

Міністерство освіти і науки України  
Українська асоціація з прикладної геометрії  
Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького  
Мелітопольська школа прикладної геометрії



**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ  
МОДЕЛЮВАННЯ**  
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**Випуск 15**

Наукове фахове видання

Мелітополь – 2019 р.

УДК [51+514+721+004.92]–047.58(062.552)

ББК 22.1я5

С 91

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: Серія КВ № 21030-10830Р від 29.09.2014 р.  
Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України № 241 від 09.03.2016)

Рекомендовано до друку та поширення через мережу Інтернет  
Вченою радою МДПУ імені Б. Хмельницького,  
протокол № 13 від 24 квітня 2019 р.

Редакційна колегія: Найдиш А.В. (гол. редактор),  
Верещага В.М. (заступник гол. редактора), Спирінцев Д.В.  
(відповідальний секретар), Холодняк Ю.В. (технічний редактор),  
Бадаєв Ю.І., Балюба І.Г., Ванін В.В., Єремєєв В.С.,  
Ковальов С.М., Ковальов Ю.М., Корчинський В.М.,  
Куценко Л.М., Мартин Є.В., Пилипака С.Ф., Підгорний О.Л.,  
Плоский В.О., Подкоритов А.М., Сазонов К.О., Сергейчук О.В.,  
Тулученко Г.Я., Лебедєв В.О.

**С 91** Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019.– Вип. 15. – 210 с.

Збірник містить статті за результатами досліджень з теорії та практики моделювання, розглядаються актуальні наукові та прикладні проблеми геометричного моделювання, методика постановки та проведення наукових та дослідницьких експериментів, результати наукових досліджень, питання підготовки фахівців та науковців.

Випуск призначений для науковців, викладачів, аспірантів і студентів.

УДК [51+514+721+004.92]–047.58(062.552)

ББК 22.1я5

© МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019.

ISSN 2313-125X

УДК 514.18

## АНАЛІЗ СПОТВОРЕНЬ ПРИ НАНЕСЕННІ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА КРИВОЛІНІЙНІ СІТКИ

Аушева Н.М., д.т.н.

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна),*

Кремець Я.С., к.т.н.,

Несвідоміна О.В., асп.\*

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України (м. Київ, Україна)*

*Сучасні системи комп'ютерної графіки та математики володіють потужними алгоритмами нанесення растрових зображень на криволінійні плоскі області та поверхні. При будь-якому нанесенні плоского зображення на криволінійну область відбувається його спотворення. Розробка алгоритмів нанесення зображень на криволінійні області з найменшими спотвореннями має певну актуальність.*

*За основу запропонованого способу нанесення плоского зображення на криволінійну область прийнято конформне відображення, при якому залишаються однаковими величини кутів між відповідними лініями в образі і в прообразі. Здійснити таке відображення можливо для двох сіток із квадратними комірками нескінченно малих розмірів, між якими встановлені відповідності.*

*Будь-яке растрове зображення у jpg-форматі можна представити у вигляді квадратних комірок малих розмірів (пікселів), які мають відповідні кольори та яскравості. Криволінійну область теж потрібно задати із квадратів нескінченно малих розмірів, якою є ізометрична сітка. Тоді зчитуваний колір кожного пікселя растрового зображення переноситься на відповідну квадратну комірку ізометричної сітки.*

*В статті проведено візуальне порівняння відображень візерунків вишиванок на плоску полярну сітку віднесеної як до ізометричних координат, так і до не ізометричних координат. Показано, що в другому випадку відображення має більше спотворення. Причому, використання рівняння поверхні в ізометричних координатах зменшує спотворення зображення при застосуванні оператора середовища Maple.*

*Ключові слова: ізометрична сітка, растрове зображення, колір пікселя, конформне відображення, спотворення растра.*

---

\* Науковий керівник – д.т.н., проф. Пилипака С.Ф.

**Постановка проблеми.** Більшість систем комп'ютерної графіки та математики мають засоби нанесення довільного зображення на криволінійні плоскі та просторові області. При цьому, будь-який вихідний  $N \times M$  прямокутний растр у форматах *bmp, jpeg, png, tiff* завжди буде відображатися на криволінійну область із спотворенням. Вплив внутрішньої геометрії поверхні на спотворення при відображенні на неї растрового зображення є ще не вивченим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нанесення рисунків із ліній на ізометричні сітки із збереженням конформності (кутів між лініями) наведено в праці [2]. Формоутворення поверхонь віднесених до ізометричних координатних ліній показано в праці [3].

**Формулювання цілей статті.** Проаналізувати спотворення при відображенні растрових текстур на криволінійні області віднесених, як до ізометричних так, і до не ізометричних координатних ліній. В основі досліджень покладено візуальний аналіз результатів обчислювальних експериментів з різними растрами в середовищі *Maple* [1].

**Викладення основного матеріалу.** Нехай маємо будь-яке растрове зображення, наприклад, у *jpg*-форматі (рис.1,а), яке характеризується розміром – кількістю пікселів по ширині  $uN$  і висоті  $vN$ , та кольором і яскравістю кожного пікселя. За допомогою операторів бібліотеки *ImageTools* [1] середовища *Maple* при необхідності будь-який растр можна відредагувати, зокрема повернути (рис.1,б) та трансформувати (рис.1,в).

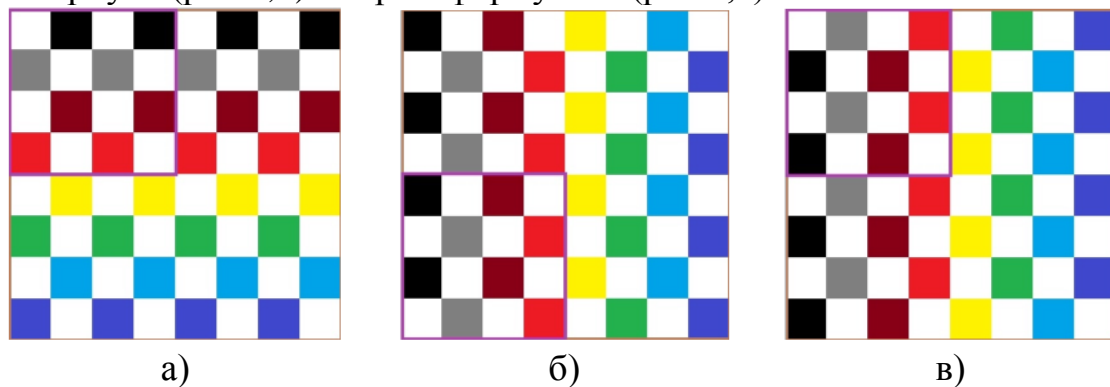


Рис.1. Растрові зображення із різнокольорових квадратів

Спершу наведемо відображення растра (рис.1) на найпростішу плоску полярна криволінійну сітку виду:

$$\mathbf{R}(u, v) = \mathbf{R}[e^u \cos(v), e^u \sin(v), 0], \quad (1)$$

перша квадратична форма якої дорівнює:

$$ds^2 = e^{2u} du^2 + e^{2u} dv^2, \quad (2)$$

звідки отримуємо:

- коефіцієнт  $F=0$  - сітка координатних ліній ортогональна;

- коефіцієнти  $E$  і  $G$  рівні між собою і дорівнюють  $e^{2u}$ .

Саме ця властивість дозволяє на сітці (1) формувати комірки із квадратів однакового чи різного розміру та забезпечити конформне відображення (із збереженням кутів між лініями образу та прообразу) растрового зображення прямокутної форми на криволінійну область.

Для побудови комірок полігональної сітки із квадратів (рис.2,а) необхідно забезпечити однаковий приріст вздовж  $u$  і  $v$  -координат:

$$ud := \frac{u_2 - u_1}{u_N}, vd = ud, \quad (3)$$

або ж:

$$vd = \frac{v_2 - v_1}{v_N}, ud = vd, \quad (4)$$

де  $u_N, v_N$  – задана кількість комірок вздовж  $u, v$  – координат.

Можна бачити (рис.2,а), що вздовж  $v$ -координатних ліній (дуг кіл) маємо комірки із квадратів однакового розміру, а вздовж  $u$ -прямолінійних координатних ліній розміри квадратів збільшуються. Для того, щоб ці елементарні комірки із квадратів не зливалися на рисунках, їх кількість  $u_N, v_N$  приймалась дещо замалою.

В середовищі *Maple* нами була розроблена програма, яка фарбує елементарні квадратні комірки (рис.2,б) полярної ізометричної сітки (1) відповідним кольором пікселів вихідного растра (рис.1). Як можна бачити (рис.2,б), що растр із квадратів прямокутної сітки (рис.1,а) відображається в растр із квадратів вже на криволінійній ізометричній сітці. На рис.2,в показано відображення растра рис.1,б – орієнтація чорних квадратів здійснена вздовж  $u$ -прямолінійних координатних ліній полярної ізометричної сітки.

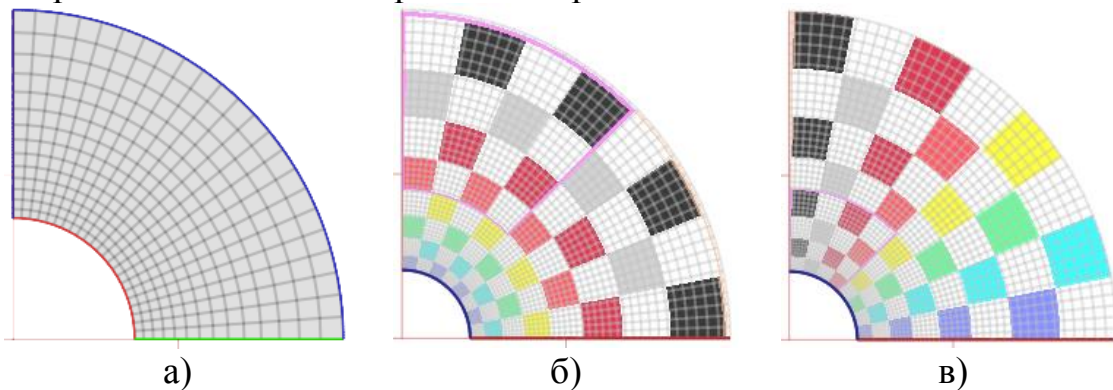


Рис.2. Відображення на полярну ізометричну сітку за виразом (3)

Наведемо відображення растра (рис.1) теж на плоску полярну, але вже не ізометричну сітку виду:

$$\mathbf{R}(u, v) = \mathbf{R}[u \cos(v), u \sin(v), 0]. \quad (5)$$

Оскільки перша квадратична форма цієї сітки дорівнює:

$$ds^2 = du^2 + u^2 dv^2, \quad (6)$$

то сітка (5) є ортогональною  $F=0$ , але не ізометричною  $1 \neq u^2$ .

Побудувати на цій сітці комірки із квадратів не вдається. Як можна бачити (рис.3,а), тільки одна  $v$  – координатна лінія складається із квадратів, всі інші є прямокутниками.

Відображення растра (рис.1,а) на сітку (рис.3,а) здійснимо за допомогою оператора із бібліотеки *ImageTools* середовища *Maple* [1]:

$$\text{plot3d}(\mathbf{R}, u = uS .. uE, v = vS .. vE, \text{image} = \text{Img}), \quad (7)$$

де  $\text{Img}$  – ідентифікатор растра рис.1,а,б.

Тільки квадрати жовтого кольору растра рис.1,а відобразилися в квадрати жовтого кольору на полярній неізометричній сітці рис.3,б. Рис.3,в відповідає відображенню растра рис.1,б на сітку рис.3,а. Вже візуально можна стверджувати, що спотворення на рис.3 є більш суттєвими по відношенню до спотворень на рис.2.

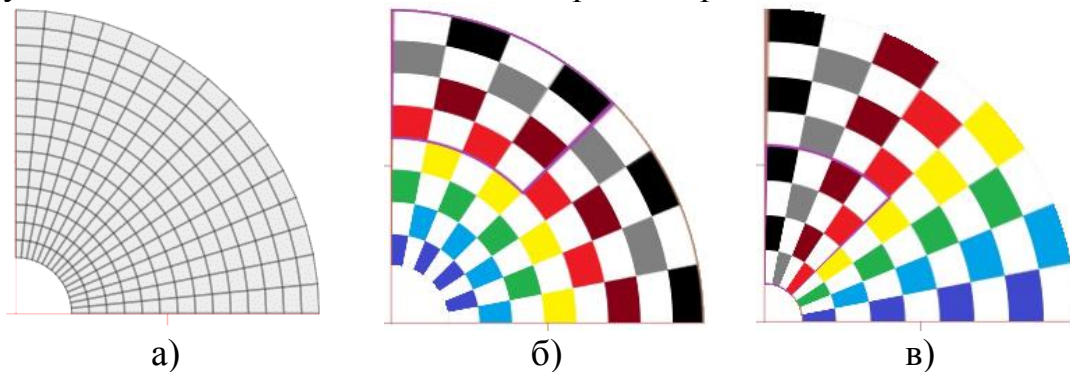


Рис.3. Відображення растра на полярну не ізометричну сітку оператором (7)

Тепер здійснимо відображення растра (рис.1) на ізометричну сітку (1) використовуючи оператор (7) - отримаємо зображення на рис.4,б,в. Як можна бачити, відображення на рис.2 і на рис.4 є ідентичними, але відрізняється від зображення на рис.3. Це означає, що вигляд рівняння поверхні, на яку відображається растр, в середовищі *Maple* [1] впливає на його спотворення.

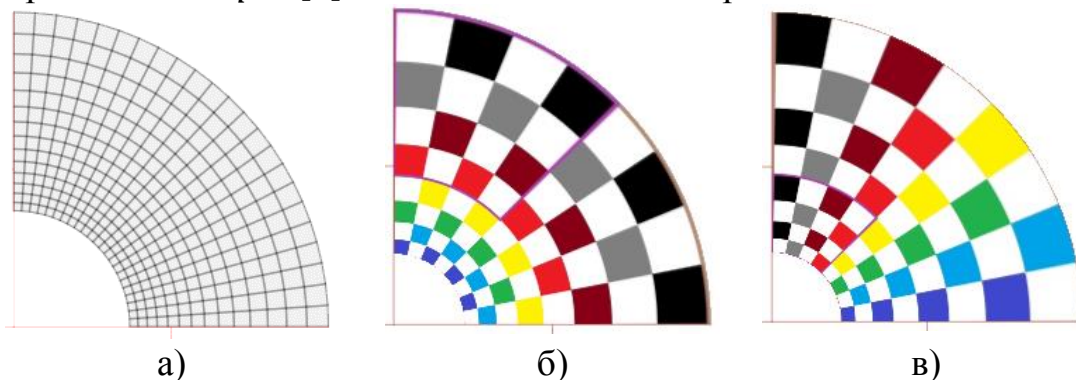


Рис.4. Відображення на полярну ізометричну сітку оператором (7)

Виготовлення візерунків українських вишиванок та рушників хрестиком передбачає розбиття тканини на квадрати однакових розмірів (рис.5).

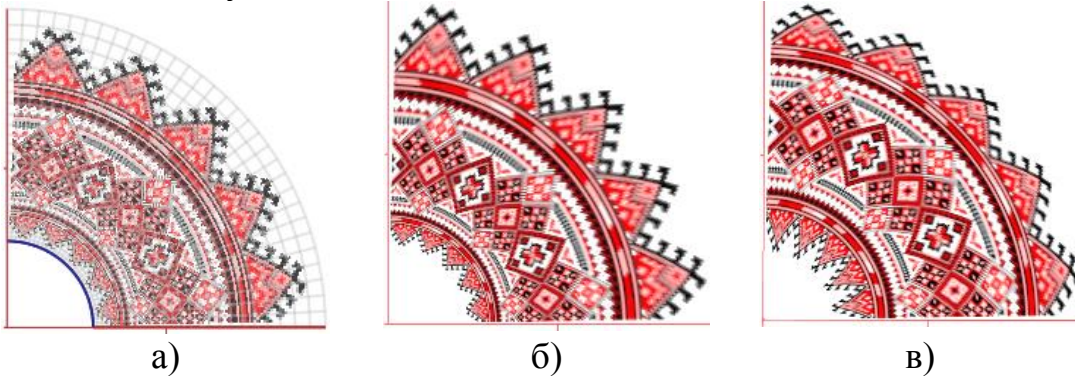


а)

б)

Рис.5. Візерунки українських вишиванок

Зрозуміло, що нанести квадрати однакових розмірів на криволінійні області можливо тільки для розгортних поверхонь. Якщо ж ці криволінійні області представити сітками із квадратів різних розмірів, то можна здійснити вишивання візерунків хрестиком по цих квадратах. На рис.6 наведено вигляди вишиванки (рис.5,а) на полярній сітці: а) – на ізометричній (1) за виразом (3); б) – на ізометричній (1) за оператором (7); в) – на не ізометричній (5) за оператором (7). Можна стверджувати, що спотворення візерунка на рис.6,в є недопустимим.



а)

б)

в)

Рис.6. Відображення візерунку на плоску полярну сітку



а)

б)

в)

Рис.7. Відображення візерунку на частину сфери

На рис.7 наведено вигляди візерунку (рис.5,б) на сферичній сітці: а) – ізометричний за виразом (3); б) – ізометричний за виразом (4); в) – не ізометричний за допомогою оператора (7). Візуальне порівняння показує, що на рис.7, в спотворення візерунка є суттєвим, зокрема, квітка округлої форми значно деформувалась.

**Висновки.** Використання рівнянь поверхонь, віднесених до ізометричних координат, дозволяє зменшити спотворення відображень растрових зображень.

### ***Література***

1. Аладьев В.З, Бойко В.К., Ровба Е.А. Программирование и разработка приложений в Maple. Гродно-Таллин, 2007. 458 с.
2. Кремец Т.С., Несвідомін В.М., Пилипака Т.С. Перетворення плоских зображень шляхом нанесення їх на різні ізометричні сітки. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Прикладна геометрія та інженерна графіка.* Мелітополь, 2013. Вип. 4. Т. 56. С. 158-163.
3. Несвідоміна О.В. Побудова плоских ізометричних сіток за наперед заданими плоскими кривими. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* Херсон: ХНТУ, 2017. Вип.3(620). Т.2. С. 196-199.

## **АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ НАНЕСЕНИИ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ СЕТИ**

Аушева Н.Н., Кремец Я.С., Несвидоміна О.В.

*Современные системы компьютерной графики и математики владеют мощными алгоритмами нанесения растровых изображений на криволинейные плоские области и поверхности. При каждом нанесении плоского изображения на криволинейную область происходит его искажения. Разработка алгоритмов нанесения изображений на криволинейные области с наименьшими искажениями имеет определенную актуальность.*

*За основу предлагаемого способа нанесения плоского изображения на криволинейную область взято конформное отображение, которое сохраняет величины углов между линиями в образе и в прообразе. Осуществить такое отображение возможно для двух сеток с квадратными ячейками бесконечно малых размеров, между которыми установлены соответствия.*

*Любое растровое изображение в jpg-формате можно представить в виде квадратных ячеек малых размеров (пикселей), которые имеют соответствующие цвета и яркости. Криволинейную область тоже нужно задать из квадратов бесконечно малых*



*размеров, какова есть изометрическая сеть. Тогда считываемый цвет каждого пикселя растрового изображения переносится на соответствующую квадратную ячейку изометрической сетки.*

*В статье проведено визуальное сравнение отображений узоров вышивок на плоскую полярную сетку отнесенной как изометрическим координатам, так и к не изометрическим. Показано, что во втором случае искажения больше. Причем, уравнение поверхности в изометрических координатах уменьшает искажения при применении оператора plot системы Maple.*

*Ключевые слова: изометрическая сетка, растровое изображение, цвет пикселя, конформное отображение, искажения.*

## **ANALYSIS OF DISTORTIONS FOR APPLYING RASTER IMAGES TO CURVILINEAR GRIDS**

Aysheva N., Kremetz Ya., Nesvidomina A.

*Modern computer graphics and mathematics systems possess powerful algorithms for applying raster images to curvilinear flat regions and surfaces. Each time a flat image is applied to a curvilinear area, its distortion occurs. The development of algorithms for applying images to curvilinear regions with the least distortion has a certain relevance.*

*The basis of the proposed method of applying a flat image on a curved region is taken conformal mapping, which saves the magnitudes of the angles between the lines in the image and in the prototype. It is possible to carry out such mapping for two grids with square cells of infinitely small sizes, between which correspondences are established.*

*Any bitmap image in jpg-format can be represented as square cells of small sizes (pixels), which have corresponding colors and brightness. The curvilinear region also needs to be defined from the squares of infinitely small sizes, what is the isometric network. Then the read color of each pixel of the bitmap is transferred to the corresponding square cell of the isometric grid.*

*The article presents a visual comparison of the patterns of embroidery on a flat polar grid, referred to as isometric coordinates and non-isometric coordinates. It is shown that in the second case there is more distortion. Moreover, the equation of the surface in isometric coordinates reduces the distortion when using the plot-operator of the Maple system.*

*Keywords: isometric grid, bitmap, pixel color, conformal mapping, distortions.*

UDC 514.74

## INTERPOLATION AND APPROXIMATION BY RATIONAL CURVES OF BEZIER AND NURBS-CURVES

Badayev Yu.I., Dr. Sci.

Gannoshina I.M., Art. Teacher,

Lagodina L.P., Cand.Tech.Sci,

*National Technical University of Ukraine "KPI name Igor Sikorsky"*

**Relevance.** *Rational Bezier curves and NURBS curves are widely used in modeling curvilinear objects due to the great flexibility and efficiency of the method. Therefore, it is relevant to develop an interpolation method and approximation by these curves of a discrete series of points both in the plane and in three-dimensional space.*

**Method.** *The work is devoted to the development of a new approach to interpolation and approximations curve fitting, represented by a set of discrete points. The analytical description of the desired curve is implemented using a rational Bezier curve and a NURBS-curve. To solve this problem, two approaches are proposed. The first approach is that the weights of the points are set in advance and then the coordinates of the points of the interpolating or approximating rational Bezier curve as well as the NURBS-curve are calculated. The second approach is that the coordinates of the points are set in advance and then the weights of the control points of the Bezier curve as well as the NURBS-curve are calculated. At the beginning of the process, are set not only coordinates, but also parameters are set to a discrete row of points, that is, each point has the following definition:  $T(x, y, u)$  on the plane or  $T(x, y, z, u)$  in the three-dimensional space, where  $u$  - parameter. To solve the interpolation problem, a system of linear equations is created in which each equation reflects the equality between the analytical formula for a curve and a given point. Moreover, the number of interpolated points cannot be more than the order of the interpolating curve. Thus, we have a system of  $N$  linear equations, where  $N$  is the number of points equal to the number of points of the curve. Unknown are  $N$  control points of the desired curve. Moreover, in the first approach, the unknowns are coordinates of control points, and in the second weights of points. To solve the approximation problem, the Least Squares method is used. In the beginning, a sum of squared functional of the terms of the differences between the analytic formula of the curve and the coordinate of the given point is created. The optimization problem of minimizing this functional is solved. For this, a system of linear equations is created., each equation of which is a derivative of the functional with respect to a given parameter and equated to zero. In the first approach, the*

desired parameters are the coordinates of points, and in the second weights of points.

**Results.** Two methods of interpolation and approximation of a point series by rational Bezier curves and NURBS-curves were developed.

**Conclusions.** The test cases carried out using computer programs and visualization of results confirm the validity of the proposed methods.

**Keywords:** interpolation, approximation, rational Bezier curves, NURBS-curves.

**Formulation of the problem.** To date, when constructing curves in various automation systems, rational Bezier curves and NURBS curves are often used. It is a very flexible tool that allows you to create smooth splines of any order, shapes, and also easy to carry out local control over the curve. The curve is represented in a parametric form and for controlling the shape of the curve using control points and weight coefficients of nodes [1]. Rational nonuniform Bezier curves refer to NURBS and are based on Bernstein's basic functions. The practical application of NURBS curves is very diverse, for example: they are often used in computer graphics to draw smooth curves that accurately describe the shape of the two-dimensional objects depicted in drawings, for the task of the plane curve of building the surfaces of rotation, as well as the simulation of the trajectories of motion on surface and space in the course of time. The parametric representation of the curve allows it to be used in multidimensional spaces. Interpolation and approximation of these curves enables them to be used in modeling objects with complex geometric shapes.

