

UDC 004.942

S. S. TYSHCHENKO¹, A. V. KRASNIUK², T. V. ULCHENKO³, A. S. SHCHERBAK^{4*}¹Dep. «Higher Mathematics», Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University, Voroshilov St., 25, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 713 51 86, e-mail mozganet@mail.ua, ORCID 0000-0003-4860-4818²Dep. «Graphics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 38, e-mail krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992³Dep. «Graphics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 724 47 22, e-mail ulchenkov@ya.ru, ORCID 0000-0003-2354-7765⁴Dep. «Graphics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 59, e-mail pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

DESIGNING OF DEVELOPED SURFACES OF COMPLEX PARTS

Purpose. The paper focuses on ensuring the rational choice of parameters of the mating surfaces of parts when designing process equipment based on the methods of artificial intelligence. **Methodology.** The paper considers the geometric model of a ruled developed surface, the conditions of existence of such a surface and provides a generalized algorithm for surface plotting regardless of the type of the working element or the machine-building product. One of the most common technical surfaces are the ruled ones, among which a special position is occupied by developed surfaces (thanks to their differential-parametric properties): surface tangent plane is in contact along the rectilinear generator and does not change its position in space when changing the point of contact; surfaces can be produced by bending sheet metal. These provisions enable a product manufacturer to save significant material and energy means, therefore, the development of geometric models of such surfaces is an important task. **Findings.** We analyzed the geometrical model of the developed surface which is incident to two guides. Experimental studies have shown the application prospectivity of semi-digger moldboards on moldboard plows, particularly on the double-deck ones. Taking into account the operating speed of the plow 2.8 m/s, the plant residues plowing percentage for plow with semi-digger moldboards is 98.9%, and with the digger ones – 96.1%. **Originality.** According to results: 1) the approaches to solving the problem of recognition of wear conditions of the tested interface, depicted by its conceptual model, were elaborated; 2) the corresponding algorithms of the computational procedures were built; 3) the mathematical model that determines the effect of the parameters of the contacting surfaces on their performance properties – linear wear rate during the normal wear and tear was developed; 4) for this model the theoretical prerequisite of use for the random mating study were designated. **Practical value.** Currently, these areas produced significant results which are in line with modern requirements of construction engineering. The process of parametric model optimization generates a plurality of desired values of the surface parameters. There are formed the algorithms for automatic recognition of design features and operation of interfaces by their images, which are set by a structured set of formal signs. The recognition result is the interface designation to a particular group, each of which corresponds to an individual computational model of quality parameters normalization.

Keywords: geometry; surfaces; developed surfaces; model; working elements

Introduction

For a multiple production the most important among the technological equipment is mechanical processing equipment characterized by the need of frequent change, optimal service life is 5-7 years. Analysis of design methods of technological and mechanical processing equipment showed that at the early design stages it is very difficult to assess and take into account the variety of factors affecting the quality of its work. There is a problem of automated selection of design and process parameters the mating surfaces to ensure operating pur-

pose of the product. At the same time, there is no scientific methodological framework that allows taking into account the design and technological features of the designed equipment.

One of the main directions of descriptive geometry is designing surfaces, linear and two-dimensional contours, which correspond to different positional, metric, differential conditions. Currently, these areas received significant results that meet the modern requirements of design planning.

The works [10, 11] present the geometric model of ruled surfaces with multiparameter sets of lines and special lines of surfaces, but a large

number of parameters and difficult determination of special lines, such as curvature, make the use of these models difficult in practice. The works [12–15] are devoted to the development of geometric models of tillage working element surfaces. The disadvantage of these models is that they are specified for the working element, which reduces the possibility of their use in the design of other tools. A common shortcoming of these models is that they are presented in general or for a specific working element. This leads to the fact that in each case it is necessary to develop the own algorithm for surface building.

Purpose

The main directions of the descriptive geometry of surfaces formulated by I. I. Kotov [7, 8] and including development of methods for designing linear and two-dimensional contours, continuous frames in compliance with the set differential-isometric conditions, generation of contours and surfaces equations, are still up to date. Furthermore, increasing requirements for accuracy characteristics, increase in speed and the need to improve the dynamic characteristics of surface interactions with the environment made the surface geometry conditions more complicated. For example, the transition curves of railways need continuous fourth derivative at the junctions [4, 18]; bi-dimensional contours must have degree of smoothness at the joint not lower than the second one [3, 9] for the surfaces, operating in conditions of high density environment (working elements of tillage tools, machines and mechanisms in the car-locomotive facilities of railways, ship contours, etc.) or of high speeds.

