

Gapich Dmitri Sergeevich, Doctor Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.r

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-41

MODELING OF THE SURFACE OF THE WORKING BODY CHISEL PLOW

Shvabauer Yu. A., Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author or E-mail: Gds-08@mail.ru

Received 12.12.2023

Submitted 24.01.2024

Summary

The article presents the results of modeling and experimental studies of the working bodies of chisel tools with improved geometric characteristics. The results of experimental studies have shown that the use of working bodies with improved geometric characteristics of the working surface can reduce the total traction resistance of the tractor by 6-9%. It is noted that the effectiveness of the use of experimental working bodies decreases with an increase in the speed of movement of the unit.

Abstract

Introduction. The issues of modeling the working surfaces of tools for loosening the soil remain quite relevant. At the head of the study, the authors of the analyzed works raised the question of the essence of the conditions that ensure the minimum value of energy costs during soil loosening. The main factors determining this condition were: physical and mechanical characteristics of the processed material; high-speed modes of loosening and cutting the soil; tribotechnical characteristics of materials used for the manufacture of working bodies, and, finally, the shape of the working surface. The main part of the theoretical developments concerning the theory of the wedge and the movement of soil particles along the executive surfaces of the working bodies of tillage implements is devoted to the analysis of the relative motion of soil particles. This is explained, first of all, by the classical approach to the invariance of the movement of the treated soil layer and the working organ. There are separate theoretical calculations that contain elements of describing the kinematics of the absolute motion of soil particles in space, but their presentation is not presented in full, and a characteristic feature of such calculations is that they consider, mainly, the case when soil particles make absolute motion along trajectories normal to the executive surfaces of working bodies. Based on the conducted studies of the deformation of the soil layer, the basic principle of the relationship and mutual transition of the shapes of the surfaces of the working body was formulated: "a concave profile should be replaced by a convex profile when passing through a rectilinear shape, and vice versa. The surface shapes are formed as a combination of the shape of the longitudinal and the shape of the transverse profiles. Using this principle as a criterion condition, we propose a mathematical model for describing the surface of the working body of a chisel plow. **Object.** The object of the study is the working body of a chisel plow, made in the form of a chisel. **Materials and methods.** Theoretical research methods are based on the analysis and modeling of the physical features of the destruction and movement of the soil layer on the surface of the working organ. **Results and conclusions.** The forming curve of the surface of the chisel plow working body is obtained by conjugating the calculated parabolas, provided that they pass through the reference points belonging to the surface of the working body. The first reference point is the point P1, located on the upper boundary of the bit in its left part, the coordinates of this point P1 (0;24). The second reference point is located in the zone of the second attachment of the chisel to the gun rack, the coordinates of the point P2 (80;12). The third reference point is located on the border of the two functional zones of the chisel, the working zone and the fastening zone. The position of the point P3 is determined by the coordinates P3 (168;24). The position of the fourth reference point is assumed on the bow of the chisel. This point defines the boundaries of the existence of the working body, its coordinates are P4 (240;6). Based on the parabolic interpolation of analytically obtained parabolic lines, parametric equations of the generating curve and the surface of the simulated working body are obtained.

Keywords: chisel plough, chisel plough chisel, chisel plough working tools, chisel plough bit working surface.

Citation. Shvabauer Yu. A., Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D. Modeling of the surface of the working body chisel plow. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 1(73). 365-373 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-41.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read the final version presented and approved it.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.316.22

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА

Швабауэр Ю. А., аспирант

Субботин С. И., аспирант

Гапич Д. С., доктор технических наук, профессор

Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Вопросы моделирования рабочих поверхностей орудий для рыхления почвы остаются достаточно актуальными. Во главу исследования авторы работ в данном направлении ставили вопрос о сущности условий, обеспечивающих минимальное значение энергетических затрат при проведении рыхления почвы. К основным факторам, определяющим данное условие были отнесены: физико-механические характеристики обрабатываемого материала; скоростные режимы рыхления и резания почвы; триботехнические характеристики материалов, применяемых для изготовления рабочих органов, и, наконец, форма рабочей поверхности.

Основная часть теоретических разработок, касающихся теории клина и перемещения частиц почвы по исполнительным поверхностям рабочих органов почвообрабатывающих орудий посвящена анализу относительного движения частиц почвы. Объясняется это, прежде всего, классическим подходом к инвариантности движения обрабатываемого почвенного пласта и рабочего органа. Имеются отдельные теоретические выкладки, которые содержат элементы описания кинематики абсолютного движения частиц почвы в пространстве, но их изложение представлено не в полном объеме, и характерной особенностью таких выкладок является то, что они рассматривают, в основном, тот случай, когда частицы почвы совершают абсолютное движение по траекториям, нормальным к исполнительным поверхностям рабочих органов.

