$$ds = \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \frac{\varphi_{\Pi}}{2}} dx. \quad (7)$$

Из первого уравнения (4) найдем

$$dx = r_{\Pi} (1 - \cos \varphi_{\Pi}) d\varphi_{\Pi} = 2r_{\Pi} \sin^2 \frac{\varphi_{\Pi}}{2}. \quad (8)$$

Тогда дифференциал пути (7) будет:

$$\begin{aligned} ds &= \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \frac{\varphi_{\Pi}}{2}} 2r_{\Pi} \sin^2 \frac{\varphi_{\Pi}}{2} d\varphi_{\Pi} = \\ &= 2r_{\Pi} \sin \frac{\varphi_{\Pi}}{2} d\varphi_{\Pi}. \end{aligned} \quad (9)$$

После интегрирования (9) путь, проходимый точкой почвы по рабочей поверхности корпуса, будет:

$$s = \int_0^{\varphi_{\text{н}}} 2r_{\text{ц}} \sin \frac{\varphi_{\text{ц}}}{2} d\varphi_{\text{ц}} = 4r_{\text{ц}} \cos \frac{\varphi_{\text{ц}}}{2} \Big|_0^{\varphi_{\text{ц}}} = 4r_{\text{ц}} \left(1 - \cos \frac{\varphi_{\text{ц}}}{2} \right). \quad (10)$$

Отсюда

$$\cos \frac{\varphi_{\text{ц}}}{2} = 1 - \frac{s}{4r_{\text{ц}}}. \quad (11)$$

Согласно рисунку 1 можно записать

$$\frac{dy}{dx} = -\text{tg}\psi. \quad (12)$$

Учитывая равенство (5), путем простых преобразований получим

$$\begin{aligned} \sin \psi &= \text{tg}\psi \cos \psi = \frac{\text{tg}\psi}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \psi}} = \\ &= \frac{-\frac{dy}{dx}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} = \frac{\text{ctg} \frac{\varphi_{\text{ц}}}{2}}{\sqrt{1 + \text{ctg}^2 \frac{\varphi_{\text{ц}}}{2}}} = \cos \frac{\varphi_{\text{ц}}}{2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Сравнивая равенства (11) и (13), получим

$$\sin \psi = 1 - \frac{s}{4r_{\text{ц}}}. \quad (14)$$

Уравнение движения (3) частицы почвы по поверхности плуга с учетом равенства (14) запишется в следующем виде:

$$m_{\text{н}} \ddot{s} = -m_{\text{н}} g \left(1 - \frac{s}{4r_{\text{ц}}} \right) - \mu \dot{s} + F_{\text{т}}, \quad (15)$$

где $\dot{s} = \frac{ds}{dt_1}$; $\ddot{s} = \frac{d^2s}{dt_1^2}$, (t_1 – время движения

почвы по рабочей поверхности плуга, с).

Уравнение преобразуем к виду:

$$m_{\text{н}} \ddot{s} = -m_{\text{н}} g + \frac{m_{\text{н}} g}{4r_{\text{ц}}} s - \mu \dot{s} + F_{\text{т}} \quad (16)$$

или

$$\ddot{s} = -g + \frac{gs}{4r_{\text{ц}}} - \frac{\mu}{m_{\text{н}}} \dot{s} + \frac{F_{\text{т}}}{m_{\text{н}}}. \quad (17)$$

Введем обозначение

$$A = \frac{\mu}{m_{\text{н}}}; B = \frac{g}{4r_{\text{ц}}}; D = \frac{F_{\text{т}}}{m_{\text{н}}}. \quad (18)$$

Тогда уравнение (17) с учетом принятых обозначений (18) примет вид:

$$\ddot{s} + A\dot{s} - Bs = \Phi, \quad (19)$$

где $\Phi = D - g$.

Решение уравнения (19) запишем в виде суммы

$$s = s_1 + s_2,$$

где s_1 – общий интеграл уравнения; s_2 – частный интеграл уравнения.