The above generates an urgent need to develop new methods for continuous mathematical surface models (MSM), which correspond to a large number of differential geometric terms with a given degree of accuracy and solution of various applied problems on the received MSM.

An important sector of technology, which is connected with engineering progress, are those units that are engaged in designing and manufacturing of products, whose main functional element is the surface, working in conditions of high speeds or a large density, particularly the tillage elements and machines. Energy costs thus depend on the geometric properties of surfaces.

One of the most common technical surfaces are the ruled ones, among which a special position is occupied by developed surfaces thanks to their differential-parametric properties:

- surface tangent plane is in contact along the rectilinear generator and does not change its position in space when changing the point of contact;
- the surfaces can be made by bending sheet metal.

These provisions enable a product manufacturer to save significant material and energy means, therefore, the development of geometric models of such surfaces is an important task.

The work purpose is to ensure the rational choice of parameters of the mating surfaces of parts when designing process equipment based on the methods of artificial intelligence.

The study object is a combination of machining and mechanical processing equipment, tools and other machine parts, working in conditions of friction under boundary lubrication and made of general purpose structural materials.

The paper considers the geometric model of a ruled developed surface, the conditions of existence of such a surface and provides a generalized algorithm for surface plotting regardless of the type of the working element or the machine-building product [6].

Methodology

We know that a developable surface is given by two curves which have the property: if through any point of the first curve to draw the area tangent to both curves, this tangent property is kept in many geometric transformations.

Assume that we have two set curves:

m :

$$x = x_1(u), \quad y = y_1(u), \quad z = z_1(u), \quad (1)$$

n :

$$x = x_2(v), \quad y = y_2(v), \quad z = z_2(v), \quad (2)$$

which separate a congruence from a set of lines:

$$y = ax + b, \quad z = cx + d. \quad (3)$$

Herewith the parameters a, b, c, d depend on u and v and are determined by the equations (1) and (2), (3), so that,

$$a = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}; b = y_1 - ax_1; \quad (4)$$

$$c = \frac{z_1 - z_2}{x_1 - x_2}; d = z_1 - cx_1. \quad (5)$$

To separate a developable surface, we introduce additional condition as compatibility of equations defining the framing of both curves with the standards of future surface [1, 2]:

$$\begin{cases} z'_1 = p \cdot x'_1 + q \cdot y'_1 \\ z'_2 = p \cdot x'_2 + q \cdot y'_2 \end{cases}, \quad (6)$$

where primes indicate the rates of the functions that define curves by their parameters, and differential equation of ruled surface:

$$p + aq - c = 0, \quad (7)$$

which is equivalent to the equation:

$$\begin{vmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \\ x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 \end{vmatrix} = 0. \quad (8)$$

The equation (6) expresses the fact that the surface standards at the relevant points of the set curves (which belong to the same straight line generator) are parallel that is equivalent to existence of general tangent area to the surface in these points. Indeed, given (4) and (5), the equation (8) takes the form:

$$\begin{vmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \\ x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \end{vmatrix} = 0, \quad (9)$$

i.e. vectors tangent to the curve and generators are coplanar.

Equation (9) allows determining the relationship between the parameters u and v provided the surface developability:

$$\varphi(u, v) = 0, \quad (10)$$

that together with (3), (4), (5) gives the desired surface equation.

If one of the parameters (for example u) can be from (10) expressed clearly through the other parameter,

$$u = \varphi_1(v), \quad (11)$$

then with (4), (5) and (11) surface equation will look like:

$$y = a(v) \cdot x + b(v), \quad z = c(v) \cdot x + d(v). \quad (12)$$

To find the edge of regression l , we differentiate (12) by v :

$$x = \frac{b'(v)}{a'(v)} = -\frac{d'(v)}{c'(v)}. \quad (13)$$

One of the equations (13) together with (12) will define l .