На основании проведенных исследований деформации почвенного пласта был сформулирован основной принцип взаимосвязи и взаимоперехода форм поверхностей рабочего органа «вогнутый профиль при переходе через прямолинейную форму должен сменяться выпуклым профилем, и наоборот. Формы поверхности образуются как сочетание формы продольного и формы поперечного профилей. Используя данный принцип, как критериальное условие, нами предлагается математическая модель описания поверхности рабочего органа чизельного плуга.

Объект. Объектом исследования является рабочий орган чизельного плуга, выполненный в виде долота. **Материалы и методы.** Теоретические методы исследования базируются на анализе и моделировании физических особенностях разрушения и перемещения почвенного пласта по поверхности рабочего органа. **Результаты и выводы.** Образующая кривая линия поверхности рабочего органа чизельного плуга получена путем сопряжения расчетных парабол, при условии, что они проходят через реперные точки, принадлежащих поверхности рабочего органа. В качестве первой реперной точки принята точка P1, находящаяся на верхней границе долота в левой её части, координаты данной точки P1 (0;24). Вторая реперная точка находится в зоне второго крепления долота к стойке орудия, координаты точки P2 (80;12). Третья реперная точка находится на границе двух функциональных зон долота, рабочей зоны и зоны крепления. Положение точки P3 определяется координатами P3 (168;24). Положение четвертой реперной точки принято на носовой части долота. Данная точка определяет границы существования рабочего органа, её координаты P4 (240;6). На основании параболической интерполяции аналитически заданных параболических линий получены параметрические уравнения образующей кривой и поверхность моделируемого рабочего органа.

Ключевые слова: чизельный плуг, долото чизельного плуга, рабочие органы чизельного плуга, рабочая поверхность долота чизельного плуга.

Цитирование. Швабауэр Ю. А., Субботин С. И., Гапич Д. С., Фомин С. Д. Моделирование поверхности рабочего органа чизельного плуга. *Известия НВ АУК*. 2024. 1(73). 365-373. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-41.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Вопросы моделирования рабочих поверхностей орудий для рыхления почвы остаются достаточно актуальными [1, 2]. Во главу исследования авторы анализируемых работ ставили вопрос о сущности условий, обеспечивающих минимальное значение энергетических затрат при проведении рыхления почвы. К основным факторам, определя-

ющих данное условие были отнесены: физико-механические характеристики обрабатываемого материала; скоростные режимы рыхления и резания почвы; триботехнические характеристики материалов, применяемых для изготовления рабочих органов, и, наконец, форма рабочей поверхности [3, 4].

Основная часть теоретических разработок, касающихся теории клина и перемещения частиц почвы по исполнительным поверхностям рабочих органов почвообрабатывающих орудий посвящена анализу относительного движения частиц почвы [5,6]. Объясняется это, прежде всего, классическим подходом к инвариантности движения обрабатываемого почвенного пласта и рабочего органа. Имеются отдельные теоретические выкладки, которые содержат элементы описания кинематики абсолютного движения частиц почвы в пространстве, но их изложение представлено не в полном объеме, и характерной особенностью таких выкладок является то, что они рассматривают, в основном, тот случай, когда частицы почвы совершают абсолютное движение по траекториям нормальным к исполнительным поверхностям рабочих органов [7].

На основании проведенных исследований деформации почвенного пласта был сформулирован основной принцип взаимосвязи и взаимоперехода форм поверхностей рабочего органа «вогнутый профиль при переходе через прямолинейную форму должен сменяться выпуклым профилем, и наоборот. Формы поверхности образуются как сочетание формы продольного и формы поперечного профилей [8]. Используя данный принцип, как критериальное условие, нами предлагается математическая модель описания поверхности рабочего органа чизельного плуга.

Материалы и методы. Теоретические методы исследования базируются на анализе и моделировании физических особенностей разрушения и перемещения почвенного пласта по поверхности рабочего органа.