**Analysis of recent publications.** In work [1] on page 135 offers an algorithm for interpolation with NURBS curves, which is based on the fact that control points in the second stage are projected onto a curve and these new points are taken as new control points. In practice, such an algorithm is difficult to implement and achieves precise results. In the works [2] and [3] It does not specify how to calculate the weight of control points, which prevents the construction of an algorithm for interpolation.

**The purpose of the article.** The purpose of the article is to develop real algorithms for interpolation and approximation with rational Bezier curves and NURBS curves for a given point series

**Main part.** This article uses the subroutine NURBS, based on the basic functions of the curves Bezier [1]. When forming Bezier curves, Bernstein's basic functions are used:

$$B_i^n(u) = C_i^n u^i (1-u)^{n-i}, \quad (1)$$

where  $C_i^n = \frac{n!}{i!(n-i)!}$  - a binomial coefficient, also called a formula for calculating combinations in combinatorics. The values of the basic function

(1) are calculated for [1]:

$$r(u) = \frac{\sum_{i=0}^N p_i \omega_i B_i^N(u)}{\sum_{i=0}^N \omega_i B_i^N(u)}, \quad (2)$$

where  $p_i$  - the control points of the curve,  $\omega_i$  - control point weight.

The NURBS- curve is determined by the formula:

$$r(u) = \frac{\sum_{i=0}^N p_i \omega_i N_{ik}(u)}{\sum_{i=0}^N \omega_i N_{ik}(u)}, \quad (4)$$

where  $p_i$  - the control points of the curve,

$\omega_i$  - control point weight;

$N_{ik}(u)$  - normalized basic power functions degrees  $k$ .

Let given point series  $R_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,K$ . Acceptable for each point specific parameters  $u_j$ . We will have a point series  $R_j(x_j, y_j, u_j)$ . We will interpolate the given point series of the curve (2). To do this we will create an equation system:

$$\sum_{j=1}^K [r(u) - R_j] = 0, j=1,2,\dots,K. \quad (5)$$

We substitute (2) in (5). We get it:

$$\sum_{j=1}^K \left[ \frac{\sum_{i=0}^{K-1} p_i \omega_i B_i^N(u_j)}{\sum_{i=0}^{K-1} \omega_i B_i^N(u_j)} - R_j \right] = 0. \quad (6)$$

Let's turn (6). We get it:

$$\sum_{j=1}^K \left[ \sum_{i=0}^{K-1} p_i \omega_i B_i^N(u_j) - R_j \sum_{i=0}^{K-1} \omega_i B_i^N(u_j) \right] = 0. \quad (7)$$

As you can see, the number of interpolated points should not exceed the number of control points of the curve. Analyzing (6), we can see that the coordinates of the control points can be calculated for interpolation  $p_i$ , if we first assign the value of the weights  $\omega_i$ . You can also calculate the interpolation by calculating the weights  $\omega_i$ , if you assign the coordinates of the control points first  $p_i$ .

As an example, we take the rational Bezier curve of the 3rd degree

$$r(u) = \frac{p_0\omega_0(1-u)^3 + 3p_1\omega_1(1-u)^2u + 3p_2\omega_2(1-u)u^2 + p_3\omega_3u^3}{\omega_0(1-u)^3 + 3\omega_1(1-u)^2u + 3\omega_2(1-u)u^2 + \omega_3u^3}. \quad (8)$$

The number of interpolated points must not exceed 4.

Let's take the next 4-point series with coordinates x, y and with given parameters u:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_1(8.6802, 15.2284, 1.0), \\ R_2 &= R_2(13.8645, 21.5139, 2.0), \\ R_3 &= R_3(17.7323, 23.4201, 3.0), \\ R_4 &= R_4(21.6309, 20.6009, 1.0). \end{aligned} \right\} \quad (*)$$

We substitute (8) into (7). We get a system of 4 linear equations

$$\sum_{j=1}^4 [(p_0\omega_0(1-u_j)^3 + 3p_1\omega_1(1-u_j)^2u_j + 3p_2\omega_2(1-u_j)u_j^2 + p_3\omega_3u_j^3) - R_jW_j] = 0, \quad (9)$$

where

$$W_j = \omega_0(1-u_j)^3 + 3\omega_1(1-u_j)^2u_j + 3\omega_2(1-u_j)u_j^2 + \omega_3u_j^3.$$

We set the weight of control points:

$$\omega_0 = 1.0, \omega_1 = 2.0, \omega_2 = 3.0, \omega_3 = 1.0.$$

Having solved the system (9) separately for x and y, we will have

$$\left. \begin{aligned} p_0(x_0, y_0) &= p_0(0.0, 0.0), \\ p_1 &= p_1(10.0, 20.0), \\ p_2 &= p_2(20.0, 30.0), \\ p_3 &= p_3(30.0, 0.0). \end{aligned} \right\} \quad (**)$$

The results are obtained using the AutoLISP computer program in the AutoCAD system environment. The test example is shown in Fig. 1.

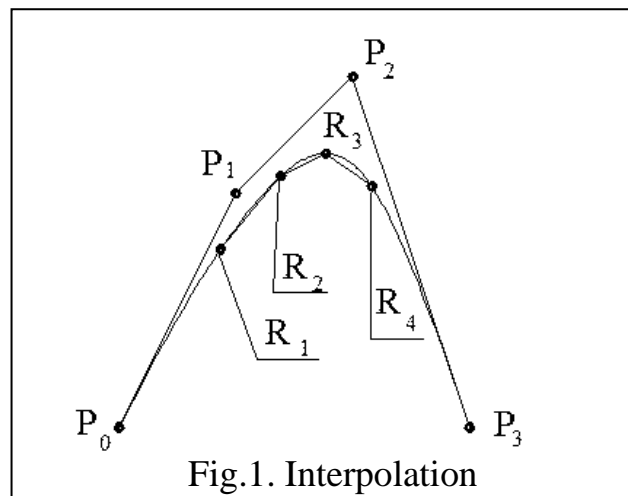


Fig.1. Interpolation

Now, we will make an interpolation by calculating the weighting points of control points. To do this, we rewrite the formula (9) as follows

$$\sum_{j=1}^4 [(p_0 - R_j)\omega_0(1-u_j)^3 + 3(p_1 - R_j)\omega_1(1-u_j)^2u_j + 3(p_2 - R_j)\omega_2(1-u_j)u_j^2 + (p_3 - R_j)\omega_3u_j^3] = 0, \quad (10)$$

Unfortunately, system (10) has no solution, so all equations are zero. In order for the system (10) to have a solution, we will accept it  $\omega_0 = 1.0$ . This is possible because if in equation (8) the numerator and denominator are divided into  $\omega_0$  to

$$\omega_0 = 1.0, \bar{\omega}_1 = \frac{\omega_1}{\omega_0}, \bar{\omega}_2 = \frac{\omega_2}{\omega_0}, \bar{\omega}_3 = \frac{\omega_3}{\omega_0}.$$

Then (10) will be rewritten in the following form

$$\sum_{j=1}^4 [(p_0 - R_j)(1-u_j)^3 + 3(p_1 - R_j)\bar{\omega}_1(1-u_j)^2u_j + 3(p_2 - R_j)\bar{\omega}_2(1-u_j)u_j^2 + (p_3 - R_j)\bar{\omega}_3u_j^3] = 0. \quad (11)$$

System (11) has 4 linear equations and 3 unknowns. This system needs to be reduced to 3 equations. For this we subtract the second equation from the first, third from the second, fourth from the third. In this way we obtain a system of 3 equations with 3 unknowns. Also, for calculation (11) a computer program was developed. To control we leave the coordinates of the control points of the curve (\*\*\*) as well as the coordinates of the point series (\*).

Calculation (11) gives the following weights:

$$\bar{\omega}_1 = 2.0, \bar{\omega}_2 = 3.0, \bar{\omega}_3 = 1.0.$$

Given that  $\omega_0 = 1.0$  we have the same weight points as in the previous version.

Let us consider the possibility of approximation by Bezier's rational curves. To do this, we will apply the known The least squares method. Consider the functional:

$$S = \sum_{j=1}^K [r(u_j) - R_j]^2 \Rightarrow \min. \quad (12)$$

In our case (12) will be rewritten in the form:

$$S = \sum_{j=1}^4 \left[ \frac{p_0 \omega_0 (1-u_j)^3 + 3p_1 \omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3p_2 \omega_2 (1-u_j) u_j^2 + p_3 \omega_3 u_j^3}{\omega_0 (1-u_j)^3 + 3\omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3\omega_2 (1-u_j) u_j^2 + \omega_3 u_j^3} - R_j \right]^2 \Rightarrow \min.$$

or

$$\sum_{j=1}^4 [(p_0 \omega_0 (1-u_j)^3 + 3p_1 \omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3p_2 \omega_2 (1-u_j) u_j^2 + p_3 \omega_3 u_j^3) - R_j W_j]^2 \Rightarrow \min, \quad (13)$$

where

$$W_j = \omega_0 (1-u_j)^3 + 3\omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3\omega_2 (1-u_j) u_j^2 + \omega_3 u_j^3.$$

Decision (13) will be

$$\frac{dS}{dp_0} = \sum_{j=1}^4 2[(p_0 \omega_0 (1-u_j)^3 + 3p_1 \omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3p_2 \omega_2 (1-u_j) u_j^2 + p_3 \omega_3 u_j^3) - R_j W_j] \omega_0 (1-u_j)^3 = 0,$$

$$\frac{dS}{dp_1} = \sum_{j=1}^4 2[(p_0 \omega_0 (1-u_j)^3 + 3p_1 \omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3p_2 \omega_2 (1-u_j) u_j^2 + p_3 \omega_3 u_j^3) - R_j W_j] [3\omega_1 (1-u_j)^2 u_j] = 0,$$

$$\frac{dS}{dp_2} = \sum_{j=1}^4 2[(p_0 \omega_0 (1-u_j)^3 + 3p_1 \omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3p_2 \omega_2 (1-u_j) u_j^2 + p_3 \omega_3 u_j^3) - R_j W_j] [3\omega_2 (1-u_j) u_j^2] = 0,$$

$$\frac{dS}{dp_3} = \sum_{j=1}^4 2[(p_0 \omega_0 (1-u_j)^3 + 3p_1 \omega_1 (1-u_j)^2 u_j + 3p_2 \omega_2 (1-u_j) u_j^2 + p_3 \omega_3 u_j^3) - R_j W_j] \omega_3 u_j^3 = 0,$$

After the differentiation we get a system of 4-line equations:

$$\left. \begin{aligned} a_0 p_0 + a_1 p_1 + a_2 p_2 + a_3 p_3 &= q_0, \\ b_0 p_0 + b_1 p_1 + b_2 p_2 + b_3 p_3 &= q_1, \\ c_0 p_0 + c_1 p_1 + c_2 p_2 + c_3 p_3 &= q_2, \\ d_0 p_0 + d_1 p_1 + d_2 p_2 + d_3 p_3 &= q_3. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

where

$$\begin{aligned}
a_0 &= \sum_{j=1}^4 \omega_0^2 (1-u_j)^6, & c_0 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_0\omega_1(1-u_j)^4 u_j^2, & q_0 &= \sum_{j=1}^4 R_j W_j \omega_0 (1-u_j)^3, \\
a_1 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_0\omega_1(1-u_j)^5 u_j, & c_1 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_1\omega_2(1-u_j)^3 u_j^3, & q_1 &= \sum_{j=1}^4 R_j W_j [3\omega_1(1-u_j)^2 u_j], \\
a_2 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_0\omega_2(1-u_j)^4 u_j^2, & c_2 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_2^2(1-u_j)^2 u_j^4, & q_2 &= \sum_{j=1}^4 R_j W_j [3\omega_2(1-u_j)u_j^2], \\
a_3 &= \sum_{j=1}^4 \omega_0\omega_3(1-u_j)^3 u_j^3, & c_3 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_2\omega_3(1-u_j)u_j^5, & q_3 &= \sum_{j=1}^4 R_j W_j \omega_3 u_j^3. \\
b_0 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_0\omega_1(1-u_j)^5 u_j, & d_0 &= \sum_{j=1}^4 \omega_0\omega_3(1-u_j)^3 u_j^3, \\
b_1 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_1^2(1-u_j)^4 u_j^2, & d_1 &= \sum_{j=1}^4 \omega_1\omega_3(1-u_j)^2 u_j^3, \\
b_2 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_1\omega_2(1-u_j)^3 u_j^3, & d_2 &= \sum_{j=1}^4 \omega_2\omega_3(1-u_j)^3 u_j^3, \\
b_3 &= \sum_{j=1}^4 3\omega_1\omega_3(1-u_j)^2 u_j^4, & d_3 &= \sum_{j=1}^4 \omega_3^2 u_j^6.
\end{aligned}$$

As a result, we calculate the computer program result:

$$\begin{aligned}
p_0 &(0.0 \ 0.0); \\
p_1 &(9.8 \ 19.8); \\
p_2 &(19.99 \ 31.5); \\
p_3 &(30.0 \ 0.0).
\end{aligned}$$

As we see, the results of approximation are not much different from interpolation.

A test case is presented in Fig.2. You can also make approximation using weights  $\omega_i$  control points.

Let's rewrite the functional (13) as follows:

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^4 [(p_0 - R_j)\omega_0(1-u_j)^3 + 3(p_1 - R_j)\omega_1(1-u_j)^2 u_j + \\
&+ 3(p_2 - R_j)\omega_2(1-u_j)u_j^2 + (p_3 - R_j)\omega_3 u_j^3] \Rightarrow \min,
\end{aligned} \tag{15}$$

After the differentiation where we get a  $\omega_0 = 1.0$ .

$$\begin{aligned}
\frac{dS}{d\omega_1} &= \sum_{j=1}^4 [(p_0 - R_j)\omega_0(1-u_j)^3 + 3(p_1 - R_j)\omega_1(1-u_j)^2 u_j + 3(p_2 - R_j)\omega_2(1-u_j)u_j^2 + (p_3 - R_j)\omega_3 u_j^3] \times \\
&3(p_1 - R_j)(1-u_j)^2 u_j = 0, \\
\frac{dS}{d\omega_2} &= \sum_{j=1}^4 [(p_0 - R_j)\omega_0(1-u_j)^3 + 3(p_1 - R_j)\omega_1(1-u_j)^2 u_j + 3(p_2 - R_j)\omega_2(1-u_j)u_j^2 + (p_3 - R_j)\omega_3 u_j^3] \times \\
&3(p_2 - R_j)(1-u_j)u_j^2 = 0,
\end{aligned}$$



$$\frac{dS}{d\omega_3} = \sum_{j=1}^4 [(p_0 - R_j)\omega_0(1-u_j)^3 + 3(p_1 - R_j)\omega_1(1-u_j)^2u_j + 3(p_2 - R_j)\omega_2(1-u_j)u_j^2 + (p_3 - R_j)\omega_3u_j^3] \times (p_3 - R_j)u_j^3 = 0,$$

As a result of computer realization we get the following results  $\omega_0 = 1.0, \omega_1 = 2.2, \omega_2 = 3.2, \omega_3 = 0.9$ ; As you can see, the results are slightly different from the previous ones, so the curve does not exactly pass through the given points (see Fig. 3) The results obtained can also be applied to NURBS curves, just instead of Bernstein's functions  $B_i^N(u)$  it is necessary to take normalized basic functions  $N_{ik}(u)$ .

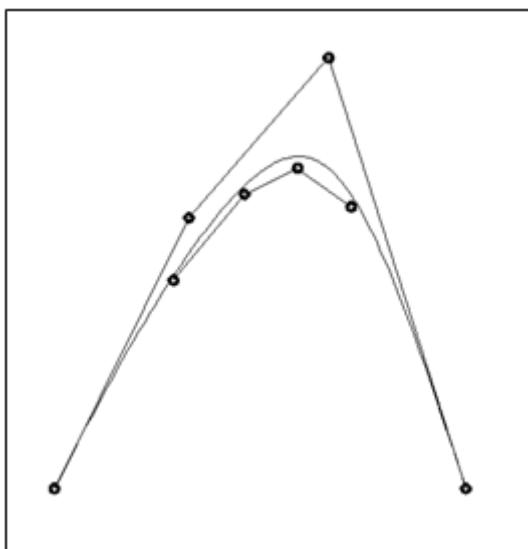


Fig. 2. Approximation

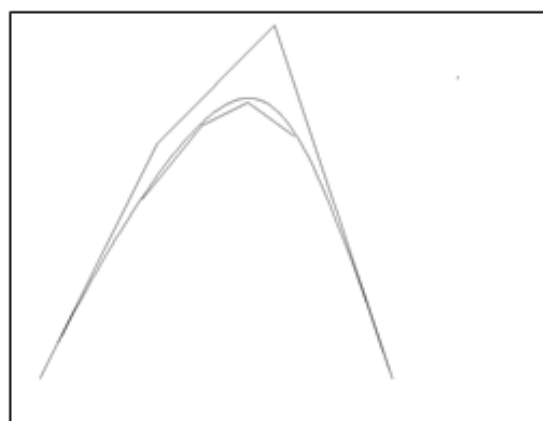


Fig. 3. Approximation using weights of control points

**Results.** Two methods of interpolation and approximation of a point series by rational Bezier curves and NURBS-curves were developed.

**Conclusions.** The test cases carried out using computer programs and visualization of results confirm the validity of the proposed methods.

### Referenses

1. Голованов. Н.Н. Геометрическое моделирование. М.: Физматлит, 2002. 472 с.
2. Юдин О.А. Интерполяция NURBS-кривыми в многомерном пространстве. *Наукові праці ВНТУ*, 2008. № 4. С.1-4.
3. Юдин О.А. Расширение интерполяции по Лагранжу с использованием кривых Безье : *Нові технології*, 2005. №3(9). С.117–120.
4. David F. Rogers, Rae A. Earnshaw (editors), "State of the Art in Computer Graphics – Visualization and Modeling", 1991, New York, Springer-Verlag, P. 225 – 269

5. Кветний Р.Н. Методи комп'ютерних обчислень. Вінниця: ВДТУ, 2001. 148 с.
6. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений. М: Бинوم. Лаборатория знаний, 2007. 423 с.
7. Погорелов А. В. Геометрия. М. : Наука, Физматгиз, 1983. 288 с.
8. Фокс А. Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве : пер. с англ. М. : Мир, 1982. 304 с.
9. Бадаєв Ю. І., Блиндарук А. О. Керування кривою NURBS-кривої 3-го порядку за допомогою ваги контрольних вектор-точок. *Водний транспорт : зб. наук. праць Київської державної академії водного транспорту*. 2014. № 3 (21). С. 103-105. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodt\\_2014\\_3\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodt_2014_3_21).
10. Бадаєв Ю. І., Блиндарук А. О. Можливості локальної модифікації гладкої NURBS-кривої. *Современные информационные и электронные технологии: XV Международная научно-практическая конференция: науч. труды*. Одеса, 2014. Т. 1. С. 26 - 27.
11. Бадаєв Ю. І., Блиндарук А. О. Комп'ютерна реалізація проектування криволінійних обводів методом NURBS-технологій вищих порядків. *Сучасні проблеми моделювання : зб. наук. праць / МДПУ*. Мелітополь, 2014. С. 3-6.

## **ІНТЕРПОЛЯЦІЯ І АПРОКСИМАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНИМИ КРИВИМИ БЕЗЬЄ І NURBS-КРИВИМИ.**

Бадаєв Ю.І., Ганношина І. М., Лагодіна Л.П.

*Раціональні криві Безьє і NURBS-криві широко застосовуються в моделюванні криволінійних об'єктів завдяки великій гнучкості і працездатності метода. Тому актуальним є розробка методу інтерполяції і апроксимації цими кривими дискретного ряду точок як на площині так і в тривимірному просторі.*

*Робота присвячена розробці нового підходу до інтерполяції і апроксимації кривої, поданої множиною дискретних точок. Аналітичний опис шуканої кривої реалізується із застосуванням раціональної кривої Безьє і NURBS-кривої. Для розв'язання цієї задачі пропонується два підходи.*

*Перший підхід заключається в тому, що заздалегідь задаються ваги контрольних точок і далі розраховуються координати контрольних точок інтерполюючої або апроксимуючої раціональної кривої Безьє а також NURBS-кривої. Другий підхід*

закладається в тому, що заздалегідь задаються координати контрольних точок і далі розраховуються ваги контрольних точок кривої Безьє а також NURBS-кривої.

На початку процесу дискретному ряду точок задаються не тільки координати, але й також параметри, тобто кожна точка має наступне визначення:  $T(x, y, u)$  на площині або  $T(x, y, z, u)$  в тривимірному просторі, де  $u$  – параметр. Для розв'язання задачі інтерполяції створюється система лінійних рівнянь, в якому кожне рівняння відображає рівність між аналітичною формулою кривої і заданою точкою. При цьому кількість інтерполюємих точок не може бути більше порядку інтерполюючої кривої. Таким чином маємо систему із  $N$  лінійних рівнянь, де  $N$ - кількість точок, який дорівнює кількості контрольних точок кривої. Невідомими є  $N$  контрольних точок шуканої кривої. Причому в першому підході шуканими невідомими є координати контрольних точок, а в другому ваги контрольних точок. Для розв'язання задачі апроксимації застосовується Метод Найменших Квадратів. На початку створюється функціонал суми квадратів членів розбіжностей між аналітичною формулою кривої і координатою заданої точки. Розв'язується оптимізаційна задача мінімізації цього функціонала. Для цього створюється система лінійних рівнянь, кожне рівняння якої є похідною функціонала по заданому параметру і прирівненому до нуля. В першому підході шуканими параметрами є координати контрольних точок, а в другому ваги контрольних точок.

Розроблені по два метода інтерполяції і апроксимації точкового ряду раціональними кривими Безьє і NURBS- кривими.

Проведені тестові приклади за допомогою комп'ютерних програм і візуалізації результатів підтверджують достовірність запропонованих методів.

Ключові слова: інтерполяція, апроксимація, раціональні криві Безьє, NURBS-криві.

## **ІНТЕРПОЛЯЦІЯ І АПРОКСИМАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНИМИ КРИВИМИ БЕЗЬЄ І NURBS-КРИВИМИ.**

*Бадаєв Ю.І., Ганношина І. Н., Лагодина Л.П.*

*Работа посвящена разработке нового подхода к интерполяции и аппроксимации кривой, представленной множеством дискретных точек. Аналитическое описание искомой кривой реализуется с применением рациональной кривой Безьє и NURBS-кривой.*

*Для решения этой задачи предлагается два подхода. Первый подход заключается в том, что заранее задаются веса точек и*

далее рассчитываются координаты точек интерполирующей или аппроксимирующей рациональной кривой Безье а также NURBS-кривой. Вторым подходом заключается в том, что заранее задаются координаты точек и далее рассчитываются веса контрольных точек кривой Безье а также NURBS-кривой.

В начале процесса дискретному ряду точек задаются не только координаты, но также параметры, то есть каждая точка имеет следующее определение:  $T(x, y, u)$  на плоскости или  $T(x, y, z, u)$  в трехмерном пространстве, где  $u$  - параметр. Для решения задачи интерполяции создается система линейных уравнений, в которой каждое уравнение отражает равенство между аналитической формулой кривой и заданной точкой. При этом количество интерполируемых точек не может быть больше порядка интерполирующей кривой. Таким образом имеем систему  $N$  линейных уравнений, где  $N$  - количество точек, равный количеству точек кривой. Неизвестными являются  $N$  контрольных точек искомого кривой. Причем в первом подходе искомыми неизвестными являются координаты контрольных точек, а во втором веса точек.

Для решения задачи аппроксимации применяется Метод Наименьших Квадратов. В начале создается функционал суммы квадратов членов разностей между аналитической формулой кривой и координатой заданной точки. Решается оптимизационная задача минимизации этого функционала. Для этого создается система линейных уравнений, каждое уравнение которой является производной функционала по заданному параметру и приравненных к нулю. В первом подходе искомыми параметрами являются координаты точек, а во втором веса точек.

Разработаны по два метода интерполяции и аппроксимации точечного ряда рациональными кривыми Безье и NURBS-кривыми.

Проведенные тестовые примеры с помощью компьютерных программ и визуализации результатов подтверждают достоверность предложенных методов.