Obviously, not every two lines with their shape and position in space will enable to plot a developable surface. In solving the determinant (9) there may be the following cases (except the discussed above, which leads to (10)):

– determinant identically equals to zero (curves are in the same area, which is the sought surface regardless of function φ);

– as a result of the solution (9) becomes the equation of one parameter (there is no developable surface, there are separate generators, whose number equals to the number of roots of equations, where there is a common tangent area by given curves);

– determinant (9) is not equal to zero (developable surface does not exist).

Thus, the desired result gives only the case that leads to (10).

We consider the equation (6) and (9). Minor determinants 2×2 of the first two rows of the determinant (9) are the coordinates of the surface standard $\vec{n} \{ \Delta x, \Delta y, \Delta z \}$, so that

$$p = \frac{-\Delta x}{\Delta z}, \quad q = \frac{-\Delta y}{\Delta z}, \quad (14)$$

where

$$\Delta x = -\begin{vmatrix} y'_1 & z'_1 \\ y'_2 & z'_2 \end{vmatrix}; \quad \Delta y = \begin{vmatrix} x'_1 & z'_1 \\ x'_2 & z'_2 \end{vmatrix}; \quad \Delta z = \begin{vmatrix} x'_1 & y'_1 \\ x'_2 & y'_2 \end{vmatrix} \quad (15)$$

Plotting of the surface is greatly simplified when the guide curves are contour lines. For example, if m and n are horizontals, then the condition of a developable surface is $\Delta z = 0$, and for the frontals: $\Delta y = 0$ and so on.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Algorithm for plotting the surface.

There are given m and n curves (equation (1) and (2)).

1. We find the generators $x'1, y'1, z'1, x'2, y'2, z'2$.

2. We add the determinant (9) as a result of which find a solution (10). If the dependence (10) does not arise from the determinant (9), then the solution does not exist.

3. We determine the coefficients a, b, c, d according to (4) and (5).

4. We find a, b, c, d taking into account (10).

5. We write the surface equation (3).

The given model is used for building the semi-digger moldboard of the upper deck of a double-deck plow PNY-4-40 (Fig. 1), while the lower deck had digger moldboards. As the guide curves we selected boundary movement trajectories of soil beds [5, 16, 17].

Findings

The assessment of the operation quality of the double-deck plow with digger and semi-digger moldboards of the upper deck was conducted by the following indicators:

- depth of plowing of plant residues;
- percentage of plowing of plant residues

Experimental studies have shown the application prospectivity of semi-digger moldboards on moldboard plows, particularly on the double-deck ones. Taking into account the operating speed of the plow 2.8 m/s, the plant residues plowing percentage for plow with semi-digger moldboards is 98.9%, and with the digger ones – 96.1%, which is 4.3% higher, that is why semi-digger moldboards mounted on the upper deck of the double-deck plow outweigh the digger moldboards by agro-technical parameters [19].

Originality and practical value

1. The approaches to solving the problem of recognition of wear conditions of the tested interface, depicted by its conceptual model, were elaborated; the corresponding algorithms of the computational procedures were built.

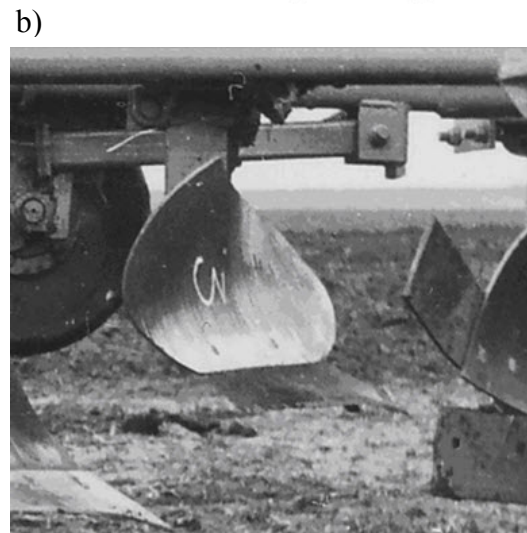
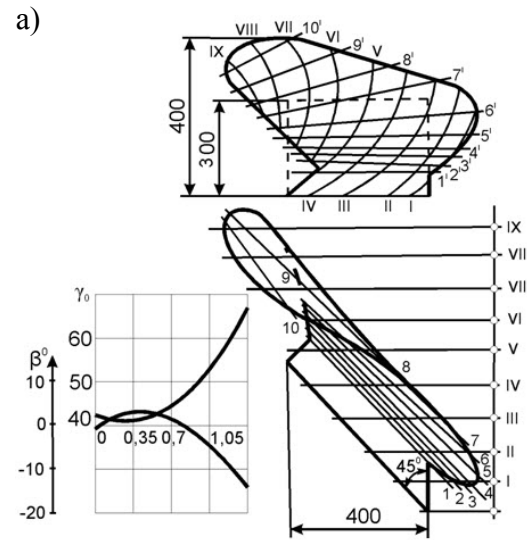