Результаты и обсуждения. В работе [9] показано, что параболическая поверхность рабочего органа может обеспечивать снижение одного из слагаемых общего тягового сопротивления рабочего органа, связанного с перемещением частицы почвы по его поверхности. Получено уравнение параболической кривой, обеспечивающей уменьшение тягового сопротивления рабочего органа при движении его в обрабатываемой среде. На основании данного уравнения построены расчетные параболические кривые при различных начальных значениях, рисунок 1.

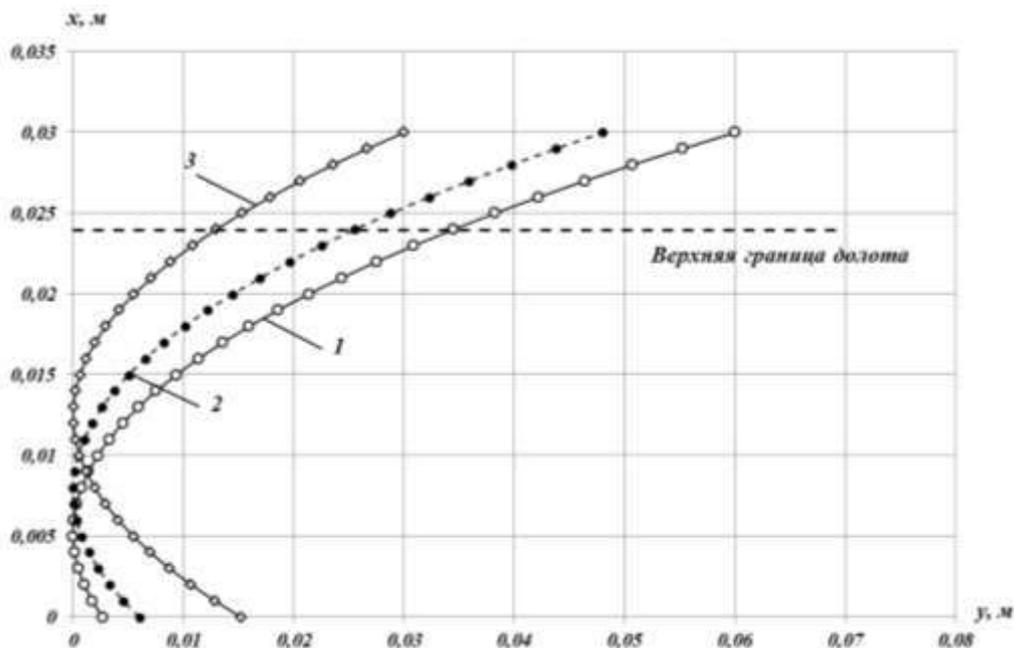


Рисунок 1 – Расчетные параболические кривые при различных значениях: 1 – расчетная кривая при $y_1=0,06$ м, 2 – расчетная кривая при $y_1=0,05$ м, 3 – расчетная кривая при $y_1=0,03$ м

Figure 1 – Calculated parabolic curves at various values: 1 – even curve at $y_1=0.06$ m, 2 – calculated curve at $y_1=0.05$ m, 3 – calculated curve at $y_1=0.03$ m

Область существования полученной параболической поверхности ограничена геометрическими размерами рабочего органа (долота), рисунок 1.

Общую образующую кривую линию можно получить путем сопряжения расчетных парабол, при условии, что они проходят через реперные точки, принадлежащих поверхности долота [10, 11]. Для определения координат реперных точек воспользуемся общим видом долота чизельного плуга, показанного на рисунке 2.

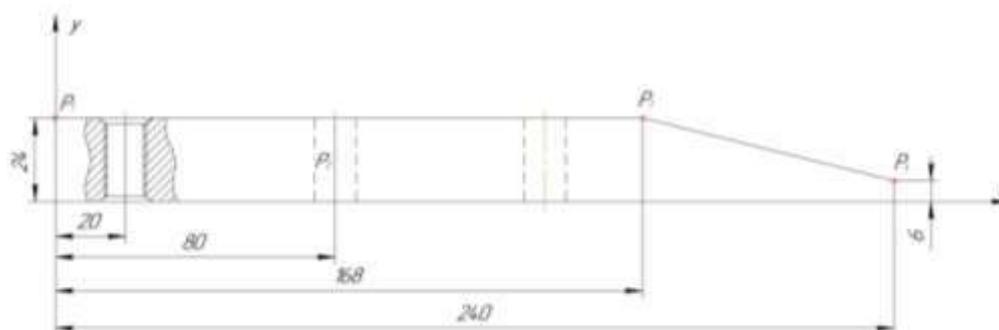


Рисунок 2 – К вопросу определения реперных точек образующей кривой линии
Figure 2 – On the Issue of Determining the Fiducial Points of the Generating Curve Line

Параболическая кривая считается определенной на заданном отрезке, если известны координаты трех её точек. Соответственно, если образующую кривую линию представить состоящей из двух сопряженных парабол, то необходимо знать координаты четырех реперных точек, принадлежащих геометрической области существования рабочего органа.