Ключевые слова: интерполяция, аппроксимация, рациональные кривые Безье, NURBS-кривые.

УДК712.012

## ГЕОМЕТРИЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДІАМАНТІВ

Баранецька О.Р., к.т.н.,

Шевчук А.О.,

Свідрак І.Г., к.т.н.

Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

*В роботі розглядається спосіб по оволодінню методами перетворення алмазу в коштовний діамант, а також залежність форми каменю від параметрів діаманту, адже при виготовленні діамантів обов'язковим є виробниче вивчення та огранка.*

*Кристалічна структура алмазу складається з атомів, зв'язаних між собою спільними електронами. В структурі алмазу кожен атом вуглецю знаходиться в оточенні чотирьох інших атомів, що знаходяться в вершинах тетраедра. Алмаз відноситься до кристалів з кубічною структурою. Елементарна комірка структури алмазу представляє собою куб і складається з двох взаємно прониклих ідентичних гранецентрованих кубічних підрешіток зміщених одна відносно одної вздовж просторової діагоналі куба на відстань однієї четвертої її довжини.*

*Огранені алмази – діаманти – характеризуються формою і типом огранки. Форма діаманту визначається контуром при огляді діаманту зверху (з площадки), а тип огранки – характером розміщення граней і їх формою (трикутник, ромб, трапеція і т.д.). В процесі вивчення технології виготовлення діамантів потрібно розрізняти два поняття: форма ограненого кристалу і характер огранки його поверхні (тип огранки). Форма діаманту має забезпечувати його зовнішню красу, високий показник гри кольорів та блиску.*

*При огранці алмазів в діаманти найбільш розповсюдженими є два типи огранок: діамантова і східчаста. Діамантовий тип огранки використовують в основному при виготовленні круглих та фантазійних діамантів. Східчастий тип огранки використовують при виготовленні діамантів прямокутної форми.*

*Любі відхилення в геометрії діамантів від ідеальної призводять до зниження їх вартості, яка визначається за сумою затрат, пов'язаних з втратою маси діаманту та затратами часу на переогранку діаманту за параметрами ідеальної огранки.*

*Ключові слова: алмаз, огранка, шліфування, фацети (грані), розмітка.*

**Постановка проблеми.** Ознайомлення з геометрією обробки алмазу алмазом для ручного гравірування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз порівняння затрат, якості і т.п. при обробці алмазів ручного гравірування і за допомогою сучасних технологій.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є визначення геометричних параметрів для можливості отримання із кристалу найбільш якісного діаманту.

**Основна частина.** Красота прозорих кристалів алмазу, їх блиск і винятково висока твердість з давніх давен викликали зацікавлення в людей. Багато дослідників, спираючись на давні легенди, вважають, що алмаз був знайдений біля Індії приблизно в V – III тисячолітті до нашої ери. Перший детальний опис алмазу зробив на початку нашої ери римський природодослідник Гай Пліній Старший в своїй книзі «Естественная история ископаемых тел». Він вказував на надзвичайно високу твердість алмазу і те, що він досить рідко зустрічається. Спосіб обробки алмазу алмазом був відомий з глибокої давнини. Досконалості в мистецтві шліфування і полірування алмазів в давні часи досягли індійські майстри. Алмази давньої індійської огранки цінувалися дуже високо. Огранені алмази залишалися в володіннях місцевих правителів і з Індії вивозилися надзвичайно рідко. В європейські країни переважно поступали не огранені алмази. Тривалі і наполегливі пошуки європейців по оволодінню методами перетворення алмазу в коштовний діамант (брильянт від французького «блискучий») дали позитивні результати. Процес виготовлення діамантів складається з наступних операцій: виробничого вивчення і розмітки алмазної сировини, розколювання, розпилювання, обдирки, огранки.

В залежності від якості алмазної сировини не обов'язково виконувати всі п'ять операцій. Наприклад при виготовленні діамантів із обломків інколи не має потреби в розпилюванні і розколюванні, а при виготовленні діамантів форми “багет” і “смарагд” не має потреби в обдирці. Але при виготовленні діамантів любих форм і типів огранки обов'язково потрібно виконати дві операції: виробниче вивчення і розмітка сировини, огранка.

Після того як спеціаліст ретельно дослідить алмаз, він приймає рішення який метод використати для обробки. Потім на камінь за допомогою лазера наноситься лінія розрізу, камінь розпилюють і починають ограновувати. Кожен камінь унікальний, тому для кожного необхідно підібрати унікальну методику. Результат залежить, передусім, від форми та якості вихідного матеріалу.

Необроблений алмаз розділяється на дві або більше частин розколюванням вздовж позначених ліній – тобто лише у визначеному

напрямку. Ця техніка століттями використовується в Індії і вимагає вона великої майстерності. Розколювання проводиться паралельно до напрямку кристалу. Камінь закріплюється на дерев'яний утримувач, навпроти нього, в той самий спосіб, закріплюється гострий діамант, котрим і проводиться розколювання. Після удару молотком по сталевому інструменту алмаз розколюється.

Розрізування проводиться в напрямку, протилежному до напрямку кристалу. Камінь закріплюється на мідній головці, за допомогою спеціальної суміші гіпсу та вапна. Після того як суміш затвердне, головка закріплюється до ріжучого пристрою. Камінь розрізається за допомогою надзвичайно тонкого диску, змащеного олією та діамантовим порошком. Диски досягають частоти (10000 – 15000) обертів за хвилину. Найкраще здійснювати розрізання зі швидкістю один міліметр за годину. Розрізання великого діаманту може тривати навіть декілька тижнів.

За допомогою заокруглення розколотого чи розрізаного каменю діамант набуває своєї майбутньої форми. Традиційним методом заокруглення є закріплення каменю знову до головки токарського пристрою. За допомогою іншого, розміщеного навпроти діаманту, проводиться заокруглення і діамант здобуває кулеподібну форму.

При шліфуванні поверхні діаманту утворюються фацети (грані). Діамант закріплюється в спеціальних кліщах шліфувальної машини - квадранті, під прямим кутом до шліфувального диску. Шліфувальний диск виготовлений з металу і змащений олією, змішаною з діамантовим порошком.

Метою виробничого вивчення кристалів алмазу є вивчення морфологічних особливостей кожного кристалу, співставлення вартості сировини, вихід придатного, ціну діамантів, які можна з неї отримати, і на основі аналізу визначити технологічний напрям його обробки.

В зв'язку з досить високою вартістю алмазної сировини в порівнянні з затратами на його обробку дуже важливо правильно визначити залежність форми від параметрів діаманту, який буде виготовлений з даного кристалу алмазу.

Основним геометричним параметром, від якого в значній мірі залежить маса діаманту, є його діаметр. Залежність маси діаманту від його діаметрів виражається формулою:

$$P = kd^3,$$

де  $P$  – маса діаманту;  $d$  – діаметр діаманту;  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Найбільш важливим завданням при розмітці є вибір такої площини розпилювання алмазу, яка дасть можливість отримати із кристалу максимальний вихід.

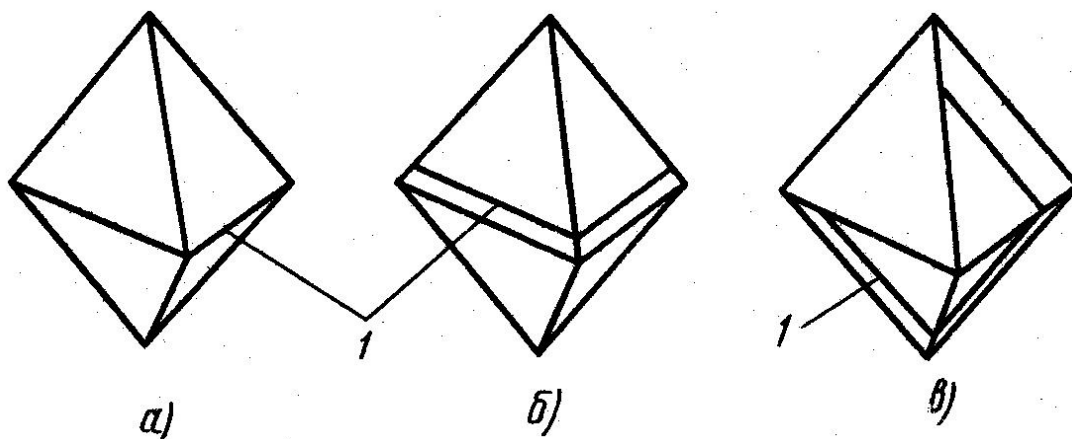


Рис. 1. Нанесення лінії розмітки 1:

*a* – по двох ребрах, *б* – по двох гранях, *в* – по трьох гранях

Кристали алмазу правильної форми різного розміру потрібно розмічати наступним чином:

- алмази масою до 0,15 кар включно розмічають для симетричного розпилювання під діаманти простої огранки;
- алмази масою від 0,16 до 2,99 кар розмічають для несиметричного розпилювання (див. рис. 1). Винятками є кристали масою (1,35 – 1,45) кар, котрі потрібно розмічати під симетричне розпилювання. Площина ділення кристалу при несиметричному розпилюванні повинна бути розміщена на відстані  $0,19a$  при замірі по грані по грані і  $0,21a$  при замірі по ребру ( $a$  – величина ребра перетину найбільшої площадки);
- алмази масою від 3,00 кар та більше розмічають під багаторазове розпилювання.

Спочатку відпилюють вершинки октаедра, а потім розпилюють по основній площині розмітки. Висота вершинки, яку відпилюють, приблизно складає  $0,2 C$  ( $C$  – діагональ найбільшого перетину кристалу, рис. 2).

Необхідно дуже точно визначити і витримати висоту вершинок, які будуть відпилюватися, оскільки при найменшому відхиленні диску від нанесеної лінії можна занизити висоту основних частин, в цьому випадку замість позитивного ефекту можна зазнати досить суттєвих збитків.



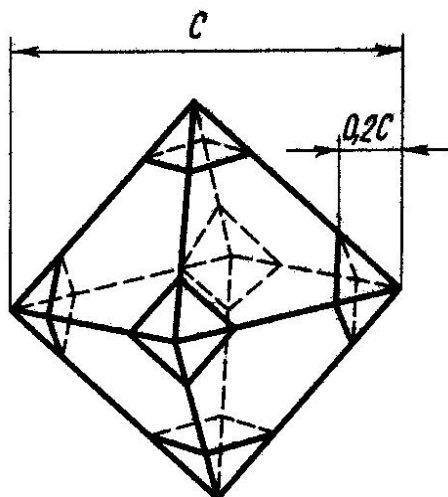


Рис. 2. Схема розмітки кристалу для багаторазового розпилу під діамант круглої форми

Не дивлячись на те, що ручна обробка алмазів використовується до теперішнього часу, досить важливу роль відіграють сучасні модерні методи. Наприклад, означення каменю перед розколюванням проводиться лазером, так само як і сам процес розрізання та надання форми. При використанні лазера не потрібно враховувати напрямки кристалів, однак при такій обробці камінь втрачає трохи більше своєї ваги, ніж у випадку використання старого механічного способу.

**Висновки.** Не дивлячись на безперечні переваги сучасних технологій, завжди наприкінці процесу своє місце займає незамінна людська майстерність, яка сировину перетворює у витвір мистецтва. Завжди в процесі створення діаманту беруть участь багато людей. Розмітку проводить, як правило, одна людина, розрізає камінь – друга, заокруглення форми – ще одна, далі як мінімум дві займаються ограновуванням. Крихітні діаманти (*melées*) ограновуються практично серійно. Кожен тип фацети ограновує інший спеціаліст. Такі *melées* ограновуються виключно в Індії та Китаї, крупне каміння — в Бельгії, Ізраїлі та США.

### **Література**

1. Спифанов В. И., Песина А. Я., Зыков Л. В. Технология обработки алмазов и бриллиантов. Москва. : Высшая школа, 1987. С. 17 – 24, 47–51, 195 – 203.
2. Годовиков А. А. Минералогия. М. : Недра, 1983. С. 16 – 50.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ БРИЛЛИАНТОВ

Баранецкая О.Р., Шевчук А.А., Свидрак И.Г.

*В работе рассматривается способ по овладению методами превращение алмаза в драгоценный бриллиант, а также зависимость формы камня от параметров бриллианта, ведь при изготовлении бриллиантов обязательно производственное изучение и огранка.*

*Кристаллическая структура алмаза состоит из атомов, связанных между собой общими электронами. В структуре алмаза каждый атом углерода находится в окружении четырех других атомов, находящихся в вершинах тетраэдра. Алмаз относится к кристаллам с кубической структурой. Элементарная ячейка структуры алмаза представляет собой куб и состоит из двух взаимно проникающих идентичных гранецентрированной кубических подрешеток смещенных друг относительно друга вдоль пространственной диагонали куба на расстояние одной четвертой ее длины.*

*Ограненные алмазы - бриллианты - характеризуются формой и типом огранки. Форма бриллианта определяется контуром при осмотре алмаза сверху (с площадки), а тип огранки - по характеру размещения граней и их форме (треугольник, ромб, трапеция и т.д.). В процессе изучения технологии изготовления бриллиантов нужно различать два понятия: форма ограненного кристалла и характер огранки его поверхности (тип огранки). Форма бриллианта должна обеспечивать его внешнюю красоту, высокий показатель игры цветов и блеска.*

*При огранке алмазов в бриллианты наиболее распространенными являются два типа огранок: бриллиантовая и ступенчатая. Бриллиантовый тип огранки используют в основном при изготовлении круглых и фантазийных бриллиантов. Ступенчатый тип огранки используют при изготовлении бриллиантов прямоугольной формы.*

*Дорогие отклонения в геометрии бриллиантов от идеальной приводят к снижению их стоимости, определяемой по сумме затрат, связанных с потерей массы бриллианта и затратами времени на переогранку бриллианта по параметрам идеальной огранки.*

*Ключевые слова: алмаз, огранка, шлифовка, facets (грани), разметка.*

## GEOMETRIC ASPECTS OF DIAMOND PROCESSING TECHNOLOGY

Baranetskaya O., Shevchuk A, Svidrak I.

*The paper examines a method for mastering the methods of converting diamonds into valuable diamonds, as well as the dependence of the shape of a stone on diamond parameters, since in the manufacture of diamonds production study and faceting are obligatory.*

*The crystalline structure of the diamond consists of atoms interconnected by common electrons. In the structure of the diamond, each carbon atom is surrounded by four other atoms that are at the vertices of the tetrahedron. Diamond refers to crystals with a cubic structure. An elementary cell structure of a diamond is a cube and consists of two mutually permeable identical face-centered cubic sublattices displaced one relative to one along the spatial diagonal of the cube at a distance of one fourth of its length.*

*Faceting diamonds - brilliants - are characterized by the shape and type of faceting. The shape of a diamond is determined by the contour when viewing a diamond from above (from the platform), and the type of cut - the nature of the placement of faces and their shape (triangle, diamond, trapezium, etc.). In the process of studying the technology of making diamonds it is necessary to distinguish between two concepts: the shape of the cut crystal and the nature of the facet of its surface (the type of cut). The shape of a diamond should ensure its exterior beauty, a high score of color and shine.*

*When faceting diamonds into brilliants, the most common are two types of faceting: diamond and stepped. Diamond type faceting are used mainly in the manufacture of round and fancy diamonds. The stepped type of cut is used in the manufacture of diamonds of rectangular shape.*

*Any divergence in the geometry of diamonds from the ideal leads to a reduction in their value, which is determined by the amount of costs associated with the loss of mass of the diamond and the time spent on faceting of diamond over the parameters of the perfect faceting.*

*Key words: adamant, faceting, grinding, facets (faces), marking.*

УДК 536.24:533.6.011

## **CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ З ПРЯМОТОЧНОЮ СХЕМОЮ РУХУ ТЕПЛОНОСІЇВ**

Баранюк О.В., к.т.н.,

Рачинський А.Ю., к.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*Відомо, що на сьогоднішній день система охолодження високопродуктивних повітряних компресорів, яка дозволяє охолодити як нагріті частини компресора, так і одержуваний стиснене повітря, що викидає тепло в навколишнє середовище. Це тепло можна використовувати з користю, наприклад, для нагрівання води для побутових потреб. Існуючі системи охолодження можна умовно розділити на два види: системи повітряного охолодження і водяного. У разі використання водяної системи охолодження стає можливим використання пластинчастого теплообмінника. Відомо, що пластинчасті теплообмінники володіють високою компактністю, малим гідравлічним опором при одночасно високій інтенсивності теплообміну.*

*На сьогоднішній день розроблено безліч достовірних аналітичних методик розрахунку теплообміну та гідродинаміки в каналах пластинчастих теплообмінних апаратів і теплового стану таких теплообмінників, проте робіт виконаних засобами CFD-моделювання недостатньо. Авторами зроблена спроба, визначити теплове навантаження і гідравлічний опір та характеристики міцності конструкції пластинчастого теплообмінного апарату розбірного типу. Дослідження виконано за допомогою методів CFD-моделювання в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent. Проведена верифікація результатів моделювання з розрахунковими даними, отриманими за відомим інженерним методикам розрахунку теплогідравлічних характеристик пластинчастих теплообмінних апаратів. Результати дослідження можуть бути використані для оцінки інтенсифікації теплообміну і аналізу течії з метою підвищення ефективності пластинчастого теплообмінника.*

*Ключові слова: пластинчастий теплообмінник, чисельне дослідження, теплообмін, протягом, моделювання.*

**Постановка проблеми.** Пластинчасті теплообмінники використовуються на теплогенеруючих та теплоиспользующих підприємствах у всьому світі. Цьому сприяє їх висока компактність, малий гідравлічний опір при одночасно високій інтенсивності теплообміну, простота виготовлення, зручність монтажу і доступність очищення поверхонь від забруднень.

У статті пропонується на основі фізично обґрунтованих методів CFD-моделювання в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent розраховувати теплові, гідравлічні та міцності пластинчастих теплообмінників розбірного типу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні розроблено безліч аналітичних та інженерних методів розрахунку теплообміну та гідродинаміки для різних типів пластинчастих теплообмінників [1-5]. Однак, незважаючи на безперервне зростання публікацій з даної тематики, кількість досліджень шляхом чисельного моделювання за допомогою відомих програмних продуктів для вирішення цього складного завдання вельми обмежена, а їх результати часто носять суперечливий і випадковий характер, а отримані моделі недостатньо детальні і точні [8]. Тому завдання підвищення ефективності при виробництві, передачі і використанні теплової енергії є актуальною і безпосередньо залежить від ефективності застосовуваних теплообмінних апаратів. В свою чергу дана задача вирішується на основі перспективних способів інтенсифікації теплообміну в цих теплообмінниках з урахуванням застосування надійних і достовірних методів їх розрахунку.

До переваг пластинчастого теплообмінника [1-5] можна віднести компактність ( $120...660 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ) і малу вагу (в 6 раз менше ваги еквівалентного кожухотрубчасті теплообмінника), високу турбулізацію потоків теплоносіїв, які забезпечують високу ефективність теплообміну і ефект самоочищення поверхонь, можливість легкого нарощування потужності теплообмінника шляхом додавання нових пластин, здійснення контролю та технічного обслуговування. Пластинчастим теплообмінникам властиві високі ККД - до 93%.

Однак, пластинчасті теплообмінники через конструктивних особливостей мають значно обмежені діапазони робочих параметрів. Так, максимальний тиск теплоносія не може перевищувати 3 МПа, зазвичай номінальний тиск становить 1 МПа. Матеріал прокладок обмежує і максимальну робочу температуру - до 260 °С. Тому, щоб уникнути використання прокладок з дорогих матеріалів, номінальна температура становить 150 °С.

Розробка і проектування пластинчастого теплообмінника включає ряд розрахунків: теплової, гідродинамічний, прочностной, техніко-економічний. Основним видом розрахунку є теплової, який дозволяє визначити, при задається теплової потужності, необхідну площу поверхні теплообміну [1-5]. Однак, кількісні співвідношення для теплогідравлічного розрахунку міжпластинчастих каналів в широкому діапазоні зміни їх геометричних характеристик (висота, форма поперечного перерізу, тип рельєфу пластини) і гідродинамічних умов течії в каналі визначені поки далеко не в повному обсязі і не завжди фізично обгрунтовані [1-5]. Пояснюється це відсутністю строгих аналітичних моделей і методів розрахунку, а також недостатньою розробкою чисельних методів розрахунку, що розширюють діапазони зміни характеристик. Існує також дефіцит надійних експериментальних досліджень, в тому числі щодо детального з'ясування істоти механізму інтенсифікації теплообміну, а також можливих маловивчених особливих гідродинамічних режимів течії в геометрично складних каналах пластинчастого теплообмінника.

**Формулювання цілей статті.** Метою цієї роботи є створення методу розрахунку теплообміну та гідродинаміки пластинчастих теплообмінників з каналами різної геометричної конфігурації, на основі комп'ютерного моделювання з використанням пакета ANSYS (модуль FLUENT).

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- створити детальну розрахункову модель, підготовлену для чисельного рішення з мінімізованою похибкою в завданні вихідних даних;
- налаштувати вирішувач і рішення, що забезпечують збіжність і стійкість ітераційного процесу, а також запуск рішення задачі з результатом чисельного рішення в широкому діапазоні його застосовності;
- обробити і представити результати моделювання у вигляді візуалізації розподілу шуканих розподілів температур на поверхнях теплообмінника та характеристик міцності.

**Основна частина.** Процедура моделювання здійснюється шляхом моделювання геометрії та розрахункової сітки, а після задання граничних умов виходить CFD-модель, вирішення якої можливе в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent. Розроблена CFD-модель являє собою тривимірну модель пластинчастого теплообмінника (рис. 1,а) і дозволяє розраховувати тепло- і гідравлічні характеристики потоків, що рухаються в межпластинчатом просторі. Процедура

моделювання передбачає дискретизацію основних конструктивних елементів і рідкої фази пластинчастого теплообмінного апарата за допомогою нерівномірних розрахункових сіток, що дозволяють уявити фізико-математичний опис течії всередині простору між пластинами, яке ґрунтується на чисельному рішенні усереднених по числу Рейнольдса рівнянь Нав'є-Стокса, замкнених за допомогою RNG моделі турбулентності з нерівновагими пристінними функціями. Згадані рівняння не наводяться у зв'язку з тим, що вони приведені в User's Guide of Fluent.

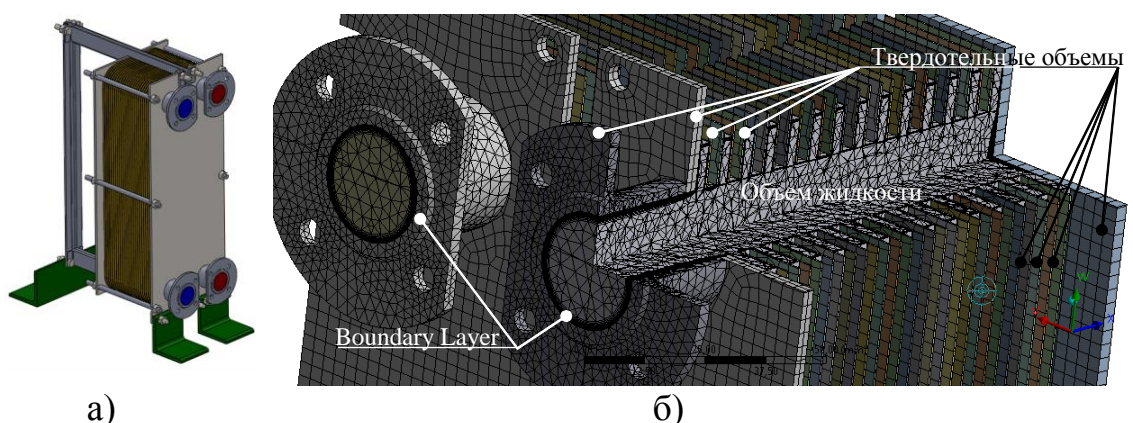


Рис. 1. CFD-модель пластинчастого теплообмінника (а) і фрагмент розрахункової кінцево-елементної сітки для розрахунку міцності (б)

Як об'єкт моделювання використовувалася, розроблена авторами реально діюча конструкція пластинчастого теплообмінника (підприємство «СІГМА-ІНЖИНІРИНГ», м.Київ). Конструкція складалася з окремих пластин, розділених гумовими прокладками, двох плит (однією нерухомою, а інший притискної), вхідних і вихідних патрубків з різними видами з'єднань, комплекту жорстко і герметично з'єднаних робочих гладких пластин, спеціальних напрямних, різьбових метизів і штуцерів для приєднання технологічних трубопроводів (рис. 1,б).