Fig. 1. Semi-digger moldboard of double-deck plow:

- a – moldboard drawing;
b – general view of semi-digger moldboard

2. The mathematical model that determines the effect of the parameters of the contacting surfaces on their performance properties – linear wear rate during the normal wear and tear was developed; for this model the theoretical prerequisite of use for the random mating study were designated. The process of parametric model optimization generates a plurality of desired values of the surface parameters.

3. There are formed the algorithms for automatic recognition of design features and operation of interfaces by their images, which are set by a structured set of formal signs. The recognition result is the interface designation to a particular

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

group, each of which corresponds to an individual computational model of surface quality parameters normalization.

Conclusions

1. The analysed method of putting together the analytic formulas of specific transformations allows us to study the converted lines and surfaces using the methods of analytic geometry.

2. The designed model of developed surface is expedient to be used for designing various working elements, including tillage tools.

3. Using the system, we elaborated the algorithms and compiled the programs for analytical calculation of line, non-line and equidistant to them surfaces by given differential geometric terms, which have shown high efficiency of the system application in solving the above problems.

4. We proposed a new equation of patch-wise surface centre without transitional functions that saves the computing resources and simplifies the solutions of various geometric and engineering problems.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Айзикович, С. М. Внедрение параболического индентора в неоднородную полосу, лежащую на упругом основании / С. М. Айзикович, Ю. Ч. Ванг, С. С. Волков // *Соврем. проблемы механики сплошной среды* : сб. тр. XVII Междунар. конф. (14.10–17.10.2014). – Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2014. – С. 16–19.
2. Годес, А. Ю. Напряженно-деформированное состояние упругой плоскости с дуговой трещиной между круговым включением и матрицей / А. Ю. Годес, В. В. Лобода // *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія: «Механіка»*. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 17, т. 1. – С. 3–10.
3. Голованов, Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. – Москва : Изд-во физ.-мат. лит., 2002. – 472 с.
4. Ельфимов, Г. В. Теория переходных кривых / Г. В. Ельфимов. – Москва : Трансжелдориздат, 1948. – 311 с.
5. Зелёный, П. В. Компьютерное моделирование геометрии движения пахотного агрегата / П. В. Зелёный, О. К. Щербакова // *Инновац. технологии в инженер. графике: проблемы и перспективы* : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., 27 марта 2015 г. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2015. – С. 24–26.
6. Квазилинейные графические модели пространства / А. Д. Малый, Ю. Я. Попудняк, Т. В. Ульченко, Т. В. Старосольская // *Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика*. – 2014. – Вип. 5. – С. 51–56.
7. Котов, И. И. Методическое пособие по начертательной геометрии «Алгоритмы конструирования каркасных поверхностей». – Москва : Изд-во Моск. авиац. ин-та, 1975. – 63 с.
8. Котов, И. И. Начертательная геометрия. Курс лекций для слушателей ФПК. – Москва : Изд. Моск. авиац. ин-та, 1973. – 198 с.
9. Лагута, В. В. Удосконалення проектування кривих залізничної колії в плані : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / Лагута Василь Васильович ; Дніпропетр. держ. техн. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2002. – 18 с.
10. Найдыш, В. М. Конструирование поверхностей из многопараметрических множеств линий и поверхностей / В. М. Найдыш // *Науч. тр. Укр. с.-х. акад.* – Киев, 1980. – Вып. 234. – С. 141–144.
11. Найдыш, В. М. Конструирование поверхностей, проходящих через их специальные линии / В. М. Найдыш // *Изв. высш. учеб. завед. Серия: Авиационная техника*. – 1981. – № 2. – С. 88–90.
12. Тищенко, С. С. Геометрическая адаптация поверхностей почвообрабатывающих рабочих органов к выполняемому процессу / С. С. Тищенко // *Вісн. Харк. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка*. – Харків, 2007. – Вип. 59, т. 1. – С. 110–114.
13. Тищенко, С. С. Геометрическая модель адаптивной поверхности почвообрабатывающего рабочего органа инцидентной двум кривым / С. С. Тищенко // *Сб. науч. раб. Крым. гос. ун-та*. – Симферополь, 2005. – Вып. 84. – С. 242–247.
14. Тищенко, С. С. Конструирование поверхности окучника для пропашных культур по абсолютным траекториям движения почвы / С. С. Тищенко, В. В. Карась // *Вісн. Дніпропетр. держ. агроуніверситету*. – 2006. – № 1. – С. 27–30.
15. Трухина, В. Д. Применение вычислительной техники при проектировании лемешно-отвальных поверхностей : учеб. пособие / В. Д. Трухина ; М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР, Алт. политехн. ин-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 1989. – 82 с.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