В качестве первой реперной точки предлагается принять точку P_1 , находящейся на верхней границе долота в левой её части, координаты данной точки в декартовой системе координат, согласно рисунку 2.4, определяются как $P_1(0;24)$. Вторая реперная точка находится в зоне второго крепления долота к стойке почвообрабатывающего орудия. Координата y данной точки может меняться в диапазоне от 6 до 18 мм. Минимальное значение этой координаты определено из прочностных соображений, максимальное значение областью существования переменного профиля рабочего органа. Таким образом может быть принято три положения точки P_2 , определяемых координатами $P_2(80;6)$, $P_2(80;12)$, $P_2(80;18)$. Третья реперная точка находится на границе двух функциональных зон долота. Рабочей зоны и зоны крепления. Соответственно положение точки P_3 определяется координатами $P_3(168;24)$. Положение четвертой реперной точки, согласно рисунку 2.4, целесообразно принять на носовой части долота. Данная точка будет определять границы существования рабочего органа. Соответственно положение точки P_4 определяется координатами $P_4(240;6)$. Таким образом, определены положения четырех реперных точек, через которые можно провести параболические кривые. Результат наложения расчетных кривых на определенные реперные точки показан на рисунке 3. При этом, параболы заданы четырьмя последовательными точками: первая – тремя первыми точками, вторая – тремя последними.

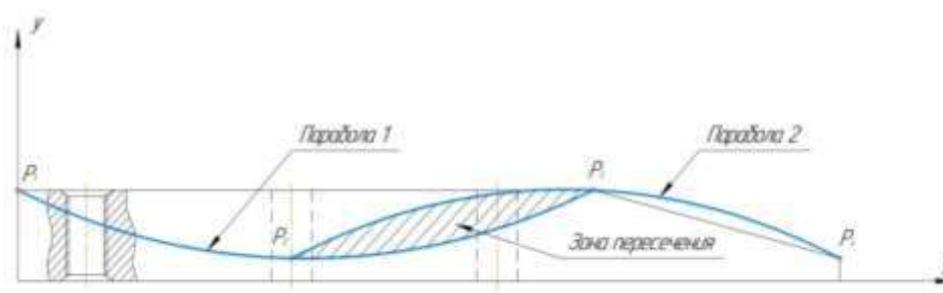


Рисунок 3 – К вопросу построения образующей кривой, проходящей через установленные реперные точки
Figure 3 – On the problem of constructing a generating curve passing through the established reference points

Для определения формы кривой, получаемой в зоне пересечения исследуемых парабол, воспользуемся параболической интерполяцией. Основная идея параболической интерполяции состоит в линейной интерполяции пересекающихся ветвей параболы. Пересечение парабол лежит между второй и третьей точками. Несмотря на то, что параболы – плоские кривые, их линейная интерполяция представляет собой кубическую пространственную кривую.

Параболически интерполированная кривая имеет вид

$$C(t) = (1 - t)p(r) + tq(s), \quad (1)$$

где r, s, t – параметры, $p(r), q(s)$ – параметрические параболы, проходящие через P_1, P_2, P_3 и P_2, P_3, P_4 , рисунок 3.

Параметрическое представление $p(r)$ и $q(s)$ имеет вид:

$$p(r) = [r^2 \ r \ 1][B] \quad (2)$$

$$q(s) = [s^2 \ s \ 1][D] \quad (3)$$

где $[B]$ и $[D]$ – матрицы, представляющие положение вектор – точек P_1, P_2, P_3 и P_2, P_3, P_4 соответственно. Результат интерполяции – кубическая кривая.

$$C(t) = [r^3 \ r^2 \ t \ 1][A][G] = [T][A][G], \quad (4)$$

где $[T][A]$ – матрица интерполяционных функций, а $[G]$ – геометрическая матрица вектор – точек P_1, P_2, P_3, P_4 .