В якості гріючого середовища вибрано масло гідравлічне марки А / МГ-32-В / Агринол ISO VG 32 [6], а в якості нагріваемого - дистильована вода. Теплофізичні властивості води і масла записувалися у вигляді поліноміальних залежностей від температури. Температура масла і води на вході, відповідно 80 °С і 15 °С. Витрата масла, обраний відповідно до рекомендацій [2] становив 2,94 кг/с, при цьому витрата води становив 0,85 кг/с.

Для аналізу міцності теплообмінника необхідно розподілу інтенсивності напружень  $\sigma_i$  і деформацій  $\epsilon_i$ , які зображені на рис. 2. На

зазначених рисунках видно, що найбільші напруги і деформації будуть виникати в корпусі теплообмінника зі сталі 3.

Згідно ГОСТ Р 52857.1-2007 при робочій температурі теплообмінника 150 °С Допустима напруга для сталі 3 становитиме  $[\sigma] = 145$  МПа.

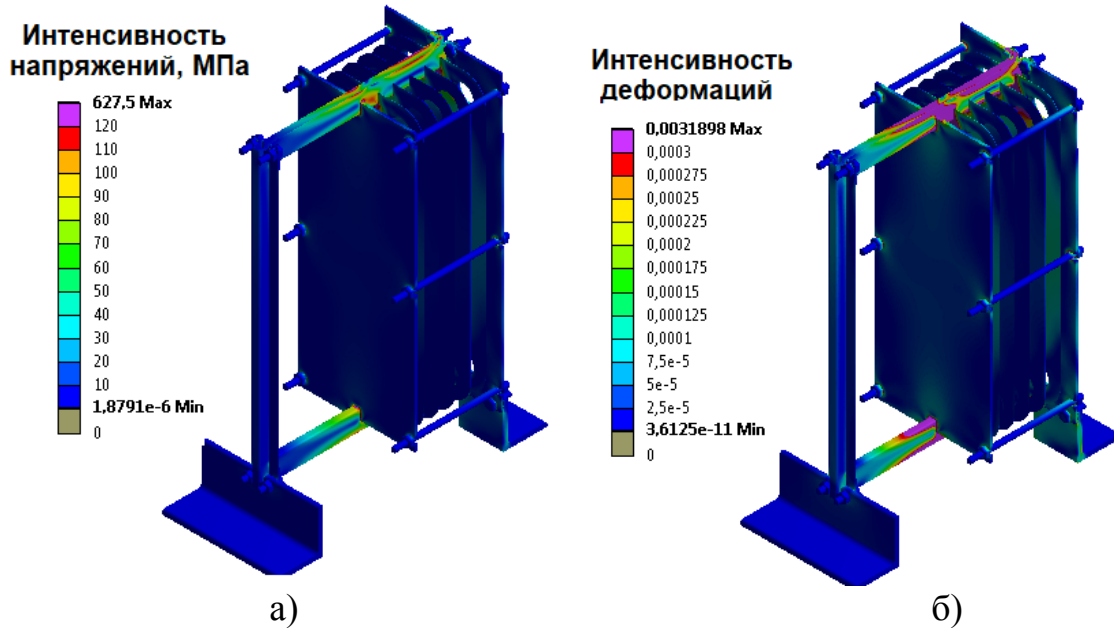


Рис. 2. Розподіл інтенсивності напружень (а) і деформацій (б) в теплообміннику

Для аналізу міцності конструкції використовуємо четверту теорію міцності – енергетичну. Енергетична теорія міцності (теорія найбільшої питомої потенційної енергії формозміни) виходить з передумови про те, що кількість потенційної енергії формозміни, накопиченої до моменту настання небезпечного стану (повзучості матеріалу), незмінна як при складному напруженому стані, так і при простому розтягуванні. Наведені напруги при об'ємному напруженому стані:

$$\sigma_{np} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_u, \quad (1)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруги.

Виходячи з рис. а можна встановити, що  $\sigma_{np} = \sigma_i = 120$  МПа  $< [\sigma] = 145$  МПа. Умова міцності по четвертій теорії виконується.

**Висновки.** В якості основних висновків по проведеній роботі можна констатувати, що розроблена CFD-модель:

- оцінювати вплив геометричних і режимних характеристик на ефективну роботу теплообмінника і визначати теплогідравлічні і міцності теплообмінника;



- забезпечувати швидке виконання інженерних розрахунків і дозволяють своєчасно вносити корективи в конструкторську документацію.

Аналізуючи результати CFD-моделювання також свідчить, що при заданих теплових і режимних характеристиках (температурі і витраті теплоносія) пластинчастий теплообмінник не деформується.

### *Литература*

1. Ведерникова М.И., Терентьев В.Б., Таланкин В.С., Юрьев Ю.Л. Стандартное оборудование для переработки растительного сырья. Ч.IV. Теплообменные аппараты: справочные материалы: учебное издание. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 100 с.
2. Ведерникова М.И., Таланкин В.С. Расчет пластинчатых теплообменников. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 29 с.
3. Хавин Г. Л. Расчет пластинчатого теплообменника с каналами разных типов в одном аппарате. *Проблемы машиностроения*, 2011. Т. 14, № 4. С. 40-45.
4. Кошельник А. В., Морозов А. Е. Методика расчета пластинчатых теплообменников для утилизации тепла отходящих газов высокотемпературных теплотехнических систем. *Проблемы машиностроения*, 2011. Т. 14, № 2. С. 62-66.
5. Черемискина Н.А., Лавров В.В., Спиринов Н.А. Разработка компьютерной модели в пакете ANSYS для исследования работы пластинчатого теплообменника и проведения лабораторных работ. Труды X Всероссийской научно-практической конференции (17–19 декабря 2015 г.) Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк, 2015. С. 120-124.
6. Спиринцев // [Електронний ресурс режим доступу: <http://arlanda.com.ua/ua/product/maslo-gidravlichesкое-marki-a-marki-r/>].

## **CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ПРИ ПРЯМОТОЧНОЙ СХЕМЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ**

Баранюк О.В., Рачинський А.Ю.

*Известно, что на сегодняшний день система охлаждения высокопроизводительных воздушных компрессоров, которая позволяет охладить как нагретые части компрессора, так и получаемый сжатый*

воздух, что выбрасывает тепло в окружающую среду. Это тепло, можно использовать с пользой, например для нагрева воды для бытовых нужд.

Существующие системы охлаждения можно условно разделить на два вида: системы воздушного охлаждения и водяного. В случае использования водяной системы охлаждения становится возможным использование пластинчатого теплообменника. Известно, что пластинчатые теплообменники обладают высокой компактностью, малым гидравлическим сопротивлением при одновременно высокой интенсивности теплообмена.

На сегодняшний день разработано множество достоверных аналитических методик расчета теплообмена и гидродинамики в каналах пластинчатых теплообменных аппаратов и теплового состояния таких теплообменников, однако работ выполненных средствами CFD-моделирования недостаточно.

Авторами предпринята попытка, определить тепловую нагрузку и гидравлическое сопротивление пластинчатого теплообменного аппарата разборного типа с помощью разработанных методов CFD-моделирования в среде программного комплекса ANSYS-Fluent. Проведена верификация результатов моделирования с расчетными данными, полученными по известным инженерным методикам расчета теплогидравлических характеристик пластинчатых теплообменных аппаратов.

Результаты исследования могут быть использованы для оценки интенсификации теплообмена и анализа течения с целью повышения эффективности пластинчатого теплообменника.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, численное исследование, теплообмен, течение, моделирование.

## **CFD-MODELING OF CHARACTERISTICS OF STRENGTH OF PLATE HEAT-EXCHANGE EQUIPMENT UNDER CONDITIONS OF DIRECT CIRCUIT MOTION OF HEAT CARRIERS**

Baraniuk A., Rachinskiy A.

*It is known that today the cooling system of high-performance air compressors, which allows to cool both the heated parts of the compressor*

*and the resulting compressed air, releases heat into the environment. This heat can be used with advantage, for example for heating domestic water.*

*Existing cooling systems can be divided into two types: air cooling and water cooling systems. In the case of using a water cooling system, it becomes possible to use a plate heat exchanger. It is known that plate heat exchangers have a high compactness, low hydraulic resistance at the same time high intensity of heat exchange. Today, many reliable analytical methods have been developed for calculating heat transfer and hydrodynamics in the channels of plate heat exchangers and the thermal state of such heat exchangers, however, the work performed by means of CFD modeling is not enough.*

*The authors attempted to determine the heat load and hydraulic resistance of a plate-type heat exchanger of dismountable type using the developed CFD-modeling methods in the ANSYS-Fluent software environment. Verification of simulation results with calculated data obtained by well-known engineering methods for calculating the thermal-hydraulic characteristics of plate heat exchangers has been carried out.*

*The results of the study can be used to assess the intensification of heat transfer and flow analysis in order to increase the efficiency of the plate heat exchanger.*

*Keywords: plate heat exchanger, numerical study, heat exchange, flow, simulation.*

УДК 515.2

## ІТЕРАТИВНИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАЛІ ДО КРИВОЇ

Білицька Н.В., к.т.н.,

Гетьман О.Г., к.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*Для інтерполяції точкових каркасів обводів виробів складних форм найчастіше застосовуються криві другого порядку або криві Без'є третього порядку. Є відомі виконані дослідження з моделювання кривих, які задані дискретним набором точок, за допомогою апарата сплайн-апроксимації. Але ці методи призводять до високої дрібності обводу. Застосування апроксимаційних методик з деякою наперед заданою точністю знижує дрібність обводів. Конструювання складних кривих та поверхонь надає кращі результати при оцінці відхилень точок каркасу від геометричного об'єкту, що створюється, за нормаллю до кривої або поверхні. Але точне рішення цієї задачі потребує надзвичайно багато часу, оскільки призводить до розв'язування рівнянь високих ступенів декілька тисяч разів. В роботі пропонується ітеративний алгоритм побудови нормалі до плоскої кривої, що дозволяє не розв'язувати рівняння високих ступенів, а замінити цій процес розв'язуванням систем лінійних рівнянь та скоротити час конструювання складних обводів. Його практичне застосування продемонструвало достатньо швидку збіжність алгоритму на ділянках опуклості точкового каркасу. Наведена методика обчислення відхилень за нормаллю може бути застосована при конструюванні перерізів лопаток турбін, спряжених поверхонь сільськогосподарських знарядь та обводів летальних апаратів.*

*Ключові слова: конструювання складних кривих, дискретний набір точок, точковий каркас, обвід, поліном, ступінь полінома, моделювання кривих, інтерполяція, апарат сплайн-апроксимації, апроксимація, наближені методи, дрібність обводів, фіксована точка, нормаль, оцінка відхилень за нормаллю, найкоротша відстань, дотична, метод дотичних, метод Ньютона, перпендикуляр, центральні проєкції, ітерація, ітеративний процес, збіжність ітеративного процесу, збіжність алгоритму, система рівнянь.*

**Постановка проблеми.** При розв'язку задач конструювання складних кривих за точковим каркасом найкращі результати дають критерії оцінки відхилень за нормаллю до кривої. Але розв'язок цієї задачі класичними методами дуже громіздкий та потребує дуже багато часу. Тому виникає необхідність пошуку наближених методів побудови нормалей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для інтерполяції точкових каркасів обводів виробів складних форм найчастіше застосовуються криві другого порядку або криві Без'є третього порядку [1]. Відомі виконані дослідження з моделювання кривих, які задані дискретним набором точок, за допомогою апарата сплайн-апроксимації [2]–[4]. Але ці методи призводять до високої дрібності обводу. Застосування апроксимаційних методик з деякою наперед заданою точністю знижує дрібність обводів. Щоб зменшити обчислювальні труднощі в цьому випадку потрібен ефективний алгоритм оцінки відхилень точок каркаса від кривої, що створюється.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка наближеного ітеративного алгоритму визначення нормалі до кривої, що має стійку збіжність, не потребує багатьох ітерацій та значного часу розрахунків.

**Основна частина.** У процесі розв'язку практичних задач конструювання складних поверхонь часто виникає необхідність визначення найкоротшої відстані фіксованої точки до заданої кривої [5]. Пошук відстані від точки  $M(x_M, y_M)$  до кривої  $y = f(x)$  приводить до рівняння:

$$f'(x)(f(x) - y_M) + x - x_M = 0 \quad (1)$$

відносно абсциси точки кривої, що розташована найближче до точки  $M$ . Розв'язок цього рівняння дозволяє визначити координату найближчої точки та встановити величину мінімальної відстані від точки  $M$  до кривої.

Алгоритм дуже простий, але навіть у тих випадках, коли задана крива описується, наприклад, поліномом шостого ступеня, його застосування призводить до рівняння одинадцятого ступеня та потребує нереально багато часу, коли задачу пошуку мінімальної відстані доводиться розв'язувати декілька тисяч разів. Тому при розв'язку практичних задач виникає необхідність у наближених методах пошуку найкоротшої відстані, які не потребують безпосереднього розв'язку рівняння (1). Розглянемо один з таких методів.

В основу алгоритму положено дві обставини:

а) як один з методів розв'язку рівняння (1) може бути застосовано метод дотичних (або метод Ньютона);

б) як правило, найкоротша відстань від точки до кривої визначається по нормалі, яка проведена від заданої точки до кривої.

Ці два факти дозволяють сформулювати наближений алгоритм визначення найкоротшої відстані, основна ідея якого описана нижче.

З точки  $M$  у довільному напрямку проводиться пряма, яка перетинає криву  $y = f(x)$  у деякій точці  $O_1$ . У цій точці до кривої проводиться дотична  $l_1$ , на яку з точки  $M$  будується перпендикуляр  $h_1$ , що перетинає криву  $y = f(x)$  в точці  $O_2$ . Над точкою  $O_2$  виконуються ті ж операції, що й над точкою  $O_1$  й так далі.

Наведений алгоритм є особливим різновидом метода дотичних для розв'язку рівняння (1) і зводиться до розв'язку рівнянь більш низьких порядків, ніж рівняння (1).

Але дуже важливо отримати алгоритм, що не потребує розв'язку рівнянь ступеня вище першого, що гарантувало би невеликий час його роботи. Для розробки такого алгоритму бажано не застосовувати процедури визначення точок  $O_1, O_2, \dots$  перетину перпендикулярів із кривою, замість чого визначити їх центральні проекції з точки  $M$  на відповідні дотичні.

Наведемо розроблений алгоритм пошуку найкоротшої відстані від точки до кривої із застосуванням вказаного спрощення.

Задана точка  $M(x_M, y_M)$  та крива  $y = f(x)$ , необхідно з точки  $M$  провести нормаль до кривої. Для цього з точки  $M$  проводимо пряму, що паралельна осі ординат до перетину з кривою (рис.1). З точки перетину  $M'_1(x_M, f(x_M))$  проводимо дотичну  $l_1$  до кривої, з точки  $M$  будуємо перпендикуляр  $h_1$  на цю дотичну, точку перетину позначимо  $O_1(x_1, y_1)$ . Далі через точку  $O_1$  знову проводимо пряму, що паралельна осі ординат, до перетину з кривою. В отриманій точці  $M'_2(x_1, f(x_1))$  перетину будуємо дотичну  $l_2$  до кривої й в результаті перетину перпендикуляру  $h_2$ , що опущений з точки  $M$ , та дотичної  $l_2$  отримуємо точку  $O_2(x_2, y_2)$ . Аналогічно виконуються подальші кроки алгоритму. При цьому першим наближенням нормалі є відрізок  $MO_1$ , другим –  $MO_2$ , і так далі.

На  $(k+1)$ -му кроці координати точки  $O_{k+1}(x_{k+1}, y_{k+1})$  визначаються розв'язком системи двох лінійних рівнянь:

$$\begin{aligned} y &= f(x_k) + f'(x_k)(x - x_k), \\ y &= y_M - \frac{(x - x_M)}{f'(x_k)}, \end{aligned}$$

яке має вигляд:

$$x_{k+1} = \frac{(f'(x_k))^2 x_k + y_M f'(x_k) - f(x_k) f'(x_k) + x_M}{1 + (f'(x_k))^2},$$

$$y_{k+1} = f(x_k) + f'(x_k)(x_{k+1} - x_k).$$
(2)

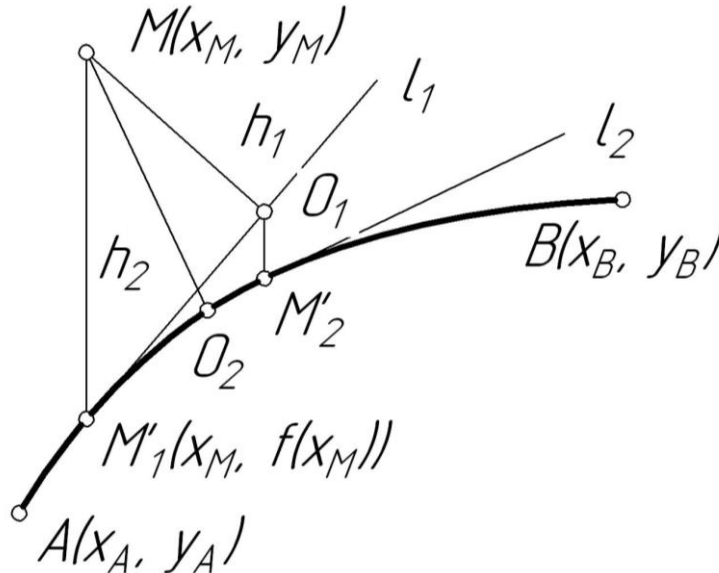


Рис. 1. Ітеративний алгоритм побудови нормалі до кривої

Процес пошуку нормалі продовжується до тих пір, поки кут  $\angle O_k M O_{k+1}$  між перпендикулярами  $h_k$  та  $h_{k+1}$ , які отримані на  $k$ -м та  $(k+1)$ -му кроках не стане меншим наперед заданого значення  $\alpha_0$ .

Цей кут визначається за формулою:

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{(x_k - x_M)(x_{k+1} - x_M) + (y_k - y_M)(y_{k+1} - y_M)}{((x_k - x_M)^2 + (y_k - y_M)^2)((x_{k+1} - x_M)^2 + (y_{k+1} - y_M)^2)} \right].$$

Якщо  $\alpha < \alpha_0$ , то шукана відстань дорівнює

$$s = \sqrt{(x_{k+1} - x_M)^2 + (y_{k+1} - y_M)^2}.$$

Для того, щоб описаний алгоритм можна було застосовувати до розв'язку практичних задач конструювання, слід визначити, в яких випадках послідовність точок  $O_1, O_2, \dots$  сходиться к точці кривої, що найближче до точки  $M$ .

Розглянемо рекурентне співвідношення (2) і припустимо, що послідовність точок  $O_1, O_2, \dots$  сходиться до деякої точки  $O(x_0, y_0)$ . Нехай, крім того, функція  $y = f(x)$  має на всьому відрізку  $[x_A, x_B]$

неперервну першу похідну  $f'(x)$  (це допущення справедливо для більшості класів апроксимуючих функцій). Тоді справедливі співвідношення:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} x_k = x_0, \quad \lim_{k \rightarrow \infty} y_k = y_0,$$

або

$$x_0 = \frac{(f'(x_0))^2 x_0 + y_M f(x_0) - f(x_0) f'(x_0) + x_M}{1 + (f'(x_0))^2}, \quad (3)$$

$$y_0 = f(x_0). \quad (4)$$

З рівняння (4) слідує, що гранична точка  $O(x_0, y_0)$  належить кривій  $y = f(x)$ . Перетворимо рівняння (3).

Маємо:

$$x_M = x_0 + (y_M - f(x_0)) f'(x_0) = 0.$$

Таким чином, координати точки  $O$  задовольняють рівнянню (1). Згідно доведеному, якщо на кривій  $y = f(x)$  існує тільки одна точка, що розташована найближче до точки  $M$ , абсциса якої належить інтервалу  $[x_A, x_B]$ , то для ітераційного процесу, який описано рівняннями (2) та сходиться, цей процес також сходиться до основи  $O(x_0, y_0)$  шуканої нормалі.

**Висновки.** Застосування на практиці запропонованого алгоритму визначення найкоротшої відстані від точки до кривої показало, що він достатньо швидко сходиться на ділянках опуклості та потребує невеликої кількості ітерацій.

### *Література*

1. Шепель В.П., Білицька Н.В., Гетьман О.Г., Гриценко І.А. Моделювання перегину кубічної кривої Без'є за трикутником дотичних її дуги. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Вип. 4. Т. 48, «Актуальні проблеми геометричного моделювання»: матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2010, С. 22-29.
2. Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н.. Сплайны в вычислительной математике. М., "Наука", 1976. 248 с.
3. Бузова И.Г., Демьянович Ю.К., Евдокимова Т.О. Сплайн-всплески и их реализации. СПб., СПбГУ, 2018. 414 с.
4. Рожено А.И. Теория и алгоритмы вариационной сплайн-аппроксимации. Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН, 2005. 244 с.
5. Білицька Н.В., Гетьман О.Г. Моделювання складних кривих за точковим каркасом при оцінюванні відхилень за нормаллю.



*Сучасні проблеми моделювання: збірник наук праць. Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б.Хмельницького, 2017. № 8. С. 16-20.*

## **ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛИ К КРИВОЙ**

Білицька Н.В., Гетьман О.Г.

*Для интерполяции точечных каркасов обводов изделий сложных форм чаще всего используются кривые второго порядка или кривые Безье третьего порядка. Известны проведенные исследования по моделированию кривых, заданных дискретным набором точек, с помощью сплайн-аппроксимации. Но эти методы приводят к высокой дробности обвода. Использование аппроксимационных методик с некоторою наперед заданной точностью снижает дробность обводов. Конструирование сложных кривых и поверхностей дает лучшие результаты при оценке отклонений точек каркаса от создаваемого геометрического объекта по нормали к кривой или поверхности. Однако точное решение этой задачи требует недопустимо много времени, поскольку приводит к решению уравнений высоких степеней несколько тысяч раз. В работе предлагается итерационный алгоритм построения нормали к плоской кривой, который позволяет избежать решения уравнений высоких порядков, а заменить этот процесс решением систем линейных уравнений, что сокращает время конструирования сложных обводов. Его практическое применение продемонстрировало достаточно быструю сходимость алгоритма на участках выпуклости точечного каркаса. Приведенная методика вычисления отклонений по нормали может быть использована при конструировании сечений лопаток турбин, сопряженных поверхностей сельскохозяйственных орудий и обводов летательных аппаратов.*

*Ключевые слова: конструирование сложных кривых, дискретный набор точек, точечный каркас, обвод, полином, степень полинома, моделирование кривых, интерполяция, аппарат сплайн-аппроксимации, аппроксимация, приближенные методы, дробность обвода, фиксированная точка, нормаль, оценка отклонений по нормали, ближайшее расстояние, касательная, метод касательных, метод Ньютона, перпендикуляр, центральная проекция, итерация, сходимость алгоритма, система уравнений, итерационный процесс.*

## ITERATION ALGORITHM OF DETERMINATION OF NORMAL TO CURVE

Bilytska N., Hetman A.