16. Brown, L. D. A semiparametric multivariate partially linear model: A difference approach / L. D. Brown, M. Levine, L. Wang // J. of Statistical Planning and Inference. – 2016. – Vol. 178. – P. 99–111. doi:10.1016/j.jspi.2016.06.005.
17. One-to-one nonlinear transformation the space with identity plane / A. D. Malyi, T. V. Ulchenko, A. S. Shcherbak [et al.] // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 3 (63). – С. 181–190. doi: 10.15802/stp2016/74768.
18. Watson, D. F. Computing the n-dimensional Delaunay tessellation with application to Voronoi polytopes / D. F. Watson // The Computer Journal. – 1981. – No. 2. – P. 167–172.
19. Xu, X. A spatial autoregressive model with a nonlinear transformation of the dependent variable / X. Xu, L. Lee // Journal of Econometrics. – 2015. – Vol. 186. – Iss. 1. – P. 1–18. doi: 10.1016/j.jeconom.2014.12.005.

С. С. ТИЩЕНКО¹, А. В. КРАСНЮК², Т. В. УЛЬЧЕНКО³, А. С. ЩЕРБАК^{4*}

¹Каф. «Вища математика», Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 713 51 86, ел. пошта mozganet@mail.ua, ORCID 0000-0003-4860-4818

²Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 38, ел. пошта krasnyuk@mail.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992

³Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 724 47 22, ел. пошта ulchenkotv@ya.ru, ORCID 0000-0003-2354-7765

^{4*}Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, ел. пошта pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

ПРОЕКТУВАННЯ РОЗГОРТНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Мета. У статті необхідно розглянути забезпечення раціонального вибору параметрів поверхонь, що сполучаються, та оброблюваних деталей при проектуванні технологічного обладнання на основі методів штучного інтелекту. **Методика.** В роботі розглядається геометрична модель лінійчатої розгортної поверхні, умови існування такої поверхні та приводиться узагальнений алгоритм побудови поверхні, незалежно від типу робочого органу або машинобудівного виробу. Одними з найбільш поширених у техніці поверхнями є лінійчаті, серед яких особливе положення займають розгортні (завдяки своїм диференціально-параметричним властивостям): дотична площина контактує з поверхнею вздовж всієї прямої лінійної твірної та не змінює свого положення у просторі при зміні точки дотику; поверхні можуть виготовлятися методом згину металевих листів. Ці положення дозволяють при виготовленні виробів заощаджувати значні матеріальні та енергетичні кошти, тому розробка геометричних моделей таких поверхонь є важливою задачею.

Результати. Авторами розглянуто геометричну модель розгортної поверхні, яка інцидентна двом напрямним. Експериментальні дослідження показали перспективність застосування напівгвинтових полиць на польових плугах, зокрема, на двоярусних. Приймаючи до уваги робочу швидкість руху плугу 2,8 м/с, відсоток заорювання рослинних решток для плугу з напівгвинтовими полицями складає 98,9 %, а з культурними – 96,1 %. **Наукова новизна.** За результатами експерименту: 1) вироблені підходи до вирішення задачі розпізнавання умов зношування досліджуваного сполучення, зображеного його концептуальною моделлю; 2) побудовані відповідні алгоритми обчислювальних процедур; 3) розроблено математичну модель, яка визначає вплив параметрів контактуючих поверхонь на їх експлуатаційну властивість – лінійну інтенсивність зношування в період нормального зносу; 4) для даної моделі позначені теоретичні передумови застосування в дослідженні довільного сполучення.