Для определения $[B]$ и $[D]$, а затем $[A]$ и $[G]$, необходимо установить связь между параметрами r, s, t . Введя допущение, что r и t , а также s и t связаны линейно, получено

$$\begin{aligned} r &= k_1 t + k_2, \\ s &= k_3 t + t_4, \end{aligned} \quad (5)$$

где k_i – константы, заданных граничных условий в вектор-точках P_1, P_2, P_3, P_4 .

Предположив, что данные распределены равномерно и диапазон параметров нормализован, $0 \leq r, s, t \leq 1$. Можно записать, что

$$\begin{aligned} p(0) &= P_1, \quad p\left(\frac{1}{2}\right) = P_2, \quad p(1) = P_3, \\ q(0) &= P_2, \quad q\left(\frac{1}{2}\right) = P_3, \quad q(1) = P_4, \\ C(0) &= P_2, \quad C(1) = P_3. \end{aligned} \quad (6)$$

Основные допущения: $p(r)=P_2$ для $r = 1/2$ и $q(s)=P_3$ для $s=1/2$.

Тогда уравнения 5 примут вид

$$\begin{aligned} P_2: r &= \frac{1}{2}, t = 0 \rightarrow k_2 = 1/2 \\ P_3: r &= 1, t = 1 \rightarrow k_1 + k_2 = 1 \rightarrow k_1 = 1/2 \\ P_2: s &= 0, t = 0 \rightarrow k_4 = 0 \\ P_3: s &= \frac{1}{2}, t = 1 \rightarrow k_3 = 1/2 \end{aligned}$$

Тогда

$$r(t) = \frac{1}{2}(1 + t), \quad s(t) = \frac{1}{2}t. \quad (7)$$

Используя выражение 6 выразим из уравнения 2 матрицу $[B]$ через P_1, P_2, P_3

$$\begin{aligned} p(0) &= P_1 = [0 \ 0 \ 1][B], \\ p\left(\frac{1}{2}\right) &= P_2 = [1/4 \ 1/2 \ 1][B], \\ p(1) &= P_3 = [1 \ 1 \ 1][B]. \end{aligned} \quad (8)$$

или

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 4 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} [B] = [M][B].$$

Откуда

$$[B] = [M]^{-1} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -4 & 2 \\ -3 & 4 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Аналогично через P_2, P_3, P_4 находится выражение $[D]$, получим

$$\begin{aligned} q(0) &= P_2 = [0 \ 0 \ 1][D], \\ q\left(\frac{1}{2}\right) &= P_3 = [1/4 \ 1/2 \ 1][D], \\ q(1) &= P_4 = [1 \ 1 \ 1][D]. \end{aligned} \quad (10)$$

или

$$[D] = [M]^{-1} \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -4 & 2 \\ -3 & 4 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Подставим выражение 5 в 4:

$$C(t) = (1-t)[r^2 \ r \ 1][B] + t[s^2 \ s \ 1][D]$$

Используя выражение 7, получим

$$C(t) = \left[-\frac{1}{4}(t^2 + t^2 - t - 1) \quad -\frac{1}{2}(t^2 - 1) \quad 1 - t \right] [B] + \left[\frac{t^2}{4} \quad \frac{t^2}{4} \quad t \right] [D]$$

Подставив значения $[D]$ и $[B]$ из выражений 9, 11 получим

$$\begin{aligned} C(t) &= \begin{bmatrix} -\frac{t^3}{4} + t^2 - \frac{t}{2} & t^3 - t^2 - t + 1 & -\frac{t^3}{2} + \frac{t}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} \frac{t^3}{2} + \frac{3}{2}t^2 + t & -t^3 + 2t^2 & \frac{t^3}{2} + \frac{t^2}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (12)$$

При условии использования всех исходных точек P_1, P_2, P_3, P_4 выражение 12 примет вид:

$$\begin{aligned} C(t) &= \begin{bmatrix} -\frac{t^3}{2} + t^2 - \frac{t}{2} & t^3 - t^2 - t + 1 & -\frac{t^3}{2} + \frac{t}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} 0 & \frac{t^3}{2} - \frac{3}{2}t^2 + t & -t^3 + 2t^2 & \frac{t^3}{2} - \frac{t^2}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (13)$$

В форме уравнения 4 имеем:

$$C(t) = [t^3 \ t^2 \ t \ 1][A][G] = [T][A][G], \quad (14)$$

где

$$[A] = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

и

$$[G]^T = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4] \quad (15)$$

Следовательно, параболическая интерполяция сопрягаемых нами парабол в параметрическом виде будет иметь вид:

$$C(t) = \left(\frac{1}{2}\right) \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 27 & 9 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 24 \\ 80 & 12 \\ 168 & 24 \\ 240 & 6 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

Полученная кривая, для различных значений координат точки P_2 изображена на рисунке 4.