*For interpolation of point frameworks of circumferences of wares of difficult forms curves are more frequent than all used the second order or curves of Bezier of the third order. The conducted researches are known on the design of curves, set the discrete set of points, by spline-approximation. But these methods result in the high shot of circumference. The use of approximation methods with some in advance set exactness reduces the shot of circumferences. Constructing of difficult curves and surfaces gives the best results at the estimation of rejections of points of framework from the created geometric on a normal to the curve or surface. However much the exact solution of this task requires impermissible much time, as brings a few thousand over one times to the decision of equalizations of high degrees.*

*The iteration algorithm of construction of normal is in-process offered to the flat curve, which allows to avoid the decision of equalizations of high orders, and to replace this process the decision of the systems of linear equalizations, that abbreviates time of constructing of difficult circumferences. His practical application showed rapid enough convergence of algorithm on the areas of bulge of point framework. The resulted method of calculation of rejections on a normal can be used for constructing of sections of shoulder-blades of turbines, attended surfaces of agricultural instruments and circumferences of aircrafts.*

*Keywords: constructing of difficult curves, discrete set of points, point framework, circumference, polynomial, degree of polynomial, designs of curves, interpolation, vehicle of spline-approximation, approximation, close methods, shot of circumference, fixed point, normal, estimation of rejections on a normal, nearest distance, tangent, method of tangents, method of Newton, perpendicular, central projection, iteration, convergence of algorithm, system of equalizations, iteration process.*

УДК 514.18

## **СТРУКТУРА ТРИВИМІРНОГО КЛІТИННОГО АВТОМАТУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЗОБРАЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ**

Ванін В.В., д.т.н.,

Залевська О.В., к.т.н.,

Чередніченко В.О.

*Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*У роботі наведено структуру клітинного тривимірного автомату, з можливістю редагування та зупину процесу відбудови розвитку динамічної структури. Побудова зображення такого процесу дозволяє розширити застосування клітинних автоматів для створення різних динамічних об'єктів комп'ютерної графіки. Розглянуто утворення об'єктів як натуральних так і штучних з абстрактною формою, на прикладі печерної системи. Отримана система за допомогою клітинного автомату зможе симулювати природню генерацію та розповсюдження печери. Наведено способи ефективного використання згенерованих продуктів клітинних автоматів в контексті графічних додатків.*

*Комплексне використання 3D методів в компютерній графіці дозволяють створити модель об'єкту та показати її розвиток на прикладі відображення рівнів гри в режимі реального часу. Наведені застосунки є новими підходами до процедурної генерації, що використовують властиві обмеження процесу та непередбачуваність клітинного автомату.*

*Будуючи дослідження на простих правилах, виявлено досить багато корисних конфігурації з можливістю створення вірогідних гірських утворень, печерних систем, сталагмітів та інших складних природних або фізичних структур, при цьому вони легко параметризуються і об'єднуються.*

*Структура такого клітинного автомату буде складатись, з таких процедур та функцій, що забезпечили наступні умови:*

- можливість керування генерацією клітинного автомату;*
- зберігання стану автомату та всіх його живих клітин;*
- генерація наступної ітерації;*
- відображення клітинного автомату;*
- керування станом КА.*

*Ключові слова: клітинний автомат, генерація 3D структур, комп'ютерна графіка, печерні системи.*

**Постановка проблеми.** Клітинні автомати є універсальною математичною моделлю, що застосовується для вирішення проблем та задач у галузях математики, фізики та інформатики. Наприклад, двовимірні клітинні автомати широко застосовуються для моделювання поведінки дорожнього трафіку, для симуляції природних та фізичних явищ, таких як гідродинамічні та газодинамічні течії [2]. Серед ще не вирішених питань можна виділити теорію про самовідновлювані електричні кола.

Тривимірні клітинні автомати мають ще більший потенціал, але насправді не так часто використовуються, так як їх властивості ще не досліджені. Прогресу заважає також відсутність зручних інструментів для дослідження та генерації таких КА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Клітинний автомат будемо розглядати як сітку регулярних комірок (клітин автомату). Кожна клітина володіє одним з кінцевих станів та змінюється синхронно за допомогою деякої функції, що керує станом самої клітини. Зазвичай стан клітини представлено як ціле чи логічне значення [3]. Сітка може мати будь-яку скінченну кількість вимірів [2]. Розглянемо тривимірну модель клітинного автомату, так як вони мають сучасні застосування в комп'ютерній графіці. Околицю клітини в одномірній сітці покажемо на рисунку 1. Клітини в найближчому оточенні показані зеленим кольором, ті, що в жовтому та червоному кольорах, являють собою розширене сусідство в радіусі 2 і 3 від клітини (віддінки сірого).



Рис. 1. Сусіди сірої клітини в одно-вимірній сітці

У кожній ітерації автомату необхідно синхронно оцінити кожен комірку та змінити сітку відповідно. Функцію, що задовільняє дані вимоги називають правилом клітинного автомату [1]. Поведінка простого правила показана на рис. 2. А кінцева одномірна сітка ініціалізується однією сірою клітиною (станом 1) посередині. Для кожної ітерації, клітина стає сірою, якщо в його сусідстві існує одна або дві сірі клітини. В іншому випадку вона перетворюється або залишається білою (стан 0) [4].

Розширення цієї концепції до двох чи трьох вимірів дає більше можливостей вибору околиці. Найпоширенішими є райони фон Неймана та Мура [1] і їх розширення.

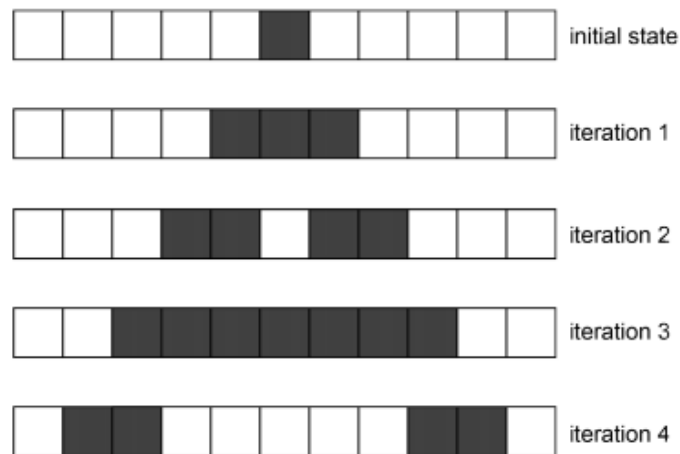


Рис. 2. Чотири ітерації правила елементарного клітинного автомата на одновимірній сітці

**Формування цілей статті.** Згенерувати печерні рівні в 3D графіці використовуючи двовимірне правило печери. Розробити та описати структуру тривимірного клітинного автомату за допомогою процедур та функцій мови програмування.

**Основна частина.** Клітинні автомати (КА) широко використовуються для генерації печерних рівнів [6]. Реалізації таких генеріцій в останніх іграх приділяють основну увагу створенню макетів двовимірного рівня. Перетворимо двовимірне правило печери до трьох вимірів і дослідимо способи його вдосконалення та параметризації.

Для цього ми використовуємо автомат із двома станами твердого (1) та повітряного (0). Відповідно до цього правило автомата, кожна клітина змінює стан на основі співвідношення повітря та твердих клітин навколо неї. Параметр зв'язності визначає, наскільки важливим співвідношення станів твердих та не твердих клітин навколо. Відсоток твердих клітин в примітивній структурі називається щільністю. Структури, що відображаються на наступних рисунках, не є порожніми зсередини. Їм потрібно бути інвертованими, щоб діяти, як передбачено. У випадку, якщо ми хочемо отримати поверхню з цього шару, то остаточний результат буде таким же.

Ми спостерігаємо, що збільшення роздільної здатності моделювання призводить до повторення патерну печери, що є бажаною поведінкою у випадку, коли ми хочемо розширити наш світ для вокселів для печерних структур. Є, звичайно, шляхи масштабувати структури або підвищити рівномірність печери.

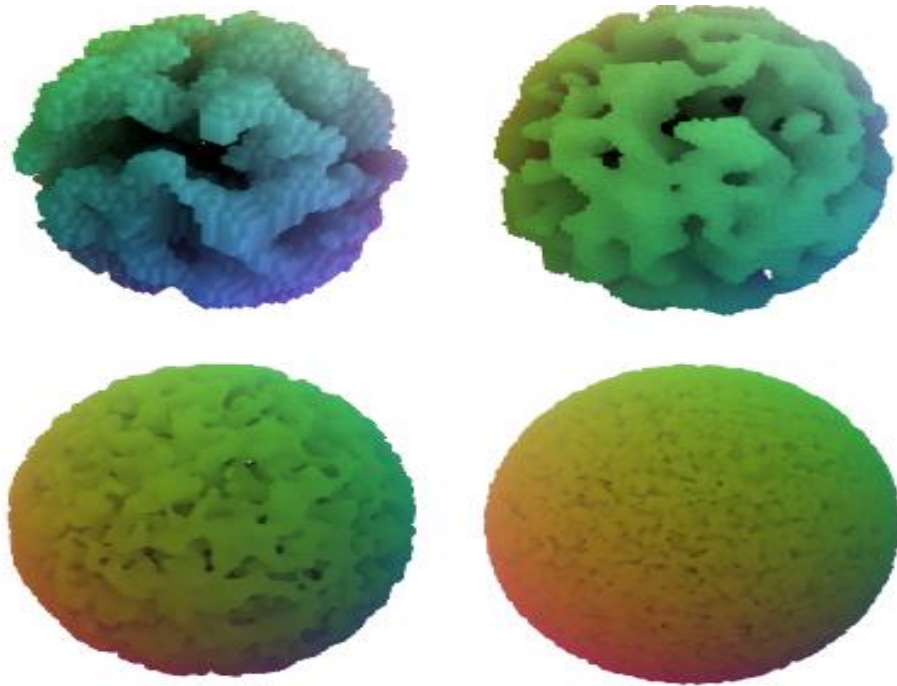


Рис. 3. Правило печери застосовано протягом 7 ітерацій для сфери з щільністю 0.5.

Радіус пошуку виставлений на 1 одиницю. Зліва-направо: 32, 64, 128, 256 розширення сітки. Параметр приєднаності: 0.5

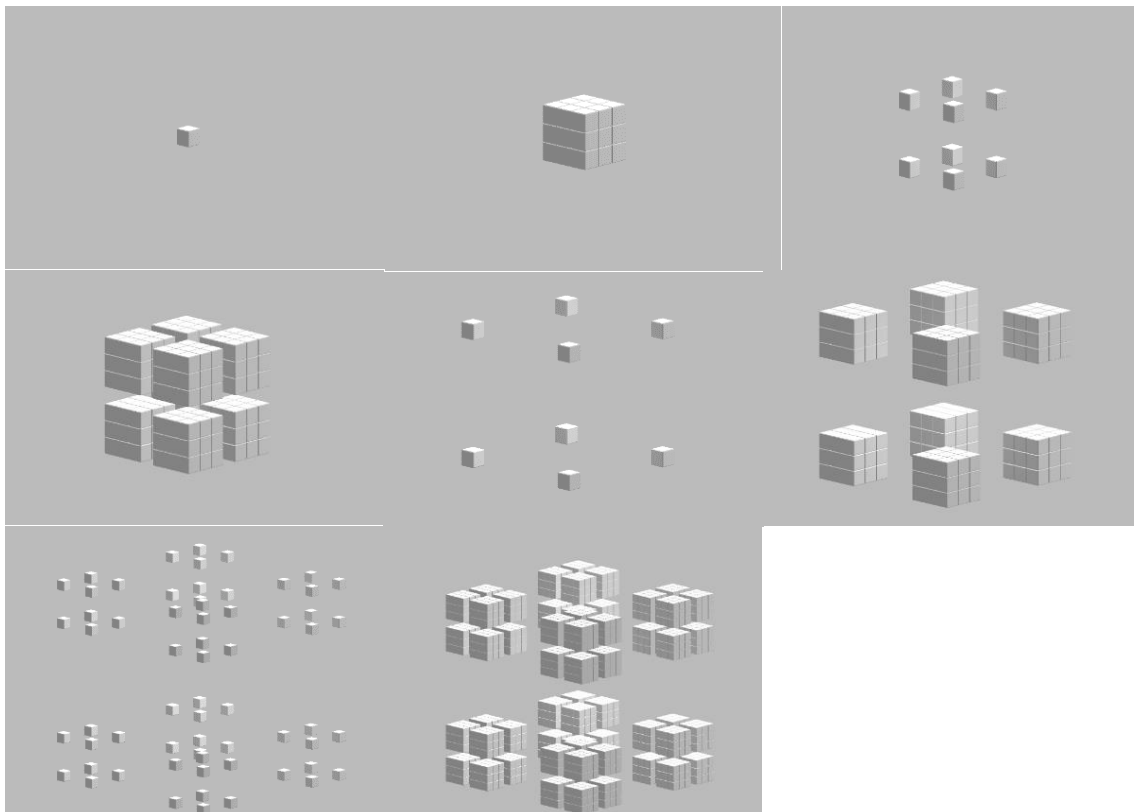


Рис. 4. Етапи генерації автомату (1-8) за правилом 1/1

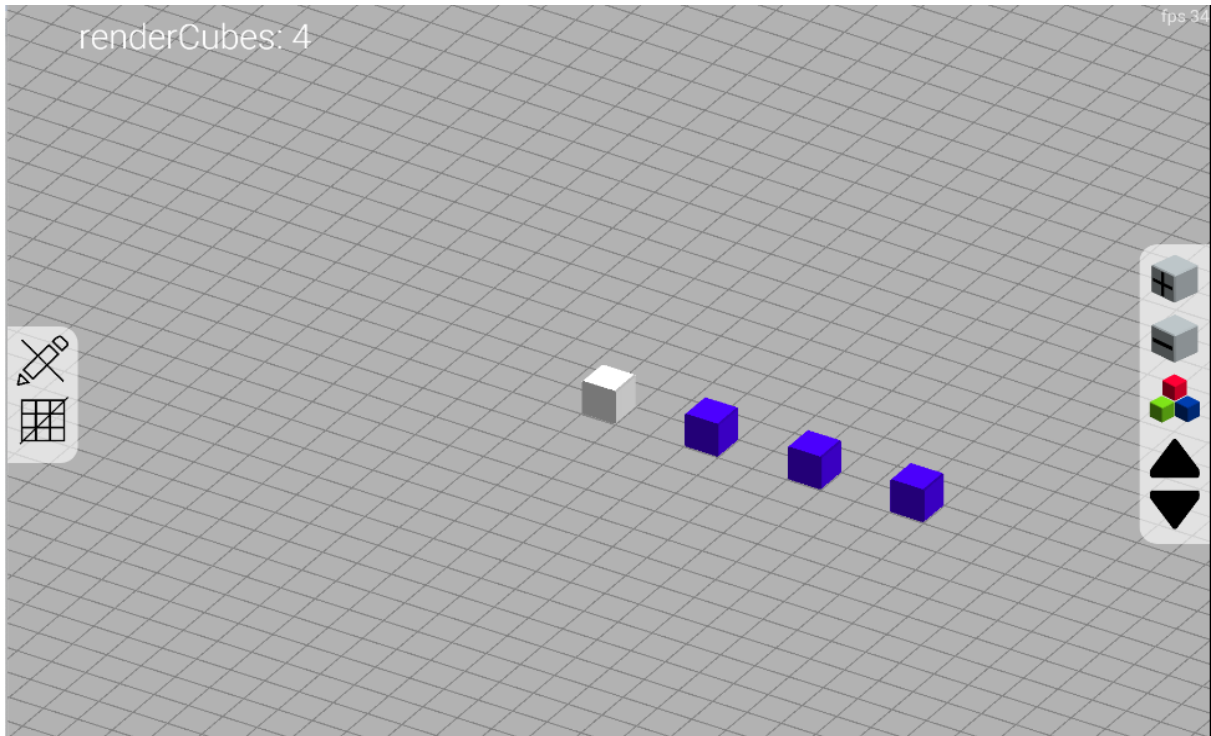


Рис. 5. Редактор клітинного автомату, додавання трьох клітин синього кольору (темно- сірого)

Для реалізації поставленої задачі було розроблено структури тривимірного автомату, що складається з таких функцій:

- Automata - модуль керування генерацією клітинного автомату (КА). Може почати генерацію, призупинити, зупинити, перейти на наступну ітерацію
- CellMap - модель зберігання стану автомату, координат всіх живих та неживих клітин, включає функціонал додавання нової клітини, видалення, зміни кольору існуючої.
- Rule - модуль що генерує наступну ітерацію КА. Інкапсулює методи знаходження сусідніх клітин, визначення стану клітини на наступній ітерації та її кольору, якщо використовується наслідування кольору. На виході методу nextIteration() ми отримаємо список клітин для відображення наступної ітерації.
- ModelRenderer - модуль відображення КА на дисплей. Перетворює об'єкти типу CellMap в координати об'єкта, для рендера.
- ApplicationInastance - головний модуль керування станом КА. Він отримує сигнали введення даних користувачем та через адаптер передає їх в модуль Automata. Automata, в свою чергу, отримує нову ітерацію. Після формування карти нової ітерації викликається метод updateRenderer, що малює КА в візуально наглядному вигляді.

На рис. 4 зображено проміжні етапи генерації клітинного автомату та показано можливість редагування поточного стану КА (рис.5).

**Висновки.** Більшість існуючих програмних засобів для клітинних автоматів не відповідають встановленим вимогам або взагалі не пристосовані для роботи із тривимірними автоматами. На основі проведеного огляду виявлена потреба в розробці нових методів дослідження еволюції тривимірних клітинних автоматів під впливом зовнішніх факторів та розробці нового програмного забезпечення, що реалізує увесь необхідний функціонал та надасть зручний інтерфейс для роботи з ним.

### *Література*

1. Andrew Adamatzky and Genaro J Martinez. ' Designing Beauty: The Art of Cellular Automata. Vol. 20. Springer, 2016. 191 p.
2. Alonso-Sanz and Martin. Elementary cellular automata with memory. ' Complex Systems 14.2 (2003), P. 99–126.
3. Bays. A note about the discovery of many new rules for the game of threedimensional life. Complex Systems. 2006. Vol 16 (4)., P. 381.
4. Conway. The game of life. Scientific American, 1970. Vol. 223.4, P. 4.
5. Culik and Dube. Fractal and recurrent behavior of cellular automata. Complex Systems. 1989. Vol. 3.3, P. 253–267.
6. RL Dobrushin, VI Kriukov and AL Toom. Stochastic cellular systems: ergodicity, memory, morphogenesis. Manchester University Press, 1990. 541 p.
7. Fisch. Cyclic cellular automata and related processes. Physica D: Nonlinear Phenomena, 1990. Vol. 45, Is, 1-3, P. 19–25.

## **СТРУКТУРА ТРЕХМЕРНОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТУ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Ванін В.В., Залевська О.В., Чередниченко В.О.

*В работе представлена структура клеточного трехмерного автомата, с возможностью редактирования и остановки процесса восстановления развития динамической структуры. Построение изображения такого процесса позволяет расширить применение клеточных автоматов для создания разных динамических объектов компьютерной графики. Рассмотрено образование объектов как натуральных так и искусственных с абстрактной формой, на*



*примере пещерной системы. Полученная система, с помощью клеточного автомата, сможет симулировать естественную генерацию и распространение пещеры. Приведены способы эффективного использования сгенерированных продуктов клеточных автоматов в контексте графических дополнений.*

*Комплексное использование 3d методов в компьютерной графике позволяют создать модель объекта и показать ее развитие на примере отражения уровней игры в режиме реального времени. Приведённые программные реализации являются новыми подходами к процедурной генерации, которые используют свойственные ограничения процесса и непредсказуемость клеточного автомата. Строя исследование на простых правилах, выявлено достаточно много полезных конфигурации с возможностью создания достоверных горных образований, пещерных систем, сталагмитов и других сложных естественных или физических структур, при этом они легко параметризуются и объединяются.*

*Структура такого клеточного автомата будет складываться из таких процедур и функций, которые смогут обеспечивать следующие условия:*

- возможность управления генерацией клеточного автомата;*
- хранение состояния автомата и всех его живых клеток;*
- генерация следующей итерации;*
- отражения клеточного автомата;*
- управление состоянием КА.*

*Ключевые слова: клеточный автомат, генерация 3d структур, компьютерная графика, пещерные системы.*

## **STRUCTURE THREE-DIMENSIONAL CELLULAR TO AUTOMAT FOR CONSTRUCTION OF IMAGE OF DYNAMIC SYSTEMS**

Vanin V., Zalevska O., Cherednichenko V.

*In-process resulted structure cellular three-dimensional to the automat, with possibility of editing and stop of process of renewal of development of dynamic structure. The construction of image of such process allows to extend application of cellular automats for creation of different dynamic objects of computer graphics. Formation of objects is considered both natural and artificial with an abstract form, on the example of the spelaean system. Got system by means of cellular to the*

*automat, able to simulate a natural generation and distribution of cave. Methods over of the effective use of the generated products of cellular automats are brought in the context of graphic additions.*

*The complex use 3d methods allow in computer graphics to the object and to show her development on the example of reflection of the pвiнiв playing the real-time mode. Застосунки over is brought are the new going near a procedural generation, that use peculiar limitations of process and unforeseeableness cellular to the automat. Building research on simple rules, it is educed much enough useful to configuration with possibility of creation of reliable mountain formations, spelaean systems, stalagmites and other difficult natural or physical structures, here they easily параметризуються and unite.*

*Structure such cellular to the automat will be folded, from such procedures and functions, that забезпечили next terms:*

- is possibility of management a generation cellular to the automat;*
- it is storage of the state to the automat and all him living cages;*
- it is a generation of next iteration;*
- reflection cellular to the automat; it is a management the state of KA.*

*Keywords: cellular automat, generation 3d structures, computer graphics, spelaean systems.*

УДК 514.18

**ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ БАГАТОВИМІРНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ  
ОБ'ЄКТІВ МЕТОДАМИ ТОЧКОВОГО ЧИСЛЕННЯ  
БАЛЮБИ-НАЙДИША**

Верещага В.М., д.т.н.,  
Лисенко К.Ю., аспірант\*,  
Найдиш А.В., д.т.н.,  
Балюба І.Г., д.т.н.

*Мелітопольська школа прикладної геометрії,  
Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана  
Хмельницького (Україна)*

*Розвиток нових високотехнологічних виробництв та відповідного обладнання для них, потребує ефективної роботи середовища, у якому вони функціонують, тобто, кожний високотехнологічний суб'єкт господарювання буде ефективно функціонувати лише за наявності системи керування його діяльністю. Як правило, господарюючі суб'єкти не мають таких систем, тому що існуючі математичні моделі для проведення економічних розрахунків потребують значних комп'ютерних потужностей і тому не можуть бути запровадженими на об'єктах.*

*Задачі, з якими стикаються господарюючі суб'єкти, як правило, є багатofакторними. У той же час, існуючі економіко-математичні моделі розв'язують багатofакторні задачі з певними обмеженнями. Виходячи зі сказаного, актуальною є задача створення математично формалізованого геометричного апарату для розв'язання багатofакторних задач. При цьому, програмна реалізація цього апарату не потребувала б застосування надпотужних комп'ютерів, а встановлювалась на комп'ютерах звичайних потужностей, які функціонують у офісах.*

*Розвиток формалізованого геометричного апарату моделювання та створення його програмної реалізації, для розв'язку багатofакторних задач, на комп'ютеризованих робочих місцях, особами, які приймають рішення щодо ефективного функціонування суб'єктів господарювання, є актуальною задачею.*

*Отже, подальша розробка композиційного геометричного моделювання (КГМ) дозволить значно розширювати можливості методу і створити теоретичні основи для подальших розробок у цьому напрямку.*

*Розвиток композиційного геометричного моделювання відповідає сучасним вимогам щодо створення моделей систем для*

---

\* Науковий керівник – д.т.н., проф. Верещага В.М.

суб'єктів господарювання та закладів місцевого рівня.

*Отже, у даній роботі виконано аналіз методів геометричного та математичного моделювання, композиційного геометричного моделювання, точкового числення Балюби-Найдиша, які застосовуються у розробці багатofакторних моделей.*

*Ключові слова: точкове числення Балюби-Найдиша, композиційне геометричне моделювання, БН-матриці, композиційна інтерполяція.*

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку композиційного геометричного моделювання достатньо повно досліджено задачі формування неперервних кривих і поверхонь у параметричній формі відносно вихідних точок геометричної фігури. Встановлено порядок формування геометричних БН-матриць та операцій над ними. Однак, потребують подальшого розвитку питання щодо: збільшення кількості вихідних точок для інтерполянта; аналізу обмежень стосовно розташування вихідних точок, що дискретно подають геометричну фігуру; розробки методики аналізу багатовимірних проєкцій змодельованої системи; тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як відомо, [2, 7] у композиційній геометричній моделі (КГМ) будь-яка поточна точка змодельованої геометричної фігури визначається як сума часток усіх базисних точок вихідної геометричної фігури. Тобто, кожна поточна точка є композицією часток усіх базисних точок вихідної геометричної фігури.