Решение однородного уравнения:

$$\ddot{s} + A\dot{s} - Bs = 0 \quad (20)$$

ищем в виде $s_1 = e^{\lambda t_1}$.

Характеристическое уравнение

$\lambda^2 + A\lambda - B = 0$ имеет корни:

$$\lambda_{1,2} = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 + 4B}}{2}. \quad (21)$$

Поэтому решение уравнения (20) имеет вид:

$$s_1 = c_1 e^{\lambda_1 t_1} + c_2 e^{\lambda_2 t_1}. \quad (22)$$

Частное решение запишем в виде:

$$s_2 = E_s \quad (E_s = \text{const}). \quad (23)$$

Так как

$$\dot{s}_2 = 0, \ddot{s}_2 = 0,$$

то из уравнения (19) получим

$$s_2 = E_s = -\frac{\Phi}{B} = 4r_{\text{ц}} \left(1 - \frac{D}{g} \right). \quad (24)$$

Учитывая равенства (22) и (24), решение уравнения (19) будет:

$$s = c_1 e^{\lambda_1 t_1} + c_2 e^{\lambda_2 t_1} + E_s. \quad (25)$$

В начальный момент времени

$$t_0 = 0, s_0 = 0, \dot{s}_0 = v_{\text{п}0}.$$

Продифференцируем равенства (25) по t_1 :

$$\dot{s} = c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t_1} + c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t_1}. \quad (26)$$

Подставив начальные условия в (25) и (26), получим систему уравнений

$$\begin{cases} c_1 + c_2 = -E_s, \\ \lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2 = v_{п0}. \end{cases} \quad (27)$$

Данная система имеет решение, так как

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 \end{vmatrix} = -\sqrt{A^2 + 4B} \neq 0. \quad (28)$$

Решая систему уравнений (27), найдем

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} -E_s & 1 \\ v_{п0} & \lambda_2 \end{vmatrix} = -E_s \lambda_2 - v_{п0} = \\ &= -(E_s \lambda_2 + v_{п0}) \end{aligned} \quad (29)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & -E_s \\ \lambda_2 & v_{п0} \end{vmatrix} = v_{п0} + E_s \lambda_1. \quad (30)$$

Следовательно

$$c_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{E_s \lambda_2 + v_{п0}}{\sqrt{A^2 + 4B}}, \quad (31)$$

$$c_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{v_{п0} + E_s \lambda_1}{-\sqrt{A^2 + 4B}}. \quad (32)$$

Подставим c_1 и c_2 в равенство (25), получим уравнение движения пласта почвы по рабочей поверхности корпуса плуга:

$$s = \frac{E_s \lambda_2 + v_{п0}}{\sqrt{A^2 + 4B}} e^{\lambda_1 t_1} - \frac{v_{п0} + E_s \lambda_1}{\sqrt{A^2 + 4B}} e^{\lambda_2 t_1} + E_s. \quad (33)$$

Взяв производную по времени (24), получим скорость движения пласта

$$\dot{s} = \frac{(E_s \lambda_2 + v_{п0}) \lambda_1}{\sqrt{A^2 + 4B}} e^{\lambda_1 t_1} - \frac{(v_{п0} + E_s \lambda_1) \lambda_2}{\sqrt{A^2 + 4B}} e^{\lambda_2 t_1}. \quad (34)$$

Преобразуем равенства (33) и (34) к виду:

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + 4B}} \left[E_s \lambda_2 e^{\lambda_1 t_1} + v_{п0} e^{\lambda_1 t_1} - v_{п0} e^{\lambda_2 t_1} - E_s \lambda_1 e^{\lambda_2 t_1} \right] + E_s = \\ &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + 4B}} \left[E_s (\lambda_2 e^{\lambda_1 t_1} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t_1}) + v_{п0} (e^{\lambda_1 t_1} - e^{\lambda_2 t_1}) \right] + E_s, \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + 4B}} \left[E_s \lambda_2 \lambda_1 e^{\lambda_1 t_1} + v_{п0} \lambda_1 e^{\lambda_1 t_1} - v_{п0} \lambda_2 e^{\lambda_2 t_1} - E_s \lambda_1 \lambda_2 e^{\lambda_2 t_1} \right] = \\ &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + 4B}} \left[E_s \lambda_1 \lambda_2 (e^{\lambda_1 t_1} - e^{\lambda_2 t_1}) + v_{п0} (\lambda_1 e^{\lambda_1 t_1} - \lambda_2 e^{\lambda_2 t_1}) \right]. \end{aligned} \quad (36)$$

С учетом формул (18) и (24)

$$\begin{aligned} v_{пB} &= \frac{\left[\frac{F_T}{m_{п}} - g + v_{п0} \left(-\frac{\mu}{2m_{п}} + \frac{\sqrt{\left(\frac{\mu}{m_{п}}\right)^2 + \frac{g}{r_{п}}}}{2} \right) + \left(g - \frac{F_T}{gm_{п}} + v_{п0} \left(\frac{\mu}{2m_{п}} + \frac{\sqrt{\left(\frac{\mu}{m_{п}}\right)^2 + \frac{g}{r_{п}}}}{2} \right) \right) \right] e^{\frac{\mu}{m_{п}} t_1}}}{e^{\frac{\mu}{2m_{п}} t_1}} \times \\ &\times \frac{e^{\frac{\sqrt{\left(\frac{\mu}{m_{п}}\right)^2 + \frac{g}{r_{п}}}}{2} t_1}}{\sqrt{\left(\frac{\mu}{m_{п}}\right)^2 + \frac{g}{r_{п}}}}}. \end{aligned} \quad (37)$$

Анализ равенств (35) и (36) показывает, что s и \dot{s} будут расти, если $F_T > m_n g$, т. е. сила тяги пласта почвы должна быть больше его силы тяжести в каждой точке траектории движения по поверхности отвала.

Для определения силы тяги вдоль плуга составим уравнения равновесия относительно касательной и нормальной осей.

Рассмотрим систему сил, действующих на материальную точку пласта. Силу тяги агрегата F_T разложим на две составляющие вдоль осей τ и n :

$$\begin{aligned} \sum F_{k\tau} &= 0; F_\tau - F_{тр} - m_{пч} g \sin \psi = 0; \\ \sum F_{kn} &= 0; N_{отв} - F_n - m_{пч} g \cos \psi = 0. \end{aligned} \quad (38)$$

где $m_{пч}$ – масса материальной точки пласта кг. Откуда сила тяги

$$F_\tau = F_{тр} + m_{пч} g \sin \psi = f_{трn2} N_{отв} + m_{пч} g \sin \psi. \quad (39)$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + 4B}} \left[E_s \left[\lambda_2 (1 + \lambda_1 t_1) - \lambda_1 (1 + \lambda_2 t_1) \right] + v_{n0} (1 + \lambda_1 t_1 - 1 - \lambda_2 t_1) \right] = \\ &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + 4B}} \left[E_s (\lambda_2 - \lambda_1) + v_{n0} \right] + \frac{t_1}{\sqrt{A^2 + 4B}} \left[v_{n0} (\lambda_1 - \lambda_2) \right]. \end{aligned} \quad (43)$$

Откуда найдем время движения пласта почвы по отвалу корпуса плуга

$$t_1 = \frac{s \sqrt{A^2 + 4B} - E_s (\lambda_2 - \lambda_1) - v_{n0}}{v_{n0} (\lambda_1 - \lambda_2)}. \quad (44)$$

Подставив формулы (20) и (26):

$$t_1 = \frac{s + 4r_u \left(1 - \frac{F_T}{m_n g} \right) - v_{n0} \sqrt{\left(\frac{\mu}{m_n} \right)^2 + \frac{g}{r_u}}}{v_{n0}}. \quad (45)$$

Зная время движения пласта по рабочей поверхности корпуса (45), по формуле (36) можно определить его скорость – $v_n = \dot{s}$ вдоль траектории s , в том числе и скорость на кромке отвала в момент времени t_1 будет равна $v_{пб}$.