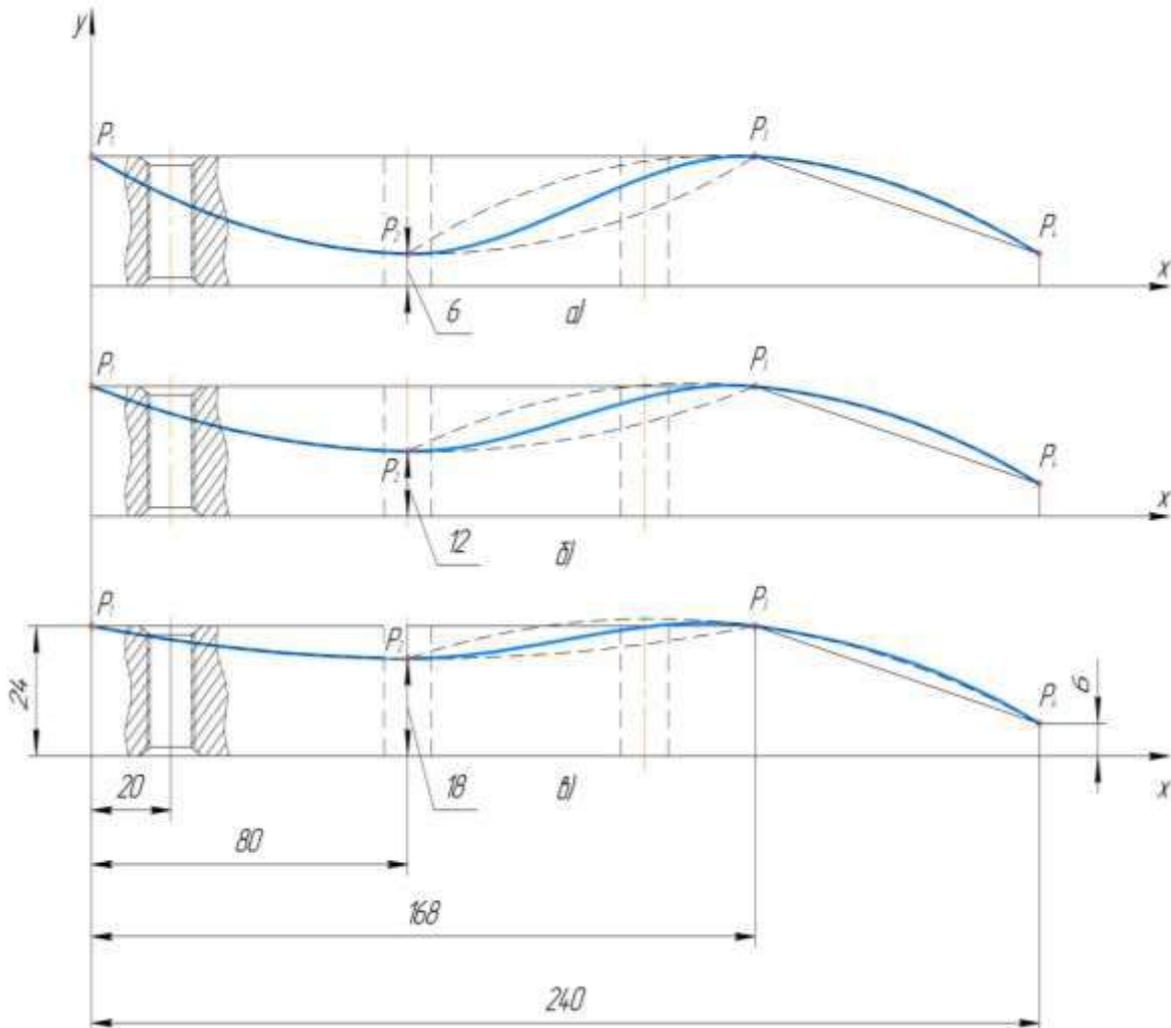


Рисунок 4 – Расчетная образующая кривая поверхности рабочего органа чизельного орудия:
а) координаты реперных точек $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;6)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$; б) координаты реперных точек $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;12)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$; в) координаты реперных точек $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;18)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$