Під часткою точки треба розуміти значення відповідної БН-координати для цієї точки.

В основу КГМ покладено методи точкового числення Балюби-Найдиша [6], зокрема методи геометричної одно- та двовимірної БН-інтерполяції, які можуть застосовуватись для глобальної інтерполяції точок, кількість яких є більшою ніж три.

**Формулювання цілей статті.** Надати анотацію дисертаційного дослідження за темою: «Параметризація багатовимірних геометричних об'єктів методами точкового числення Балюби-Найдиша».

**Основна частина.** Згідно до теми дисертаційного дослідження сформулюємо основні формальні риси роботи:

**Актуальність теми.** Сучасний стрімкий розвиток технологій, що у різних сферах життєдіяльності людини зменшують витрати ресурсів, потребує сучасні методи керування новими технологічними процесами. Відсутність системи керування може звести нанівець переваги застосування нових технологій. Наявність системи керування у технологічних суб'єктів господарювання, може значно

підвищувати їх ефективність. Система керування технологічними об'єктами, на наш погляд, повинна міститися в самому об'єкті, який займається виробництвом, тобто бути елементом системи. Тільки за таких умов вона буде виконувати функцію ефективного керування.

Будь-який суб'єкт господарювання не може ефективно проводити свою діяльність без наявної системи керування виробництвом.

Розробка систем керування (СК) повинна базуватися на принципах максимального врахування вихідних даних – факторів. Тоді моделі СК, створені за таким принципом, будуть адекватними і нададуть змогу приймати ефективні управлінські рішення.

З метою підвищення ефективності господарської діяльності актуальною є розробка математичного методу геометричної формалізації у термінах точкового числення Балюби-Найдиша (БН-числення) для використання суб'єктами господарювання у інформаційних системах керування високотехнологічними об'єктами.

*Сучасний стан проблеми.* На сучасному етапі розвитку композиційного геометричного моделювання (КГМ) достатньо повно досліджено задачі формування неперервних кривих і поверхонь у параметричній формі відносно базисних (вихідних) точок геометричної фігури (ГФ). Однак, у роботах [2, 7] побудову означених параметричних кривих виконано тільки для трьох та чотирьох точок, які належать площині. Тобто, не вирішеною лишається задача композиційної БН-інтерполяції для просторових кривих з більшою ніж чотири кількістю полюсів інтерполяції. Окрім того, у роботах [2, 7] двопараметрична інтерполяція розроблена тільки для випадків, коли вихідні ребра дискретно поданої поверхні (ДПП) мають одну композиційну модель у кожному з напрямків, тобто, не розв'язаною лишається задача знаходження точкового рівняння сегменту поверхні, що утримує ребра з різними моделями їхньої побудови. Отже, задачі створення композиційних моделей для просторових кривих з полюсами інтерполяції у кількості більше ніж чотири, та розробка методу побудови неперервної параметричної поверхні, вихідна ДПП якої складається з ребер, що мають різні композиційні моделі, є не вирішеною і потребують розв'язання.

*Мета і завдання дослідження.* Розробити метод композиційної інтерполяції сегментів одно- та двопараметричних просторових геометричних фігур евклідового  $n$ -простору.

Для досягнення мети сформульовано наступні завдання:

- виконати аналіз літературних джерел;
- розробити ознаки для метричного оператора трьох точок, які визначають різноманітні випадки побудови геометричних фігур;

- розробити операції над узгодженими метричними операторами трьох точок, довести нові та найбільш повно сформулювати відомі їх властивості;
- розробити техніку алгебраїчного формування параметрів плоских кривих Балюби (Б-кривих);
- розробити техніку алгебраїчного формування просторових кривих Балюби (Б-кривих);
- розробити методики утворення поверхонь Балюби (Б-поверхонь) з різними точковими рівняннями кожного з її ребер в обох напрямках;
- здійснити програмну реалізацію розроблених методик параметризації та виконати розрахунки тестових прикладів;
- здійснити впровадження у виробництві наукових результатів дисертаційного дослідження.

*Об'єкт дослідження* – способи параметризації багатовимірних геометричних фігур.

*Предмет дослідження* – властивості параметричних моделей багатовимірних геометричних фігур евклідового простору.

Планується розробити:

- ознаки трикутників, які подано у термінах метричних операторів трьох точок;
- нові властивості метричних операторів трьох точок (МОТТ);
- довести теорему Піфагора для  $n$ -простору у термінах МОТТ;
- довести теорему косинусів для  $n$ -простору у термінах МОТТ;
- техніку алгебраїчного формування координат Балюби-Найдиша для плоских і просторових параметричних кривих у точковій формі;
- методику утворення поверхонь Балюби з різними точковими рівняннями ребер як в одному так і у другому параметричних напрямках.

Виконання цих завдань є підґрунтям для формування *наукової новизни та практичної значущості результатів* дослідження.

**Висновки.** У статті наведено анотацію дисертаційного дослідження за темою: «Параметризація багатовимірних геометричних об'єктів методами точкового числення Балюби-Найдиша», що дозволяє визначити та деталізувати план подальших досліджень. Подальші публікації будуть присвячені огляду основних теоретичних і практичних результатів роботи.

### ***Література***

1. Адоньєв Є.О., Верещага В.М., Найдиш А.В. Застосування геометричних матриць для утворення точкових рівнянь Б-поверхонь *Науковий вісник Таврійського державного*

- агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8, Т.1, С. 153-160.
2. Адоньєв Є.О. Композиційний метод геометричного моделювання багатofакторних систем: дис. ... д-ра техн.наук. К.: КНУБА, 2018. 512 с.
  3. Адоньєв Є.О., Верещага В.М., Лисенко К.Ю. Встановлення взаємозв'язків між простими відношеннями трьох точок прямої та БН-координатами для геометричних фігур. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш*. Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018. Вип. 11. С. 3-7.
  4. Адоньєв Є.О., Верещага В.М., Лисенко К.Ю. Розробка узагальненої техніки алгебраїчного формування Б-функцій для трьох точок. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси*. Х.: НТУ «ХПІ», 2016. №50 (1222).
  5. Адоньєв Є.О., Верещага В.М., Лисенко К.Ю. Розробка узагальненої техніки алгебраїчного формування Б-функцій для чотирьох точок *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси*. Х.: НТУ «ХПІ», 2017. №16(1238).
  6. Балюба І.Г., Найдыш В.М. Точечное исчисление [учебное пособие] под ред. Верещаги В.М. // Мелітополь: Изд-во МГПУ им. Б.Хмельницкого. 2015. 234 с.
  7. Верещага В.М. Композиційне геометричне моделювання: монографія. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2017.108 с.
  8. Лисенко К.Ю., Найдиш А.В., Балюба І.Г., Верещага В.М. Особливості композиційного геометричного моделювання. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. К., 2019. Вип. 95. С. 131-137.

## **ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МНОГОМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ ТОЧЕЧНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ БАЛЮБЫ-НАЙДЫША**

Верещага В.М., Лысенко К.Ю., Найдыш А.В., Балюба И.Г.

*Развитие новых высокотехнологичных производств и соответствующего оборудования для них, требует эффективной работы среды, в которой они функционируют, то есть, каждый высокотехнологичный субъект хозяйствования будет эффективно функционировать только при имеющейся системе управления его*

деятельностью. Как правило, хозяйствующие субъекты не имеют таких систем, так как существующие математические модели для проведения экономических расчетов требуют значительных компьютерных мощностей и поэтому не могут быть внедренными на объектах.

Задачи, с которыми сталкиваются хозяйствующие субъекты, как правило, являются многофакторными. В то же время, существующие экономико-математические модели не в состоянии решать многофакторные задачи. Исходя из сказанного, актуальна задача создания математически формализованного геометрического аппарата для решения многофакторных задач. При этом, программная реализация этого аппарата не нуждалась бы в применении сверхмощных компьютеров, а устанавливалась на компьютерах обычных мощностей, которые функционируют в офисах. Развитие формализованного геометрического аппарата моделирования и создание его программной реализации, для решения многофакторных задач на компьютеризированных рабочих местах, лицами, принимающими решения по эффективному функционированию субъектов хозяйствования, является актуальной задачей. Дальнейшая разработка композиционного геометрического моделирования (КГМ) позволит значительно расширить возможности метода и создать теоретические основы для дальнейших разработок методов композиционного моделирования.

Развитие композиционного геометрического моделирования соответствует современным требованиям по созданию моделей систем для субъектов хозяйствования и учреждений местного уровня.

Итак, в данной работе выполнен анализ методов геометрического и математического моделирования, композиционного геометрического моделирования, точечного исчисления Балюба-Найдиша, которые применяются в разработке многофакторных моделей.

Ключевые слова: точечное исчисление Балюба-Найдиша, композиционное геометрическое моделирование, БН-матрицы, композиционная интерполяция.

## **PARAMETRIZATION OF MULTI-DIMENSIONAL GEOMETRIC OBJECTS BY METHODS OF THE BALYUBI-NAIDYSH POINT FIGURE**

Verechaga V., Lysenko K., Naidysh A., Baluba I.

*The development of new high-tech industries and equipment requires*



*efficient operation of the environment in which they operate, that is, each high-tech entity will only function effectively under the existing system for managing its activities. As a rule, business entities do not have such systems, because existing mathematical models for economic calculations require significant computer capabilities and therefore can not be implemented on objects.*

*The tasks faced by business entities are usually multifactorial. At the same time, existing economic and mathematical models are not able to solve multifactorial problems. Proceeding from the above, the task is to create a mathematically formalized geometric apparatus for solving multifactorial problems. At the same time, the software implementation of this device would not require the use of super-computers, but installed on computers of conventional capacities, which operate in offices.*

*The development of a formalized geometric modeling apparatus and the creation of its program implementation, for solving multifactorial problems, at computerized workplaces, persons who make decisions about the effective functioning of business entities is an urgent task.*

*Further development of the CGM will significantly expand the capabilities of the method and create theoretical foundations for the further development of methods of composite modeling.*

*The development of composite geometric modeling meets the modern requirements for the establishment of system models for business entities and local level institutions.*

*Consequently, in this article an analysis of methods of geometric and mathematical modeling, composite geometric modeling, point calculation of Baliba-Naidisha, which are used in the development of multifactor models, is made.*

*Key words: Point-Calculation Balyuby-Nidysh, Compositional Geometric Modeling, BN-Matrix, compositional interpolation.*

УДК 004.054

## **ОБЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ПЛАТФОРМИ OPEN CONFERENCE SYSTEMS У НАУКОВУ ДІЯЛЬНІСТЬ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Верещага В.М., д.т.н.,

Павленко О.М., к.т.н.,

Еремєєв В.С., д.т.н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького (Україна)*

*Наукова і науково-технічна діяльність у закладах вищої освіти (ЗВО) є невід'ємною складовою освітньої діяльності і здійснюється з метою інтеграції наукової, навчальної і виробничої діяльності в системі вищої освіти. Підвищення якості наукової та науково-технічної сфери завжди потребує впровадження нових методів та використання новітніх технічних засобів, що, зазвичай, вбачає необхідність у значних матеріальних затратах. Неодмінно, це стосується також питань ліцензування програмного забезпечення. Саме тому, більшість навчальних закладів, що стикаються з такою проблемою, розглядають можливість використання вільного програмного забезпечення. Одним із таких вільних проєктів, що надають можливість впровадити новітні підходи до організації наукової діяльності, є Open Conference Systems (OCS). OCS є одним із найпоширеніших безкоштовних інструментів веб-публікації, що дозволяє значно підвищити якість та зручність проведення наукових конференцій, а також забезпечує повну веб-присутність її учасників.*

*У цій роботі проаналізовано головні аспекти використання системи відкритих конференцій, переваги та доцільність її використання у науковій діяльності закладів вищої освіти. Також наведено результати анкетування щодо проведення конференції з застосуванням системи OCS. Завдання дослідження: розгляд поняття вільного програмного забезпечення; аналіз переваг використання вільного програмного забезпечення; дослідження системи відкритих конференцій Open Conference Systems; дослідження процесу інтеграції встановленої системи у наукову діяльність університету; підведення підсумків опитування серед учасників конференції, що було проведено засобами OCS.*

*Ключові слова. Програмне забезпечення; вільне програмне забезпечення; Заклад вищої освіти; Open Conference Systems; Linux; Public Knowledge Project.*

**Постановка проблеми.** Наукова і науково-технічна діяльність у закладах вищої освіти є невід'ємною складовою освітньої діяльності і здійснюється з метою інтеграції наукової, навчальної і виробничої діяльності в системі вищої освіти.

Україна має значні проблеми із проведенням ефективної наукової, науково-технічної та інноваційної політики. Стан наукової, науково-технічної сфери за ці роки різко погіршився: скорочено обсяг замовлень на наукову та науково-технічну продукцію, скоротилася кадрова та матеріальна база проведення досліджень та розробок, різко зменшилася результативність самої науки [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міжнародні дослідження якості вищої освіти засвідчують, що показники якості вищої освіти України є доволі неоднорідними. З одного боку за кількісним показником – охоплення вищою освітою – Україна перебуває в числі перших 10-15 країн світу. Доволі високі показники має математична і природнича освіта – Україна посідає тут місце не нижче 50-го. За якістю освіти з менеджменту місце України коливається біля сотого.

Питанням подібної до OCS системи займався О. М. Спирін. У своїй роботі він відзначив, що аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду дозволив виокремити основні напрями використання Open Journal Systems для інформаційної підтримки наукової діяльності, а саме:

- оприлюднення та розповсюдження результатів наукових досліджень;
- створення і підтримки репозиторіїв бібліотек вищих навчальних закладів;
- розвиток науково-освітнього простору навчального закладу;
- збереження та доступу до наукових ресурсів через хмарні сервіси.

Вищими вітчизняними та закордонними навчальними закладами ця програмна платформа, серед іншого, починає активно застосовуватися для інформаційної підтримки організації підготовки студентів та розгортання студентських наукових журналів.

Напрями подальших розвідок вбачаємо в розробленні організаційно-педагогічної моделі впровадження електронних відкритих журнальних систем у процес науково-педагогічних досліджень [3].

**Формулювання цілей статті.** Одним із найголовніших аспектів процесу інформатизації, є використання програмного забезпечення та інструментів. Саме тому, питання переходу на вільне програмне забезпечення в останній час усе частіше виникає як у колах користувачів, так і на рівні виконавчої та законодавчої влади.

Open Conference Systems – це система відкритих конференцій, що є одним із найпоширеніших безкоштовних інструментів веб-публікації, що дозволяє значно підвищити якість та зручність проведення наукових конференцій, а також забезпечує повну веб-присутність її учасників.

Саме тому основними завданнями є аналіз головних аспектів використання системи відкритих конференцій, переваг та доцільності її використання у науковій діяльності закладів вищої освіти.

**Основна частина.** Систему Open Conference Systems було створено у рамках дослідницького проекту Public Knowledge Project (рис. 1).

Public Knowledge Project (PKP) – некомерційний дослідницький проект, що займається просуванням ідеї відкритості наукових публікацій, в рамках якого були створені відкриті програмні продукти, такі як Open Journal Systems і Open Conference Systems [10].

Проект PKP розробив безкоштовний, відкритий програмний продукт для управління, публікації і каталогізації журналів Open Journal Systems, конференцій Open Conference Systems і монографій Open Monograph Press.

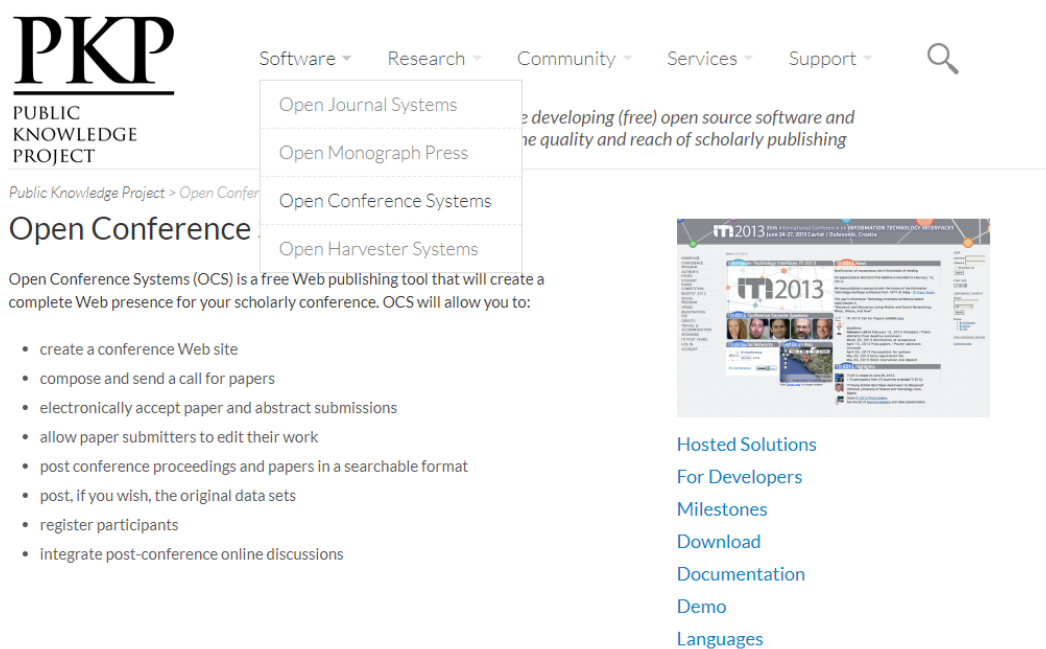


Рис. 1. «Офіційна сторінка проекту Public Knowledge Project»

Основними програмними продуктами PKP є: Open Journal Systems, Open Conference Systems, Open Archives Harvester і Open Monograph Press. OJS використовується для публікації результатів наукових досліджень, OCS – для організації конференцій і публікації їх результатів, Harvester – для упорядкування та індексування метаданих публікацій.

Public Knowledge Project співпрацює з великою кількістю партнерів, зацікавлених в доступних наукових дослідженнях, таких як Міжнародна мережа доступних наукових публікацій (INASP) для розробки навчально-дослідних порталів в Африці, Бангладеш, Непалі, і В'єтнамі.

Наукова діяльність – інтелектуальна творча діяльність, спрямована на одержання і використання нових знань. Основними її формами є фундаментальні та прикладні наукові дослідження (Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність») [12].

Наукова методологія, яку використовують учені, включає узагальнення добре перевічених фактів, застосування абстрактних понять, генерування і перевірку гіпотез, створення теорій як фактів загальнішого рівня, розвиток наукового опису, починаючи з добре вивченого, у бік непізнаного [13].

Open Conference Systems (OCS) – це безкоштовний інструмент веб-публікації, який створить повну веб-присутність для вашої наукової конференції. OCS дозволить вам:

- створити веб-сайт конференції;
- розсилати запрошення учасникам;
- в електронному вигляді приймають паперові та абстрактні матеріали;
- надавати редакторам права редагувати свою роботу;
- отримувати доповіді про роботу конференції та документи в форматі, що піддається пошуку;
- реєструвати учасників;
- інтегрувати онлайн-дискусії після конференції.

Одна платформа здатна підтримувати роботу декількох конференцій, а кожної конференції – декілька років. Всі конференції мають унікальні URL, а також власний дизайн.

Система налаштування прав дозволяє призначити як єдиного керівника для конференції, так і команду людей з відмінними повноваженнями для різних аспектів конференції.

Використання видавничих систем при проведенні електронних конференцій є доцільним як з точки зору оптимальності технічного рішення реалізації даної задачі, так і дозволяє значною мірою автоматизувати роботу організаційного комітету конференції [14].

Використання системи відкритих конференцій Open Conference Systems у науковій діяльності університету дозволить значно підвищити якість та зручність проведення наукових конференцій та забезпечуватиме повну веб-присутність її учасників. Це відкрите рішення для управління публікаціями наукових конференцій в Інтернеті. OCS – дуже гнучка платформа управління видавничою системою, яку можна завантажити безкоштовно і встановити на

локальному Веб-сервері. Вона була розроблена, щоб скоротити час на виконання управлінських завдань, пов'язаних з проведенням конференцій. До того ж, платформа має гнучкий інтерфейс, який можна підстроїти під конкретну організацію чи конференцію.

Використання системи відкритих конференцій OCS надаватиме такі можливості:

1. Створення власного веб-сайту відкритих конференцій.
2. Керування конференціями, які відбуваються більше одного разу (наприклад, щорічно).
3. Складання та відправлення відгуків до робіт.
4. Віддалене приймання робіт до конференції.
5. Редагування власної роботи авторами.
6. Проведення експертних оцінок.
7. Публікація матеріалів конференції та документів у потрібному форматі з можливістю виконання пошуку.
8. Планування проведення конференцій.
9. Розміщення оригіналів наукових робіт та інших матеріалів конференції.
10. Реєстрація учасників, включаючи прийом платежів.
11. Організація онлайн-дискусії після конференції.
12. Використання системи шаблонів електронної пошти.
13. Підтримка декількох мов з файлами локалізації.

Для виявлення рівня якості, зручності та доцільності використання системи відкритих конференцій OCS, застосовувався метод анкетування серед учасників конференції, яку було проведено за допомогою ресурсів системи «Open Conference Systems».



Рис. 2. Результати опитування респондентів щодо проведення наукової конференції з застосуванням платформи OCS

Було опитано 36 респондентів із 38 учасників наукової конференції. Згідно результатам анкетування, більшість респондентів (22 людини чи 61,11%) відмітила, що проведення подібної конференції із застосуванням системи «Open Conference Systems» дійсно є зручним. 10 респондентів, тобто 27,78%, відповіли, що не бачать різниці між проведенням конференції з застосуванням системи OCS та без застосування. 2 людини, тобто 5,56% респондентів, відмітили, що проведення конференції з застосуванням ресурсу OCS, навпаки, погіршує якість та зручність проведення подібних заходів (рис. 2).

**Висновки.** Судячи за результатами проведеного анкетування, використання платформи відкритих конференцій Open Conference Systems дійсно дозволить значно підвищити якість та зручність проведення наукових конференцій та забезпечуватиме повну веб-присутність її учасників.

Як результат роботи, було доведено доцільність інтеграції системи відкритих конференцій Open Conference Systems під час проведення наукових конференцій у закладах вищої освіти. Крім того, що ця платформа надає багато можливостей в управлінні видавничою системою, вона ще й значно підвищити якість та зручність проведення наукових конференцій та забезпечуватиме повну веб-присутність її учасників.

### **Література**

1. Верещага, В.М., Кучеренко В.В., Павленко, О.М. Спосіб розростання чарунок. *Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності: матеріали II-ї Міжнар. наук.-практ. конф. студ-тів, аспірантів та молодих вчених* (2). 2013, С. 13-17.
2. Верещага, В. М., Адоньєв Є.О., Павленко О.М. Спосіб згортання (розгортання) чарунок. *Сучасні проблеми моделювання*, 2016. №. 7. С. 32–38.
3. Верещага В.М., Конопацький Є.В., Павленко О.М. Визначення площі, обмеженої топографічною замкненою плоскою кривою. *Науковий журнал: комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2015. № 20. С. 119-123.
4. Павленко, О. М. Геометричне моделювання вертикального планування горизонтальної земельної ділянки засобами точкового БН-числення: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.01.01 : МДПУ імені Б. Хмельницького. Мелітополь, 2017. 24 с.
5. Спирін О.М., Лупаренко Л.А. Досвід використання програмної платформи Open Journal Systems для інформаційно-комунікаційної підтримки науково-освітньої діяльності. *Інформаційні технології і*

- засоби навчання*. 2017. Т. 61, вип. 5. С. 196-218. URL: <http://lib.iitta.gov.ua/708594/2/1910-7974-1-CE.pdf>.
6. Головна сторінка проекту GNU. URL: <https://www.gnu.org/>.
  7. Сторінка проекту OJS. URL: <https://pkp.sfu.ca/ojs>.
  8. Вільне програмне забезпечення. Public Knowledge Project URL: [ru.wikipedia.org/wiki/ПКР](http://ru.wikipedia.org/wiki/ПКР).
  9. Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність» URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-19>.
  10. Степура О.С. Використання платформи Open Conference Systems для проведення електронних конференцій на базі вищого навчального закладу. *Освітологічний дискурс*. 2014. № 2. С. 196-200. [http://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/3807/1/I\\_Stepura\\_OD\\_6\\_NDLIO.pdf](http://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/3807/1/I_Stepura_OD_6_NDLIO.pdf).