Практична значимість. На даний час у цих напрямках отримані серйозні результати, які стоять на рівні сучасних вимог конструкторського проектування. В процесі параметричної оптимізації моделі формуються безліч шуканих значень параметрів поверхонь. Сформовані алгоритми автоматичного розпізнавання особливостей конструкції та експлуатації сполучень за їх зображеннями, що задається структурованими сукупностями формалізованих ознак. Результатом розпізнавання є віднесення сполучення до певної групи, кожній з множин яких відповідає індивідуальна розрахункова модель нормування параметрів якості.

Ключові слова: геометрія; поверхні; розгортні поверхні; модель; робочі органи

С. С. ТИЩЕНКО¹, А. В. КРАСНЮК², Т. В. УЛЬЧЕНКО³, А. С. ЩЕРБАК^{4*}

¹Каф. «Высшая математика», Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, Днепро, Украина, 49600, тел. +38 (056) 713 51 86, эл. почта mozganet@mail.ua, ORCID 0000-0003-4860-4818

²Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 38, эл. почта krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992

³Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (067) 724 47 22, эл. почта ulchenkotv@ya.ru, ORCID 0000-0003-2354-7765

⁴Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, эл. почта pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗВЕРНУТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Цель. В статье необходимо рассмотреть обеспечение рационального выбора параметров сопрягаемых поверхностей обрабатываемых деталей при проектировании технологического оборудования на основе методов искусственного интеллекта. **Методика.** В работе рассматривается геометрическая модель линейчатой развернутой поверхности, условия существования такой поверхности и приводится обобщенный алгоритм построения поверхности, независимо от типа рабочего органа или машиностроительного изделия. Одними из наиболее распространенных в технике поверхностей являются линейчатые, среди которых особое положение занимают развернутые (благодаря своим дифференциально-параметрическим свойствам): касательная плоскость соприкасается с поверхностью вдоль всей прямолинейной образующей и не меняет своего положения в пространстве при изменении точки соприкосновения; поверхности могут изготавливаться методом сгиба металлического листа. Эти положения позволяют при изготовлении изделий экономить значительные материальные и энергетические средства, поэтому разработка геометрических моделей таких поверхностей является важной задачей. **Результаты.** Авторами рассмотрена геометрическая модель развернутой поверхности, которая инцидентна двум направляющим. Экспериментальные исследования показали перспективность применения полувинтовых полок на полочных плугах, в частности, на двухъярусных. Принимая во внимание рабочую скорость движения плуга 2.8 м/с, процент запахивания растительных остатков для плуга с полувинтовыми полками составляет 98,9 %, а с культурными – 96,1%. **Научная новизна.** По результатам эксперимента: 1) выработаны подходы к решению задачи распознавания условий изнашивания исследуемого сопряжения, изображаемого его концептуальной моделью; 2) построены соответствующие алгоритмы вычислительных процедур; 3) разработана математическая модель, определяющая влияние параметров контактирующих поверхностей на их эксплуатационное свойство – линейную интенсивность изнашивания в период нормального износа; 4) для данной модели обозначены теоретические предпосылки применения к исследованию произвольного сопряжения. **Практическая значимость.** В настоящее время по этим направлениям получены серьезные результаты, которые находятся на уровне современных требований конструкторского проектирования. В процессе параметрической оптимизации модели формируется множество искомым значений параметров поверхностей. Сформированы алгоритмы автоматического распознавания особенностей конструкции и эксплуатации сочетаний по их изображениям, которые задаются структурированными совокупностями формализованных признаков. Результатом распознавания является отношение сопряжения к определенной группе, каждой из множества которых соответствует индивидуальная расчетная модель нормирования параметров качества.