Определим $N_{отв}$.

$$N_{отв} = F_n + m_{пч} g \cos \psi = F_T \sin \psi + m_{пч} g \cos \psi. \quad (40)$$

где F_T – сила тяги плуга, Н.

Подставив равенство (40) в (39), получим силу тяги

$$F_\tau = f_{трn2} F_T \sin \psi + m_{пч} g (f_{трn2} \cos \psi + \sin \psi). \quad (41)$$

При $\psi=0$ сила тяги, действующая на пласт почвы, будет равна тяге плуга в случае покоя:

$$F_\tau = f_{трn2} m_{пч} g = N_{отв} f_{трn2} = F_T. \quad (42)$$

Вход пласта на плуг происходит при 30° , а сход – при 90° .

В формулах (35) и (36) разложим $e^{\lambda_i t_1}$ ($i = 1, 2$) в ряд Тейлора, ограничиваясь линейными членами. Тогда равенство (35) можно записать в виде:

С помощью формул (37), (41) и (45) можно исследовать кинематику движения пласта, изменения скорости пласта по рабочей поверхности корпуса в зависимости от изменения угла ψ .

Как видно из рисунка 2, скорость точек пласта относительно корпуса плуга в

начальный момент времени резко падает, что связано с началом деформации почвенного пласта на лемехе плуга (сгруживание), далее почва попадает на отвал и начинает

ускоряться. Сила тяги пласта на поверхности плуга по траектории циклоиды так же растет до 90° , после чего начинает падать.