## **ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ПЛАТФОРМЫ OPEN CONFERENCE SYSTEMS В НАУЧНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Верещага В.М., Павленко А.М., Еремеев В.С.

*Научная и научно-техническая деятельность в учреждениях высшего образования является неотъемлемой составляющей образовательной деятельности и осуществляется с целью интеграции научной, учебной и производственной деятельности в системе высшего образования. Повышение качества научной и научно-технической сферы всегда требует внедрения новых методов и использование новейших технических средств, что, как правило, видит необходимость в значительных материальных затратах. Безусловно, это касается также вопросов лицензирования программного обеспечения. Именно поэтому, большинство учебных заведений, сталкиваются с такой проблемой, рассматривают возможность использования свободного программного обеспечения. Одним из таких свободных проектов, предоставляющих возможность внедрить новейшие подходы к организации научной деятельности, является Open Conference Systems (OCS). OCS является одним из самых распространенных бесплатных инструментов веб-публикации, позволяет значительно повысить качество и удобство проведения научных конференций, а также обеспечивает полную веб-присутствие ее участников.*

*В этой работе проанализированы основные аспекты использования системы открытых конференций, преимущества и целесообразность ее использования в научной деятельности высших учебных заведений. Также приведены результаты анкетирования по проведению конференции по применению системы OCS. Задачи*



*исследования: рассмотрение понятия свободного программного обеспечения; анализ преимуществ использования свободного программного обеспечения; исследования системы открытых конференций Open Conference Systems; исследования процесса интеграции установленной системы в научную деятельность университета; подведение итогов опроса среди участников конференции было проведено средствами OCS.*

*Ключевые слова: программное обеспечение, свободное программное обеспечение, учреждение высшего образования, Open Conference Systems, Linux, Public Knowledge Project.*

## **FEATURES OF THE INTEGRATION OF THE PLATFORM OPEN CONFERENCE SYSTEMS IN THE SCIENTIFIC ACTIVITY OF INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION**

Vereshchaha V., Pavlenko O., Yermeev V.

*Scientific and scientific-technical activity in institutions of higher education is an integral part of educational activities and is carried out with the aim of integrating scientific, educational and production activities in the system of higher education. Improving the quality of the scientific and technological sphere always requires the introduction of new methods and the use of the latest technical means, which, as a rule, sees the need for considerable material costs. Of course, this also applies to software licensing issues. That is why most educational institutions face such a problem, consider the possibility of using free software. One of these free projects, providing the opportunity to introduce the latest approaches to the organization of scientific activity, is the Open Conference Systems (OCS). OCS is one of the most common free tools for web publishing, can significantly improve the quality and convenience of scientific conferences, and also ensures the full web presence of its participants.*

*This paper analyzes the main aspects of using the open conference system, the advantages and feasibility of its use in scientific activities of higher educational institutions. The results of the survey on the implementation of the OCS system are also presented. Research objectives: consideration of the concept of free software; analysis of the benefits of using free software; open conference systems research; Open Conference Systems; research into the process of integrating the installed system into the university's research activities; Summarizing the survey among the conference participants was carried out by means of OCS.*

*Keywords: software, free software, institution of higher education, Open Conference Systems, Linux, Public Knowledge Project.*

УДК 514.18

## ГІПЕРПОВЕРХНІ ТРАЄКТОРІЙ ФАЗОВИХ $n$ -ПРОСТОРІВ

Гумен О.М., д.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна),*

Лясковська С.Є., к.т.н.

*Національний університет «Львівська політехніка» (Україна),*

Мартин Є.В., д.т.н.

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (Україна)*

*У статті викладені основні засади геометричного моделювання процесів багатопараметричних технічних систем. Узагальнюються засоби моделювання траєкторій стану і фазових траєкторій на евклідові багатовимірні фазові простори, зручні у наукових та практичних дослідженнях широкого спектру систем різного походження: технічних, біологічних, соціальних.*

*Розвиток графічних інформаційних технологій, спираючись на міцний фундамент засобів інженерної наукової графіки, потребує вдосконалення базового інструментарію класичної багатовимірної прикладної геометрії. Серед розмаїття застосувань основних її положень слід виділити завдання, пов'язані з дослідженнями динаміки систем різного походження. Використання фазових траєкторій для дослідження динаміки систем реалізується засобами фазової площини багатовимірного простору. Побудова образної геометричної моделі у вигляді 1-багатовиду охоплюючого евклідового  $n$ -простору потребує обґрунтування і вибору геометричного інструментарію для ілюстрації суті його формоутворення з подальшою комп'ютерною візуалізацією.*

*Основна увага приділяється процесам формування траєкторій стану і фазових траєкторій на засадах узагальнення положення про перетин двох поверхонь тривимірного простору, зокрема, двох площин. Запропоновані засоби формування множини фазових траєкторій як гіперповерхні фазового  $n$ -простору. Трактуються основних положень виконано, опираючись на закладений основоположником Української школи багатовимірної геометрії М.С. Гуменом науковий фундамент.*

*Перспективними напрямками розвитку прикладної багатовимірної геометрії є, зокрема, узагальнення теоретичних положень дискретної геометрії С. Ковальова, розвиток геометрії простору параметрів, запропонованого А. Найдишем і розвинутого в дослідженнях В. Комяк. Показана актуальність подальших*

напрацювань в частині дослідження областей параметрів проектуванням відповідних різноманіть в лінійні підпростори вищих розмірностей.

*Ключові слова:* геометричне моделювання, фазові траєкторії, модель, багатопараметричні технічні системи.

**Постановка проблеми.** Розвиток графічних інформаційних технологій, спираючись на міцний фундамент засобів інженерної наукової графіки, вимагає удосконалення базового інструментарію класичної багатовимірної прикладної геометрії. З-поміж розмаїття застосувань основних її положень слід виділити задачі, пов'язані з дослідженнями динаміки систем різного походження. Використання фазових траєкторій для дослідження динаміки систем реалізується засобами фазової площини багатовимірного простору.

Побудова образної геометричної моделі у вигляді 1-багатовиду обхоплюючого евклідового  $n$ -простору потребує обґрунтування і вибору геометричного інструментарію для унаочнення суті його формоутворення з подальшою комп'ютерною візуалізацією.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Узагальнення геометричних образів на багатовиди обхоплюючих евклідових просторів прослідковуємо у працях С. Ковальова [1], дослідженні та розвиненні засобів Балюби-Найдиша числення [2]. Зазначені праці стосуються чисто прикладних сфер практичного використання в частині конструювання технічних форм. Цікавим і перспективним є використання прикладної багатовимірної геометрії у віртуальному вимірі як допоміжний геометричний апарат у вигляді багатовимірного простору параметрів, розвиненого в [3].

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є модельні обґрунтування формоутворення 1-багатовидів  $n$ -просторів щодо формування фазових траєкторій та гіперповерхонь фазових  $n$ -просторів.

Для досягнення поставленої мети слід розв'язати наступні задачі:

- запропонувати модель для обґрунтування процесу формоутворення фазових траєкторій;
- запропонувати графічні інформаційні технології для візуалізації багатовидів фазових  $n$ -просторів.

**Основна частина.** При зростанні вимірності простору збільшується кількість варіантів одержання того чи іншого багатовиду з використанням різної розмірності багатовидів та гіперповерхонь, що перетинаються [1].

Фазова траєкторія визначена у  $n$ -вимірному фазовому просторі усіма  $n$  її параметрами, а також початковими умовами. При постійних

початкових умовах і зміні параметрів (коефіцієнтів) характеристичного рівняння розмірність простору визначається кількістю змінних параметрів. Найменшою є розмірність простору для систем другого порядку при зміні одного параметра з двовимірною поверхнею фазових траєкторій. Розмірність простору зростає пропорційно збільшенню кількості змінних параметрів. Для системи другого порядку такий простір стає шестивимірним при зміні ще двох коефіцієнтів диференціального рівняння.

У значному числі випадків фазові траєкторії можуть бути подані рівнянням, яке справедливе при відомому діапазоні зміни параметрів  $a_i$ . Гіперповерхня може бути описана аналітично за методами [1] і подана проєкціями у двовимірних чи тривимірних площинах.

Побудуємо гіперповерхню фазового простору для системи другого порядку:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + c = 0 \quad (1)$$

з урахуванням початкової умови:  $x = x_0 = 100$  при  $t = 0$ .

Після перетворень рівняння гіперповерхні фазового простору має вигляд:

$$x = \frac{c}{b^2} \left( \frac{|by + c|}{c} + \ln \frac{|by + c|}{c} - 1 \right) + x_0. \quad (2)$$

Криву  $a$ , 1-багатовид чотиривимірного простору  $Oxyz$ , можна також побудувати (рис. 1), використовуючи перетин циліндрів нижчої розмірності.

Виділимо у тривимірному підпросторі, наприклад,  $Oxzt$  двовимірний циліндр  $\Pi_{tx}$  з напрямною  $x = x(t)$  у площині  $Oxt$ , а у тривимірному підпросторі, наприклад,  $Oxzt$  двовимірний циліндр  $\Pi_{tz}$  з напрямною  $z = z(t)$  у площині  $Ozt$ . Обидва двовимірних циліндри мають спільний тривимірний підпростір  $Oxzt$  і, перетинаючись, визначають положення кривої  $a_{txz}$  цього простору. У чотиривимірному просторі крива  $a_{txz}$  є напрямною двовимірного циліндра  $\Pi_{txz}$ , твірні якого паралельні осі  $Oy$  цього простору.

Крива  $y = y(t)$  двовимірної площини проєкцій  $Oyt$  являє собою напрямну одночасно двох двовимірних циліндрів. Для першого циліндра  $\Pi_{tyx}$  твірними слугують прямі, паралельні осі  $Ox$  тривимірного підпростору  $Oxut$ . Для другого циліндра  $\Pi_{tyz}$  твірними слугують прямі, паралельні осі  $Oz$  тривимірного підпростору  $Oyzt$ . Підпростори мають спільну двовимірну площину  $Oyt$  і розташовані у чотиривимірному просторі ортогонально. Отже, напрямні цих циліндрів також взаємно ортогональні.



4-простору виконується, якщо задані три її ортогональні проекції [1] або, наприклад, дві проекції 1-багатovidу, які враховують усі чотири його виміри (рис. 2).

Наукові розробки, які стосуються використання засобів багатовимірної прикладної геометрії враховують властивості подання тих чи інших багатovidів охоплюючого простору. Використання інструментарію прикладної багатовимірної геометрії у прикладних технічних дослідженнях може знайти ширше застосування через обґрунтування їх формоутворення та моделювання.

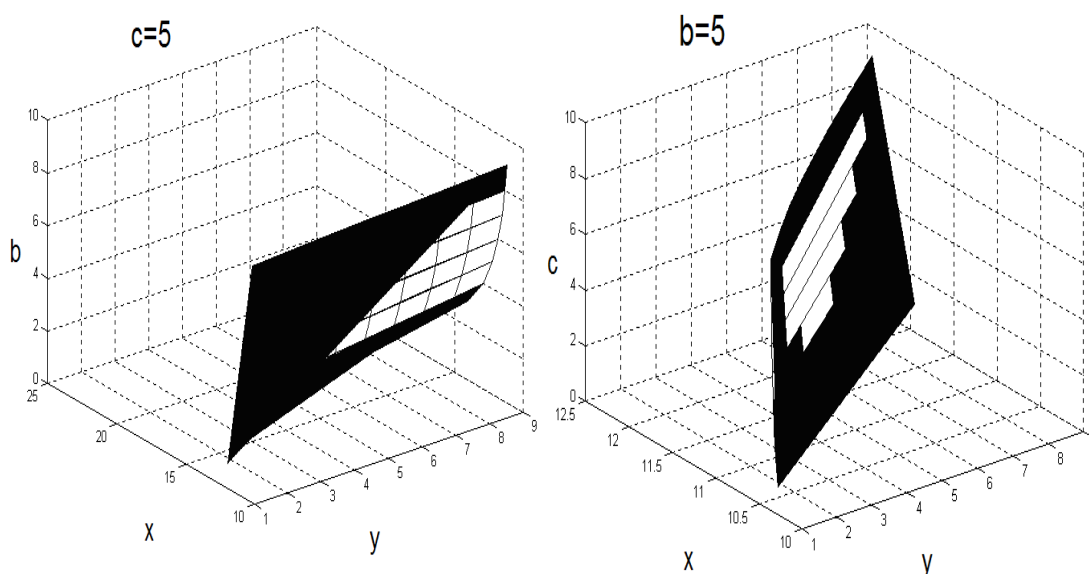


Рис. 2. Переріз гіперповерхні чотиривимірного фазового простору

**Висновки.** Основним фундаментом прикладних застосувань графічних інформаційних технологій [4] є моделі та засоби, запропоновані основоположником Української школи прикладної багатовимірної геометрії М. Гуменом. Перспективними напрямками розвитку прикладної багатовимірної геометрії є, зокрема, узагальнення теоретичних положень дискретної геометрії С.Ковальова, ліній і поверхонь у БН-численні, розвиток геометрії простору параметрів, запропонованого А. Найдишем і розвиненого в розвідках В. Комяк. Показана актуальність подальших напрацювань у частині дослідження областей параметрів проєкціюванням відповідних багатovidів у лінійні підпростори вищих вимірностей.

### **Література**

1. Прикладна геометрія та інженерна графіка / [Ковальов С.М., Гумен М.С. та ін.]. – Луцьк: ЛДТУ, 2006. С. 58-79.
2. Адоньєв Є.О., Верещага В.М., Найдиш А.В. Композиційний метод утворення поверхонь: суть, особливості та перспективи використання у моделюванні багатофакторних процесів. *Зб. тез*

доп. XII Міжн. наук.-пр. конф. «Обухівські читання». К.: НУБіП, 2017. С. 94-99.

3. Данілін О.М., Комяк В.М. Задачі упаковки та розкрою в розв'язанні прикладних задач. Прикладні питання математичного моделювання. 2018. № 2. С. 35-42.
4. Гумен О.М., Лясковська С.Є., Мартин Є.В. Графічні інформаційні технології у підготовці фахівців технологічних спеціальностей. Теорія та методика електронного навчання. Кривий Ріг: Видавничий відділ КМІ, 2013. Вип. IV. С.65-68.

## **ГИПЕРПОВЕРХНОСТИ ТРАЕКТОРИЙ ФАЗОВЫХ n-ПРОСТРАНСТВ**

Гумен Е.Н., Лясковская С.Е., Мартын Е.В.

*В статье изложены основные принципы геометрического моделирования процессов многопараметрических технических систем. Обобщаются средства моделирования траекторий состояния и фазовых траекторий на евклидовы многомерные фазовые пространства, удобные в научных и практических исследованиях широкого спектра систем различного происхождения: технических, биологических, социальных.*

*Развитие графических информационных технологий, опираясь на прочный фундамент средств инженерной научной графики, требует усовершенствования базового инструментария классической многомерной прикладной геометрии. Среди разнообразия применений основных ее положений следует выделить задачи, связанные с исследованиями динамики систем различного происхождения. Использование фазовых траекторий для исследования динамики систем реализуется средствами фазовой плоскости многомерного пространства. Построение образной геометрической модели в виде 1-многообразия охватывающего евклидова n-пространства требует обоснования и выбора геометрического инструментария для иллюстрации сути его формообразования с последующей компьютерной визуализацией.*

*Основное внимание уделяется процессам формирования траекторий состояния и фазовых траекторий на основе обобщения положения о пересечении двух поверхностей трехмерного пространства, в частности, двух плоскостей. Предложены средства формирования множества фазовых траекторий как гиперповерхности фазового n-пространства. Трактовки основных положений выполнено, опираясь на заложенный основателем Украинской школы многомерной геометрии Н. Гуменом научный фундамент.*

*Перспективными направлениями развития прикладной многомерной геометрии являются, в частности, обобщение*

*теоретических положений дискретной геометрии С. Ковалева, развитие геометрии пространства параметров, предложенного А.Найдышем и развитого в исследованиях В. Комяк. Показана актуальность дальнейших работ в части исследования областей параметров проецированием соответствующих многообразий в линейные подпространства высших размерностей.*

*Ключевые слова: геометрическое моделирование, фазовые траектории, модель, многопараметрические технические системы.*

## **HYPERSURFACES OF PHASE $n$ -SPACES TRAJECTORIES**

Gumen O., Ljaskovska S., Martyn Ye.

*The article outlines the basic principles of geometric modeling of processes of multiparameter technical systems. The means of simulating state trajectories and phase trajectories for Euclidean multidimensional phase spaces, which are convenient in scientific and practical researches of a wide spectrum of systems of various origin: technical, biological, and social, are generalized.*

*The development of graphic information technology, based on the solid foundation of engineering scientific graphics, requires the improvement of basic tools of classical multidimensional applied geometry. Among the diversity of applications of its main provisions should be assigned tasks related to the study of the dynamics of systems of different origins. The use of phase trajectories to study the dynamics of systems is realized by means of the phase plane of multidimensional space. The construction of a figurative geometric model in the form of a 1-manifold of enveloping Euclidean  $n$ -space requires the justification and choice of a geometric toolkit to reveal the essence of its formation with subsequent computer visualization.*

*The main attention is paid to the processes of formation of state trajectories and phase trajectories on the basis of the generalization of the position on the intersection of two surfaces of a three-dimensional space, in particular two planes. The means of forming a plurality of phase trajectories as hyper-surfaces of the phase  $n$ -space are proposed. Basic provisions interpretation is made on the basis of the Ukrainian school of multidimensional geometry founder M. Gumen scientific foundation.*

*The perspective directions of the development of applied multidimensional geometry are, in particular, the generalization of the theoretical positions of discrete geometry by S. Kovalev, the development of the geometry of the parameters of space proposed by A. Naydysh and developed in the works of V. Komyak. The actuality of further developments in the part of parameter regions study by projection of the corresponding manifolds into linear subspaces of higher measurements is shown.*

*Key words: geometric modeling, phase trajectories, model, multiparameter technical systems.*



УДК 004.93

## **ЗІСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ПОШУКУ НАЙБЛИЖЧИХ СУСІДІВ В ПРОСТОРИ ПАРАМЕТРІВ**

Дашкевич А.О., к.т.н.,

Шоман О.В., д.т.н.

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут» (Україна)*

*В задачах комп'ютерного зору та обробки зображень часто виникає необхідність проведення процесу зіставлення точок двох зображень, наприклад, для пошуку об'єктів на зображеннях або для відновлення тривимірних геометричних моделей сцени. В той же час, не існує загального методу визначення чітких точкових відповідностей на зображеннях.*

*В роботі запропоновано підхід до визначення пар ключових точок на зображеннях на основі розбиття простору параметрів на регулярну сітку і представлення такої сітки в вигляді просторової хеш-таблиці для прискорення пошуку. Підхід дозволяє визначати стійкі пари ключових точок на двох зображеннях, що дозволяє його використання в задачах стереозору для відновлення тривимірних моделей поверхонь і для пошуку об'єктів на зображеннях.*

*Представлений підхід складається з наступних кроків: визначення ключових точок з використанням дескрипторів; зіставлення ключових точок на основі побудови двовимірного простору параметрів, який формується з розміру і кута орієнтації дескриптора; розбиття простору параметрів на регулярну сітку; побудова хеш-таблиці на основі сітки, в якості значень в комірках хеш-таблиці містяться кількість пар ключових точок з близькими значеннями розміру і орієнтації дескриптора, що відповідають даній комірці; пошук в хеш-таблиці комірки, що міститиме найбільшу кількість точок, така комірка відповідатиме найбільш стійким відповідностям ключових точок на зображеннях. Представлений алгоритм може бути розширений для роботи з довільною кількістю параметрів. Запропонований алгоритм дозволяє проводити зіставлення ключових точок на зображеннях за час  $O(n)$ .*

*Ключові слова: ключові точки, зіставлення зображень, простір параметрів, дескриптор, розбиття на регулярну сітку, просторові хеш-таблиці, стереозір.*

**Постановка проблеми.** В задачах комп'ютерного зору та обробки зображень часто виникає необхідність проведення процесу зіставлення двох зображень, наприклад, для пошуку об'єктів на зображеннях або для відновлення тривимірних геометричних моделей сцени. Для ефективного розв'язання таких задач необхідно визначити стійкі пари ключових точок на вхідних зображеннях, такий процес може бути представлений як послідовність наступних кроків:

- пошук ключових точок на двох вхідних зображеннях;
- зіставлення знайдених ключових точок та формування пар точок, що належать однаковим об'єктам.

Задача пошуку ключових точок на даний час може бути доволі ефективно розв'язана з використанням таких алгоритмів, як scale-invariant feature transform (SIFT) [1], speeded up robust features (SURF) [2], oriented FAST and rotated BRIEF (ORB) [3], методів на основі штучних нейронних мереж [4] та ін. В той же час, не існує загального методу визначення чітких точкових відповідностей на зображеннях. В зв'язку з цим існує необхідність розробки методів визначення стійких відповідностей ключових точок на зображеннях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для пошуку відповідностей ключових точок на зображеннях найчастіше використовують спеціальні просторові структури даних, наприклад kd-дерева [5, 6], BSP-дерева [7, 8], R-дерева [9] або алгоритми просторового хешування [10]. Реалізація вказаних методів міститься в бібліотеці fast library for approximate nearest neighbor (FLANN) [11], яку можливо застосовувати для зіставлення ключових точок.

Основними підходами до зіставлення є:

- прямий підхід (метод грубої сили) – побудова матриці відстаней від усіх ключових точок одного зображення до усіх ключових точок другого зображення, але часова складність такого підходу складає  $O(n^2)$ , що не дає змогу використовувати його у випадках, коли кількість ключових точок завелика;
- оптимізований підхід з використанням просторових структур даних, в якому ключові точки обох множин організуються в єдину структуру і пошук відбувається за час  $O(n \log n)$  з використанням дерев і за  $O(n)$  з використанням просторового хешування, але в деяких випадках обидва підходи дають складність в найгіршому випадку  $O(n^2)$ .

В роботі [10] запропоновано підхід до визначення стійких пар ключових точок на сусідніх кадрах відео послідовності за умови відносного руху сцени між кадрами. Недоліком зазначеного підходу є те, що ефективно зіставлення можливе лише за умови руху сцени відносно камери, тобто придатне тільки для роботи з відео-матеріалами і не може бути застосовано для довільних зображень

або зображень тієї ж сцени, але виконаних в різний час, або зі значним відносним рухом між кадрами. Інший недолік – зіставлення ключових точок відбувається в два етапи, що зменшує часову ефективність алгоритму, тому, необхідною є побудова алгоритму без попереднього зіставлення точок.

**Формулювання цілей статті.** Розробка методу зіставлення ключових точок на зображеннях на основі розбиття простору параметрів дескрипторів зображень на регулярну сітку і пошуку найближчих сусідів на такій сітці.

**Основна частина.** В представленій роботі запропоновано розвиток підходу з [10]. Наведемо основні кроки алгоритму [10]:

- 1) визначення ключових точок з використанням дескрипторів ORB (або SIFT);
- 2) початкове зіставлення ключових точок з використанням бібліотеки FLANN;
- 3) побудова двовимірного простору параметрів, який формується з напрямку вектора руху ключової точки між кадрами та модуля такого вектора;
- 4) розбиття простору параметрів на регулярну сітку – гіперкуб, з розмірністю  $t \times t$ , де  $t$  – кількість клітин сітки вздовж кожної вісі в просторі параметрів;
- 5) побудова хеш-таблиці на основі сітки, в якості значень в комірках хеш-таблиці місяться кількість пар ключових точок з близькими значеннями напрямку вектору руху і його модуля, що відповідають даній комірці;
- 6) пошук в хеш-таблиці комірки, що міститиме найбільшу кількість точок, така комірка відповідатиме переважному напрямку руху ключових точок між кадрами.

Пропонується проводити зіставлення на етапі отримання дескрипторів (1), що дозволить позбавитись кроку (2). Кожний дескриптор ключової точки має такі основні параметри:

$p(x, y)$  – координати положення точки на зображенні;

$s$  – діаметр (розмір) дескриптору;

$\alpha$  – кут орієнтації дескриптору;

$r$  – ваговий коефіцієнт дескриптору;

$o$  – номер октави даного дескриптору.