Figure 4 – Calculated forming curve of the surface of the working body of a chisel implement:
a) coordinates of reference points $P_1 (0; 24)$, $R_2 (80; 6)$, $R_3 (168; 24)$, $R_4 (240; 6)$; b) coordinates of datum points $P_1 (0; 24)$, $R_2 (80; 12)$, $R_3 (168; 24)$, $R_4 (240; 6)$; c) coordinates of datum points $P_1 (0; 24)$, $R_2 (80; 18)$, $R_3 (168; 24)$, $R_4 (240; 6)$

Вращая полученную образующую кривую относительно продольной оси, получена поверхность моделируемого рабочего органа, рисунок 5.

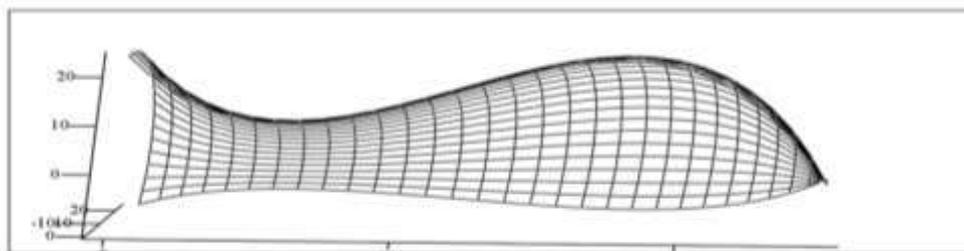


Рисунок 5 – Результаты поворота базовой линии относительно оси z на угол $\pm \frac{\pi}{2}$

Figure 5 – Results of rotation of the baseline relative to the z-axis by an angle of $\pm \frac{\pi}{2}$

Заключение. Образующая кривая линии поверхности рабочего органа чизельного плуга получена путем сопряжения расчетных парабол, при условии, что они проходят через реперные точки, принадлежащих поверхности рабочего органа. В качестве первой реперной точки принята точка P1, находящаяся на верхней границе долота в левой её части, координаты данной точки P1 (0;24). Вторая реперная точка находится в зоне второго крепления долота к стойке орудия, координаты точки P2 (80;12). Третья реперная точка находится на границе двух функциональных зон долота, рабочей зоны и зоны крепления. Положение точки P3 определяется координатами P3 (168;24). Положение четвертой реперной точки принято на носовой части долота. Данная точка определяет границы существования рабочего органа, её координаты P4 (240;6). На основании параболической интерполяции аналитически заданных параболических линий получены параметрические уравнения образующей кривой и поверхность моделируемого рабочего органа.

Conclusions. The curved line of the surface of the chisel plough is obtained by conjugating the design parabolas, provided that they pass through the reference points belonging to the surface of the working tool. The first reference point is point P1, located on the upper border of the bit in its left part, the coordinates of this point P1 (0; 24). The second datum point is located in the area of the second attachment of the bit to the gun post, the coordinates of the point P2 (80; 12). The third reference point is located at the border of the two functional zones of the bit, the working area and the attachment area. The position of the point P3 is determined by the coordinates P3 (168; 24). The position of the fourth reference point is adopted on the bow of the bit. This point defines the boundaries of the existence of the working body, its coordinates P4 (240; 6). On the basis of parabolic interpolation of analytically specified parabolic lines, parametric equations of the generating curve and the surface of the modeled working body were obtained.

Библиографический список

1. Бердышев В. Е., Цепляев А. Н., Шапров М. Н., Харлашин А. В., Седов А. В., Цепляев В. А., Борисенко И. Б. Теория и расчет технологических параметров сельскохозяйственных машин. Волгоград, 2018.
2. Борисенко И. Б., Пындак В. И., Новиков А. Е. Развитие чизельных почвообрабатывающих орудий и их теоретическое обоснование. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. № 2. С. 12-19.
3. Ayadi Ibrahim, Hatem Bentaher, Aref Maalej Soil-blade orientation effect on tillage forces determined by 3D finite element models Spanish. Journal of Agricultural Research. 2014. Pp. 941-951.
4. Barr J. B., Ucgul M., Desbiolles J. M. A., Fielke J. M. Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method. Biosystems Engineering. 2018. No 171. Pp. 1-15.
5. Новиков А. Е., Борисенко И. Б., Чамурлиев О. Г., Чамурлиев Г. О., Плющиков В. Г. Волновое разрушение закрытых почвогрунтов. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. 2018. С. 422-427.
6. Борисенко И. Б., Сидоров А. Н., Мезникова М. В., Сытилин М. Н. Технологический процесс основной обработки как фактор ресурсосбережения при возделывании сельскохозяйственных культур. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2020. С. 112-118.
7. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokhov V., Antoshchenkov R., Mykhailov A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.
8. Ветохин В. И. Проектирование рыхлителей почвы на основе метода отображения рациональной деформации пласта. Тракторы и с/х машины. 1994. № 1. С. 21-24.
9. Гапич Д. С., Моторин В. А., Новиков А. Е., Олейников Р. Н. Металлографические исследования легированной режущей кромки лемеха плуга. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 369-378.
10. Васьюков А. А., Дорохов А. С., Романенко В. Н. Применение методов начертательной геометрии для графического построения развертывающихся рабочих поверхностей плугов. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2012. № 1 (52). С. 42-44.