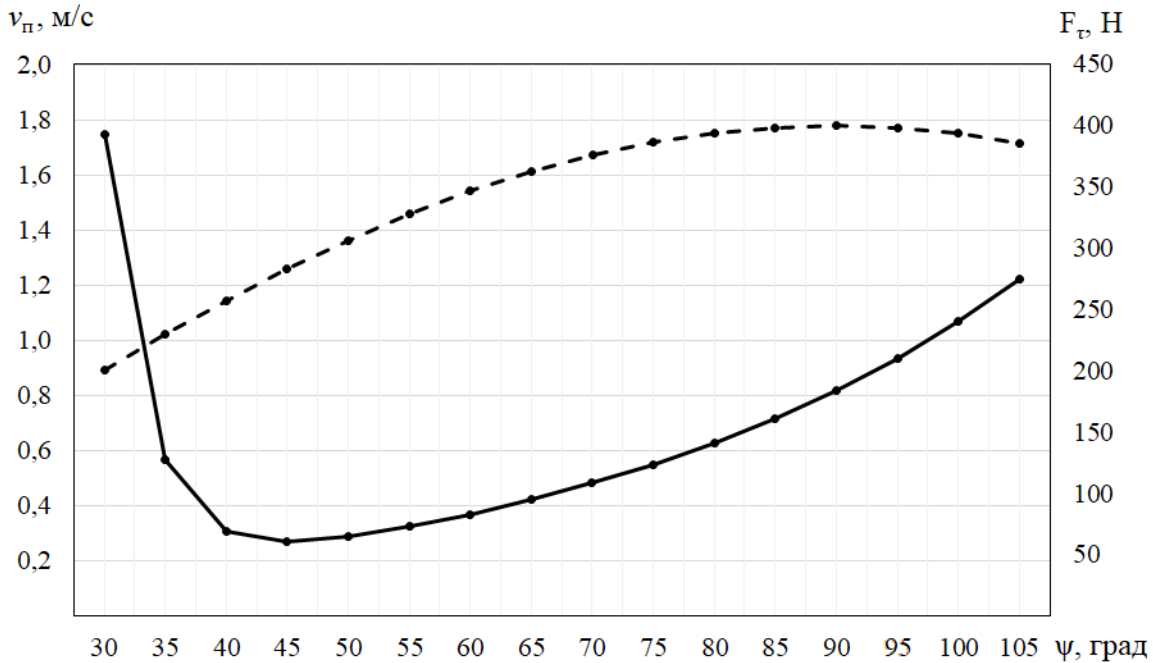


Рис. 2. Зависимость скорости движения пласта и силы тяги от его положения на корпусе плуга (угла ψ)
Fig. 2. Dependence of the velocity of the formation and the traction force on its position on the plow body (angle ψ)

При построении графиков учитывался максимально возможный путь материальной точки пласта. Построены зависимости изменения скорости движения пласта от скорости агрегата (рис. 3) и пути, пройденного по траектории (рис. 4).

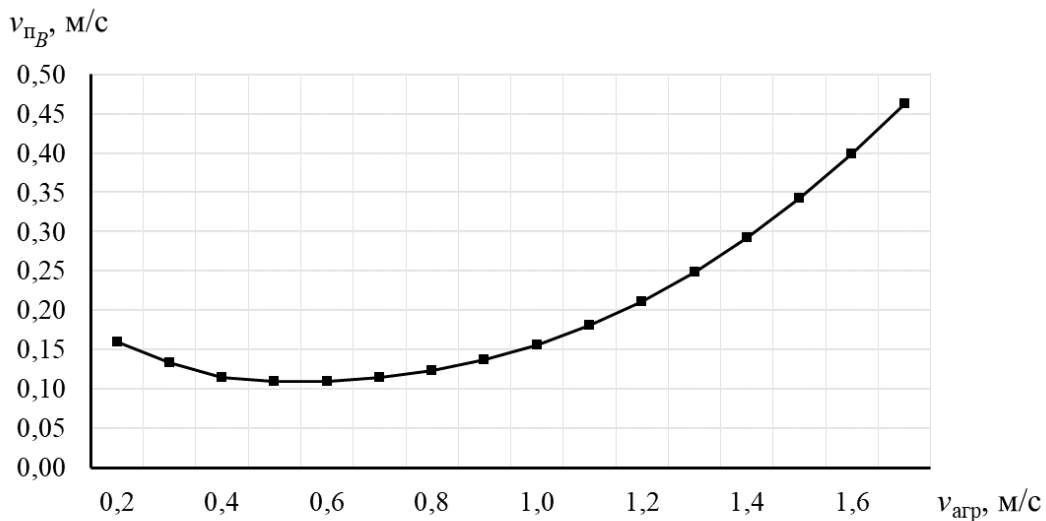


Рис. 3. Зависимость скорости движения пласта на выходе с отвала от скорости движения агрегата
Fig. 3. Dependence of the velocity of the formation at the outlet from the heap from the speed of movement of the unit