Ключевые слова: геометрия; поверхности; развернутые поверхности; модель; рабочие органы

REFERENCES

1. Ayzikovich, S. M., Vang, Y. C., & Volkov, S. S. (2014). Vnedreniye parabolicheskogo indentora v neodnorodnyu polosu, lezhashchuyu na uprugom osnovanii. *Proceedings of the XVII International Conference on Sov-*

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- remennyye problemy mekhaniki sploshnoy sredy, October 14-17, 2014, Rostov-on-Don.* 16-19. Rostov-on-Don: Southern Federal University.
2. Godes, A. Y., & Loboda, V. V. (2013). Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye uprugoy ploskosti s dugovoy treshchinoy mezhdru krugovym vklyucheniem i matritsey. *Bulletin of Dnipropetrovsk University, Series Mechanics*, 17 (1), 3-10.
 3. Golovanov, N. N. (2002). *Geometricheskoye modelirovaniye*. Moscow: FIZMATLIT.
 4. Yelfimov, G. V. (1948). *Teoriya perekhodnykh krivykh*. Moscow: Transzheldorizdat.
 5. Zelenyy, P. V., & Shcherbakova, O. K. (2015). Kompyuternoye modelirovaniye geometrii dvizheniya pakhotnogo agregata. *Proceedings of the International Conference on Innovatsionnyye tekhnologii v inzhenernoy grafike: problemy i perspektivy, March 27, 2015, Novosibirsk.* 24-26. Novosibirsk: NGASU (Sibstrin).
 6. Malyi, A. D., Popudniak, Y. Y., Ulchenko, T. V., & Starosol'ska T. V. (2014). Quasilinear graphic models of space. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 5, 51–56.
 7. Kotov, I. I. (1975). *Algoritmy konstruirovaniya karkasnykh poverkhnostey: Metodicheskoye posobiye po nachertatelnoy geometrii*. Moscow: MAI.
 8. Kotov, I. I. (1973). *Nachertatel'naya geometriya: Kurs lektsiy dlya slushateley FPK*. Moscow: MAI.
 9. Laguta, V. V. (2002). *Improvement of designing of the railway curves in a plan.* (PhD thesis). Available from Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk.
 10. Naydysh, V. M. (1980). Konstruirovaniye poverkhnostey iz mnogoparametricheskikh mnozhestv liniy i poverkhnostey. *Nauchnyye trudy Ukrainskoy selskokhozyaystvennoy akademii*, 234, 141-144.
 11. Naydysh, V. M. (1981). Konstruirovaniye poverkhnostey, prokhodyashchikh cherez ikh spetsialnyye linii. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii: Aviatsionnaya Tekhnika*, 2, 88-90.
 12. Tishchenko, S. S. (2007). Geometricheskaya adaptatsiya poverkhnostey pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov k vypolnyaemomu protsessu. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. P. Vasylenka*, 59(1), 110-114.
 13. Tishchenko, S. S. (2005). Geometricheskaya model adaptivnoy poverkhnosti pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa intsidentnoy dvum krivym. *Sbornik nauchnykh robot Krymskogo gosudarstvennogo universiteta*, 84, 242-247.
 14. Tishchenko, S. S., & Karas, V. V. (2006). Konstruirovaniye poverkhnosti okuchnika dlya propashnykh kultur po absolyutnym traektoriyam dvizheniya pochvy. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*, 1, 27-30.
 15. Trukhina, V. D. (1989). *Primeneniye vychislitelnoy tekhniki pri proyektirovanii lemeshnootvalnykh poverkhnostey*. Barnaul: API.
 16. Brown, L. D., Levine, M., & Wang, L. (2016). A semiparametric multivariate partially linear model: A difference approach. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 178, 99-111. doi:10.1016/j.jspi.2016.06.005
 17. Malyi, A. D., Ulchenko, T. V., Shcherbak, A. S., Popudniak, Y. Y., & Starosolskaya, T. V. (2016). One-to-one nonlinear transformation the space with identity plane. *Science and Transport Progress*, 3(63), 181-190. doi: 10.15802/stp2016/74768
 18. Watson, D. F. (1981). Computing the n-dimensional Delaunay tessellation with application to Voronoi polytopes. *The Computer Journal*, 24(2), 167-172. doi: 10.1093/comjnl/24.2.167
 19. Xu, X., & Lee, L. (2015). A spatial autoregressive model with a nonlinear transformation of the dependent variable. *Journal of Econometrics*, 186(1), 1-18. doi: 10.1016/j.jeconom.2014.12.005

Prof. M. V. Shchpyrko, D. Sc. (Tech.), (Ukraine); Prof. V. D. Petrenko, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Accessed: Dec. 14, 2016

Received: March 23, 2017