11. Васьяков А. А., Дорохов А. С., Трушина Л. Н. Графическое построение рабочих поверхностей корпусов плугов. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2012. № 2 (53). С. 51-53.

References

1. Berdyshev V. E., Tseplyaev A. N., Shaprov M. N., Kharlashin A. V., Sedov A. V., Tseplyaev V. A., Borisenko I. B. Theory and Calculation of Technological Parameters of Agricultural Machines. Volgograd, 2018.
2. Borisenko I. B., Pyndak V. I., Novikov A. E. Development of Chisel Tillage Tools and Their Theoretical Justification. Agricultural machinery: maintenance and repair. 2021. № 2. Pp. 12-19.
3. Ayadi Ibrahim, Hatem Bentaher, Aref Maalej Soil-blade orientation effect on tillage forces determined by 3D finite element models Spanish. Journal of Agricultural Research. 2014. Pp. 941-951.
4. Barr J. B., Ucgul M., Desbiolles J. M. A., Fielke J. M. Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method. Biosystems Engineering. 2018. No 171. Pp. 1-15.
5. Novikov A. E., Borisenko I. B., Chamurliov O. G., Chamurliov G. O., Plyushchikov V. G. Wave Destruction of Closed Soils. Virtual modeling, prototyping and industrial design. 2018. Pp. 422-427.
6. Borisenko I. B., Sidorov A. N., Meznikova M. V., Sytilin M. N. Technological Process of Basic Processing as a Factor of Resource Saving in the Cultivation of Agricultural Crops. Optimization of Agricultural Land Use and Strengthening of the Export Potential of the Agro-Industrial Complex of the Russian Federation on the Basis of Convergent Technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2020. Pp. 112-118.
7. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokhov V., Antoshchenkov R., Mykhailov A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.
8. Vetokhin V. I. Design of Soil Rippers Based on the Method of Displaying Rational Deformation of the Reservoir. Tractors and agricultural machines. 1994. № 1. Pp. 21-24.
9. Gapich D. S., Motorin V. A., Novikov A. E., Oleynikov R. N. Metallographic Studies of the Alloyed Cutting Edge of the Ploughshare. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2020. № 4 (60). Pp. 369-378.
10. Vaskov A. A., Dorokhov A. S., Romanenko V. N. Application of Descriptive Geometry Methods for Graphic Construction of Unfolding Plough Working Surfaces. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin". 2012. № 1 (52). Pp. 42-44.
11. Vaskov A. A., Dorokhov A. S., Trushina L. N. Graphic construction of working surfaces of plough bodies. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin". 2012. № 2 (53). Pp. 51-53.

Информация об авторах

Швабауэр Юрий Александрович, аспирант кафедры "Электроснабжение и энергетические системы", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Субботин Станислав Игоревич, аспирант кафедры "Электроснабжение и энергетические системы", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кафедры "Электроснабжение и энергетические системы", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика», заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Author's Information

Shvabauer Yuriy Aleksandrovich, PhD student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Subbotin Stanislav Igorevich, PhD student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Gapich Dmitriy Sergeevich, Doctor Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-42

ENERGY ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF BALLASTS FOR GAS-DISCHARGE LIGHT SOURCES**Rakutko E. N., Rakutko S. A.***Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production
Saint Petersburg, Russian Federation*Corresponding author E-mail: sergej1964@yandex.ru

Received 31.10.2023

Submitted 29.11.2023

Summary

The paper discusses the methodology for energy assessment of the operating efficiency of the "gas-discharge lamp + ballast" set.