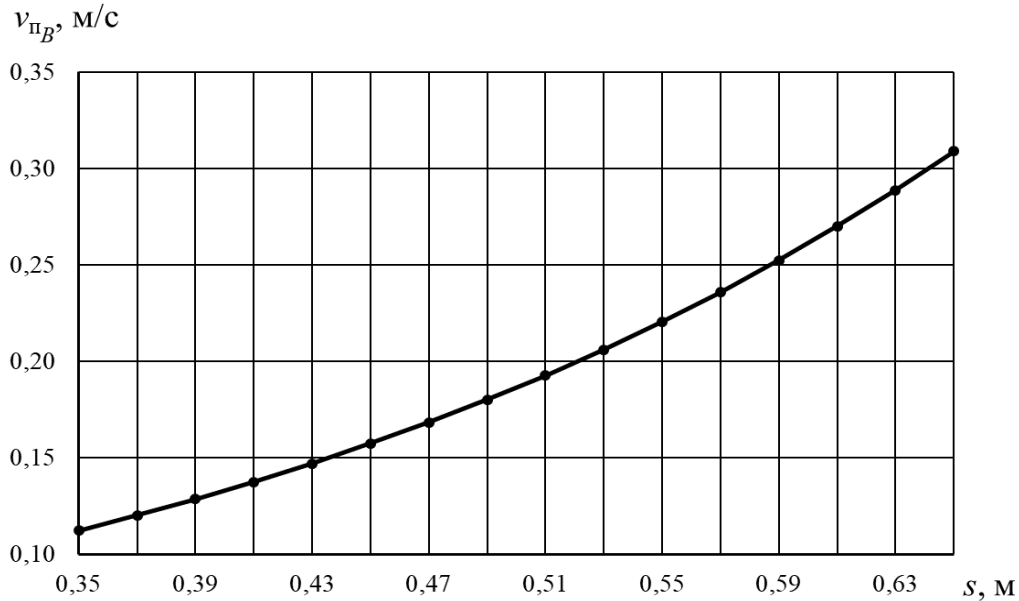


Рис. 4. Зависимость скорости $v_{пв}$ от длины пути s

Fig. 4. Dependence of speed $v_{пв}$ on path length s

Полученные выше параметры движения частиц почвы были связаны с ее относительным движением относительно движущегося плуга. Далее частица пласта вылетает с верхней кромки отвала, движется в пространстве относительно неподвижной системы координат. Начальная скорость полета частицы пласта будет равна ее конечной скорости на кромке отвала, которую можно получить из формул (33) или (34), подставив в них время движения частицы почвы по отвалу.

Дальность полета частицы (параметры установки приставок относительно корпуса плуга) найдем из формулы [1]:

$$\begin{cases} x_c = \frac{v_{пв} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \alpha_{п}, \\ y_c = \frac{v_{пв} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \beta_{п}. \end{cases} \quad (46)$$

где $v_{пв}$ – скорость на кромке отвала в момент времени t_1 , с;
 h_B – расстояние от поверхности почвы до верхней кромки отвала, м;

$\alpha_{п}$ и $\beta_{п}$ – углы между проекцией вектора скорости на горизонтальной плоскости и осями координат, соответственно.

С помощью формул (37), (41), (45) и (46), зная геометрические параметры рабочих органов, режимы и условия работы пахотного агрегата, можно найти оптимальные параметры установки дополнительных устройств.

Выводы

При принятых допущениях (скорость агрегата со временем не меняется, поверхность отвала имеет форму циклоиды) получены зависимости, позволяющие определить кинематические параметры движения почвенного пласта по поверхности корпуса оборотного плуга в зависимости от параметров рабочей поверхности отвала, скорости движения агрегата и свойств почвы.

Полученные результаты позволяют на стадии проектирования обосновать параметры установки дополнительных устройств на пахотный агрегат и могут использоваться в области сельскохозяйственного машиностроения.

Библиография

1. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации / И. С. Крук [и др.]. Минск: БГАТУ, 2017. 104 с.
2. Кушнарев А. С., Кочев В. И. Механико-технологические основы обработки почвы. К.: Урожай, 1989. 139 с.

Bibliografia

1. Projektowanie katkowych przystawok dla paxotnych agregatow. Rekomendacii / I. S. Kruk [i dr.]. Minsk: BGATU, 2017. 104 s.

2. Kushnarev A. S., Kochev V. I. Mexaniko-technologicheskie osnovy obrabotki pochvy. K.: Urozhaj, 1989. 139 s.

Bibliography

1. Design of roller conveyors for arable aggregates. Recommendations / I. S. Kruk [and others]. Minsk: BSATU, 2017. 104 p.
2. Kushnarev A. S., Kochev V. I. Mechanicotechnological basis of soil cultivation. K.: Harvest, 1989. 139 p.