Визначальними параметрами є розташування, діаметр і орієнтація ключової точки, але для досягнення інваріантності до паралельного перенесення пропонується використання тільки  $s$  та  $\alpha$  для формування простору параметрів. Надалі проводиться дискретизація (рис. 1) і робота алгоритму відбувається згідно з кроками 3)–6).

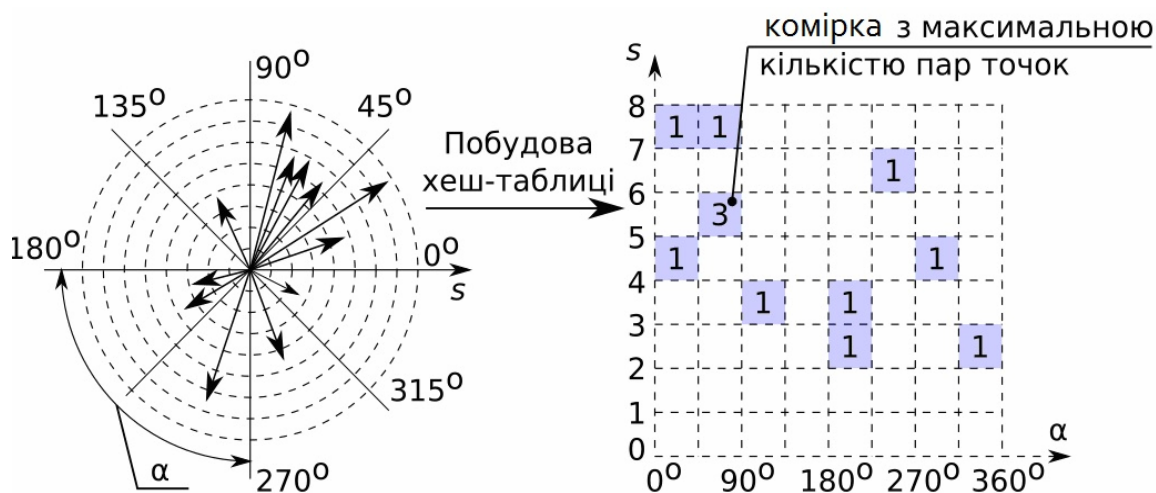


Рис. 1. Схема дискретизації простору параметрів

На рис. 2 представлено результат зіставлення ключових точок для двох зображень з використанням бібліотеки FLANN та за запропонованим підходом. Можна побачити, що результатом роботи алгоритму є менша кількість пар точок, але результат є більш коректним на відміну від зіставлення з FLANN.

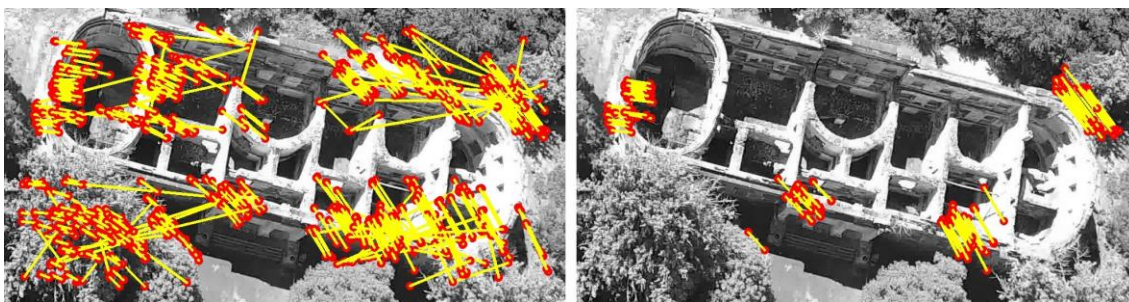


Рис. 2. Візуалізація роботи алгоритму

**Висновки.** Запропонований алгоритм дозволяє проводити зіставлення ключових точок на зображеннях за час  $O(n)$  в середньому. Алгоритм може бути використаний для пошуку об'єктів на зображеннях і для відновлення тривимірної моделі сцени методами стереозору і структури із руху. До недоліків можна віднести невелику кількість використаних параметрів в процесі дослідження, але алгоритм можливо розширювати для роботи з довільною кількістю параметрів.

### *Література*

1. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features. Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision. IEEE, Kerkyra, Greece, 1999. Vol. 2. P. 1150–1157.
2. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L SURF: Speeded Up Robust Features. Computer Vision – ECCV 2006. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2006. P. 404–417.
3. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. *International Conference on Computer Vision*. IEEE, Barcelona, Spain, 2011. P. 2564–2571.
4. Riegler G., Ulusoy A. O., Bischof H., Geiger A. OctNetFusion: Learning Depth Fusion from Data. International Conference on 3D Vision (3DV). IEEE, Qingdao, 2017. P. 57–66.
5. Bentley J.L. Multidimensional Divide and Conquer. *Communications of the ACM*, 1980. Vol. 23. Is. 4. P. 214–229.
6. Friedman J.H., Bentley J. L., Finkel R. A. An algorithm for finding best matches in logarithmic expected time. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 1977. Vol. 3. Is. 3. P. 209–226.
7. de Berg M. Computational Geometry: Algorithms and Applications Springer Science & Business Media, 2008. P. 259.
8. Castelli V, Lawrence D. . Image Databases: Search and Retrieval of Digital Imagery. John Wiley & Sons, 2004. P. 422.
9. Guttman A. R-Trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching. Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 1984. P. 47–57.
10. Дашкевич А.А., Воронцова Д. В. , Скоробогатько Н. В. Алгоритм поиска устойчивых соответствий пар ключевых точек на изображениях и картах глубины. *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПИ», 2019. № 5 (1330). С. 86–90.
11. Muja M., Lowe D. G. Fast Approximate Nearest Neighbors with Automatic Algorithm Configuration. *International Conference on Computer Vision Theory and Application (VISSAPP'09)*. INSTICC Press, 2009. P. 331–340.

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕ ПАРАМЕТРОВ**

Дашкевич А.А., Шоман О.В.

*В задачах компьютерного зрения и обработки изображений часто возникает необходимость проведения процесса сопоставления точек двух изображений, например, для поиска объектов на изображениях или для восстановления трёхмерных геометрических моделей сцены. При этом не существует общего метода определения устойчивых точечных соответствий на изображениях.*

*В работе предложен подход к определению пар ключевых точек на изображениях на основе разбиения пространства параметров на регулярную сетку и представления такой сетки в виде пространственной хеш-таблицы для ускорения поиска. Подход позволяет определять устойчивые пары ключевых точек на двух изображениях, что позволяет использовать его в задачах стереозрения для восстановления трёхмерных моделей поверхностей и для поиска объектов на изображениях.*

*Представленный подход состоит из последовательности шагов: определение ключевых точек с использованием дескрипторов; сопоставление ключевых точек на основе построения двумерного пространства параметров, которое формируется из размера и угла ориентации дескриптора; разбиение пространства параметров на регулярную сетку; построение хеш-таблицы на основе сетки, в качестве значений в ячейках хеш-таблицы содержатся количества пар ключевых точек с близкими значениями размера и ориентации дескрипторов, которые соответствуют данной ячейке; поиск в хеш-таблице ячейки с наибольшим количеством точек, такая ячейка будет соответствовать наиболее устойчивым сочетаниям ключевых точек на изображениях. Представленный алгоритм может быть расширен для работы с произвольным числом параметров и позволяет проводить сопоставление ключевых точек на изображениях за время  $O(n)$ .*

*Ключевые слова: ключевые точки, сопоставление изображений, пространство параметров, дескриптор, разбиение на регулярную сетку, пространственные хеш-таблицы, стереозрение.*

## **IMAGE MATCHING BASED ON NEAREST NEIGHBOR SEARCH IN PARAMETER SPACE**

Dashkevich A., Shoman O.

*In tasks of computer vision and image processing, it is often necessary to carry out the process of comparing points of two images, for example, to search for objects in images or to restore three-dimensional geometric models of the scene. At the same time, there is no common method for determining stable point correspondences in images.*

*An approach to determine of key point pairs in the images based on a subdivision of parameter space into regular grid and building a spatial hash table over the grid is proposed. Approach, that is developed, provides to determine strong key point pairs in two images, which makes possible to use it in the stereovision problems to surface reconstruction and for object search in the images.*

*The presented approach consists of a sequence of steps: defining key points using descriptors; matching key points based on the construction of a two-dimensional parameter space, which is formed from the size and orientation angle of the descriptor; partitioning the parameter space into a regular grid; constructing a hash table based on the grid; the values in the cells of the hash table contain the number of pairs of key points with similar values of the size and orientation of the descriptors that correspond to this cell; searching in the hash table of the cell with the greatest number of points, such a cell will correspond to the most stable combinations of key points in the images.*

*The presented algorithm can be extended to work with an arbitrary number of parameters and allows for the mapping of key points on images with a time complexity of  $O(n)$ .*

*Key words: key points, image matching, parameter space, descriptor, subdivision into regular grid, spatial hash-tables, stereovision.*

УДК 514.182

## ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ СПОСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ ГРАФІЧНИХ РОБІТ СТУДЕНТІВ

Залевський С.В., к.т.н.,

Пелеванюк І.Д.

*Національний технічний університет України "Київський  
політехнічний інститут ім. І. Сікорського" (Україна)*

*В роботі розглядаються питання необхідності впровадження засобів дистанційного навчання для урізноманітнення можливостей спілкування викладачів і студентів.*

*Досліджуються вплив розвитку сучасних інформаційних технологій на організацію та проведення навчального процесу в системі вищої освіти.*

*Наводиться визначення поняття дистанційного навчання, перелічені основні способи його проведення та переваги по відношенню до традиційних методів співпраці викладача і студента.*

*В роботі розглянуто особливості впровадження нових технологій передачі інформації для проведення контролю виконання студентами технічних спеціальностей самостійних робіт.*

*Запропоновано засіб уніфікації форматів представлення графічної інформації для надання викладачу можливості вільно обирати засіб її обробки, користуючись найбільш зручним варіантом.*

*Наведено приклад діалогу і розглянуті переваги, які дає така організація інтерактивного спілкування викладача і студента. Відмічаються нові можливості такого підходу з точки зору забезпечення гнучкості проведення індивідуальних консультацій.*

*Для проведення інтерактивного діалогу та індивідуального віддаленого контролю якості виконання студентами технічних спеціальностей самостійних робіт пропонується застосування месенджерів, як можливих способів дистанційного навчання, що в змозі забезпечити високу мобільність учасників діалогу.*

*Ключові слова: дистанційне навчання, індивідуальна робота, інтерактивна консультація, інженерна графіка, електронна пошта, передача інформації, контроль якості.*

**Постановка проблеми.** Необхідність розвитку дистанційного навчання для надання студентам можливості самостійної роботи при інтерактивній взаємодії з викладачем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В переважній





Під час дистанційного навчання використовують різноманітні елементи: дистанційні курси, веб – сторінки і сайти, електронна пошта, форуми і блоги, ICQ та інше.

В даній роботі дається спроба використання засобів дистанційного навчання для підвищення якості виконання студентами технічних спеціальностей самостійних робіт з курсу «Нарисна геометрія та інженерна графіка». Основною метою є забезпечення індивідуального підходу, гнучкості, простоти та максимальної інформаційності при здійсненні віртуального діалогу викладача зі студентом, можливість ефективного контролю виконання графічних робіт, представлених у вигляді кресленика. Питання передачі інформації вирішується достатньо легко, коли в навчальній програмі передбачено комп'ютерний практикум. В цьому випадку роботи виконуються в одному графічному пакеті з приблизно однаковим рівнем підготовки студентів. На жаль, на практиці існують програми, що не передбачають лабораторних годин. В сучасних умовах викладач не може обмежувати бажання студентів виконувати роботи в зручному для них графічному пакеті чи будувати кресленики вручну. Це значно ускладнює питання прийому та обробки надісланої інформації. Для вирішення цієї проблеми пропонується наступний підхід. Студенти конвертують графічні файли у формат PDF. Можливість такого перетворення закладена у всіх сучасних пакетах комп'ютерної графіки і не потребує великих витрат часу чи особливих навичок. Роботи, виконані за допомогою звичайних креслярських інструментів, надсилаються у вигляді скан чи фото копій. Така уніфікація форматів надсилаємої інформації надає можливість викладачу вільно обирати засіб її обробки, користуючись найбільш зручним варіантом. Особисто автор використовував інтеграцію отриманих файлів в текстовий редактор Word. На рис 1, 2 наведено приклад отриманої графічної роботи і відісланої студенту відповіді. Маркери помилок можна урізноманітнювати за типом фігури, кольором, типом лінії і т. ін.

З точки зору витрати часу наведений спосіб дистанційної перевірки студенських робіт не суттєво відрізняється від традиційного діалогу під час практичного заняття чи консультації. До безумовних переваг такого підходу при проведенні контролю якості виконання робіт можна віднести:

- економію часу на традиційних консультаціях;
- відсутність необхідності синхронизації розкладів;
- можливість викладачу висвітлити максимальну кількість зауважень і в зручній формі надати посилання на додаткові джерела інформації;

- змогу отримати відповіді на питання студентам, які не можуть особисто відвідати звичайну консультацію.

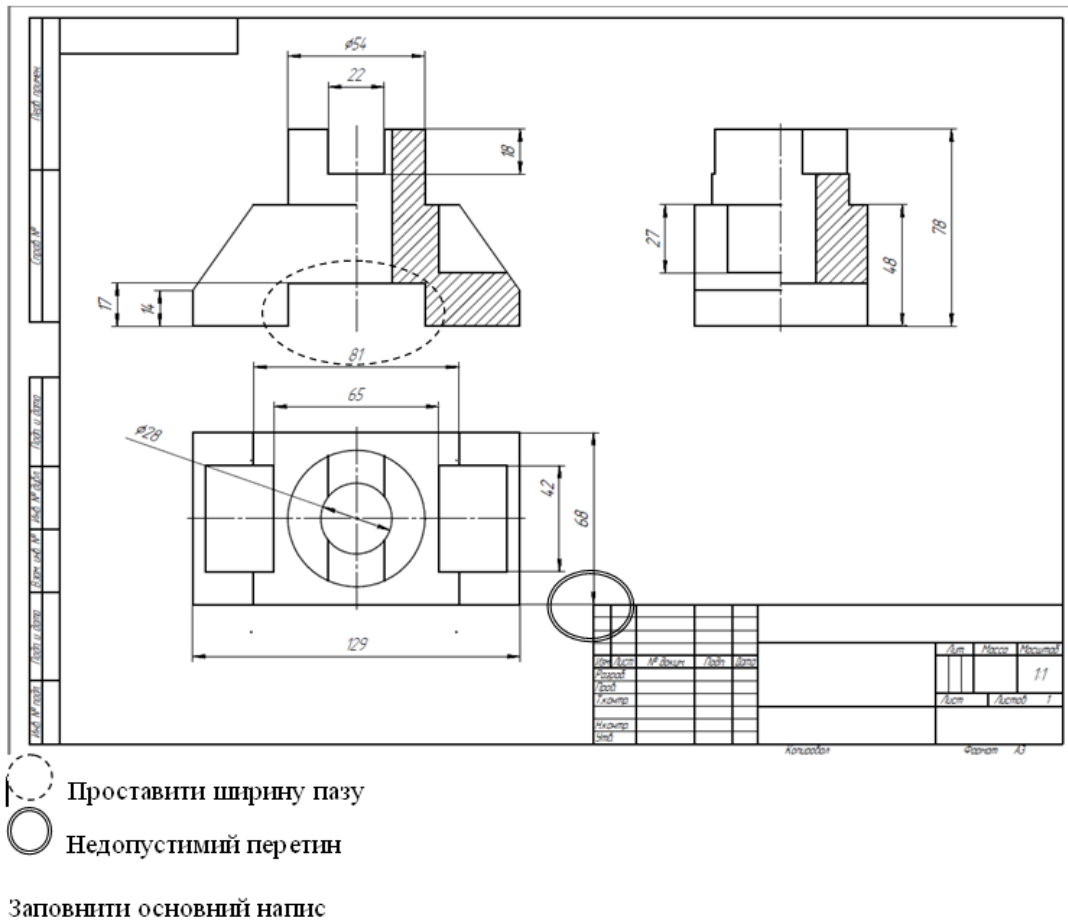


Рис 2. Лист викладача

При проведенні дистанційного контролю самостійної роботи достатньо зручним засобом є використання месенджерів (Viber, WhatsApp та ін), які забезпечуються тільки можливостями мобільного інтернету і роблять фактично необмеженою географію розташування учасників діалогу.

**Висновки.** Запропоновано спосіб проведення дистанційного контролю самостійної роботи студентів технічних спеціальностей курсу «Нарисна геометрія, інженерна графіка».

### Література

1. Самойленко О.М., Бацуровська І.В. Технології дистанційного навчання у вищій освіті. VI Международная научно-практическая Интернет-конференция «Альянс наук: ученый – ученому», Миколаїв 2011р.

2. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні [ Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://194.44.29.29/Files/PublicItems/FldDoc/7/Distance.doc>
3. Дичківська І.М. Інноваційні педагогічні технології. К.: Академвидав, 2004. 352 с.
4. Кухаренко В.М., Рибалко О.В., Сиротенко Н.Г. Дистанційне навчання: Умови застосування. Дистанційний курс: Навч. посібник: 2-е вид., доп. Харків: НТУ «ХПІ», «Торсінг», 2001. 320 с.
5. Трайнев В.А. Гуркин В.Ф., Трайнев О.В. Дистанционное обучение и его развитие. 2-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация « Дашков и К», 2008. 294 с.

### **К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ СТУДЕНТОВ**

Залевский С.В., Пелеванюк И.Д.

*В работе рассматриваются вопросы необходимости внедрения средств дистанционного обучения как средства разнообразить возможности общения преподавателей и студентов. Исследуются влияние стремительного развития современных информационных технологий на организацию и проведение учебного процесса в системе высшего образования. Приводится определение понятия дистанционного обучения, перечислены основные способы его проведения и преимущества по отношению к традиционным методам сотрудничества преподавателя и студента.*

*В работе рассмотрены особенности внедрения новых технологий передачи информации для проведения контроля выполнения студентами технических специальностей самостоятельных работ.*

*Предложен подход унификации форматов передачи графической информации для предоставления преподавателю возможности свободно выбрать способ ее обработки, пользуясь наиболее удобным вариантом.*

*Приведен пример диалога и рассмотрены преимущества, которые дает такая организация интерактивного общения преподавателя и студента. Отмечаются новые возможности такого подхода с точки зрения обеспечения гибкости проведения индивидуальных консультаций.*

*Для проведения интерактивного диалога и индивидуального удаленного контроля качества выполнения студентами технических*

*специальностей самостоятельных работ предлагается применение мессенджеров, как возможного способа дистанционного обучения, который в состоянии обеспечить высокую мобильность участников диалога.*

*Ключевые слова: дистанционное обучение, индивидуальная работа, интерактивная консультация, инженерная графика, электронная почта, передача информации, контроль качества.*

## **TO THE APPLICATION OF DISTANCE LEARNING METHODS TO CONTROL STUDENTS 'GRAPHIC WORKS**

Zalevsky S., Pelevanuk I.

*The paper considers the need for the introduction of distance learning tools as a way to diversify the opportunities for communication between teachers and students.*

*The influence of the rapid development of modern information technologies on the organization and conducting of educational process in the system of higher education is researched.*

*The definition of the concept of distance learning, listed on the main methods of its implementation and advantages in relation to traditional methods of cooperation between the teacher and the student is presented.*

*In the article the peculiarities of the introduction of new information transfer technologies for the control of students' performance of technical specialties of independent work are considered.*

*The method of unification of graphic information representation formats is offered for giving the teacher the opportunity to freely choose the means of its processing, using the most convenient option.*

*An example of such a dialogue is presented and the advantages given by such an arrangement of interactive communication between a teacher and a student are considered. New possibilities of such an approach are noted in terms of providing flexibility for conducting individual consultations.*

*For conducting an interactive dialogue and individual remote monitoring of the quality of the implementation by students of technical specialties of independent works, the use of messengers is suggested as possible ways of distance learning, which is able to ensure the high mobility of the participants in the dialogue.*

*Keywords: distance learning, individual work, interactive consultation, engineering graphics, e-mail, information transfer, quality control.*

УДК 515.2

**МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКРИТТЯ У НЕВАГОМОСТІ  
КАРКАСУ ПАРАБОЛІЧНОЇ АНТЕНИ  
З НАПЕРЕД ЗАДАНОЮ ФОКУСНОЮ ВІДСТАННЮ**

Запольський Л.Л. , к.т.н.

*Український науково-дослідний інститут цивільного захисту  
(м. Київ, Україна),*

Шевченко С.М.

*Національний університет цивільного захисту України  
(м. Харків, Україна)*

*В даній роботі продовжено дослідження, розпочаті в статті [1]. Стаття присвячена геометричному моделюванню можливого способу розкриття космічних антен параболічного типу, які встановлюються на космічних апаратах різного призначення. Адже перспективи розвитку радіоастрономії, сонячної енергетики, космічного зв'язку, дослідження земної поверхні та інших планет з космосу в даний час безпосередньо пов'язані з можливістю виведення в космос великогабаритних конструкцій.*

*Розглянуто геометричну модель розкриття в умовах невагомості каркасу параболічної антени з наперед визначеною фокусною відстанню з використанням стержневої конструкції, подібної чотирьохланковому маятнику. Переміщення ланок конструкції відбуваються завдяки дії імпульсів піротехнічних двигунів на кінцеві точки ланок.*

*Актуальність теми визначається необхідністю удосконалення та дослідження нових технологічних схем розкриття каркасів космічних інфраструктур. У тому числі каркасів параболічних антен, елементами яких є сім'я подібних співфокусних парабол, одержаних обертанням з певним кутовим кроком навколо спільної осі. Визначено параметри та початкові умови запуску руху чотириланкової стержневої конструкції з метою одержання необхідного розташування ланок. Показано, що для впровадження варіантів інерційного розкриття необхідно застосувати комплект уніфікованих піротехнічних пристроїв, величини імпульсів яких визначаються координатами вектора  $U'$ . Результати призначено для геометричного моделювання варіантів розкриття чотириланкових стержневих конструкцій в умовах невагомості.*

*Ключові слова: чотириланкова стержнева конструкція, розкриття у невагомості, сім'я однакових співфокусних парабол, каркас параболічної антени*

**Постановка проблеми.** У більшості випадків рефлекторні антени космічного базування складаються з жорсткого каркасу, який після доставки на орбіту необхідно трансформувати і тим самим надати йому розраховану форму конструкції. Компоненти великогабаритних космічних стержневих конструкцій доставляються на орбіту у згорнутому вигляді [2]. При реалізації розкриття чотириланкової стержневої конструкції у невагомості виникає проблема вибору способів активації її руху. В якості засобів ініціювання розкриття пропонується використовувати імпульсні реактивні двигуни (типу піропатронів [3]), встановлених на кінцевих точках ланок стержневої конструкції. Адже піротехнічні пристрої набагато легші і дешевші порівняно з засобами ініціювання розкриття конструкції, такими, як електродвигуни або пружинні пристрої з термопам'яттю [4]. Це вказує на доцільність дослідження моделі розкриття каркасу параболічної антени в умовах невагомості з використанням стержневих конструкцій з імпульсними двигунами на кінцевих точках їх ланок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На практиці застосовують каркасні тросові системи розкриття, де за допомогою електродвигунів та тросів здійснюється синхронізація зміни величин кутів між суміжними ланками [5, 6]. Але застосування тросової системи розкриття на практиці обмежено розмірами конструкції та необхідністю синхронізувати дію електродвигунів, що є самостійною задачею при великій кількості ланок. Робота [7] присвячена методу розрахунку розкриття великогабаритних конструкцій з використанням програмних комплексів MSC.Software. В роботі [8] наведено приклад розрахунку розкриття за допомогою комплексу автоматизованого динамічного аналізу багатокомпонентних механічних систем EULER. Але зазначені програмні продукти не розраховані без відповідних надбудов на реалізацію інерційного способу розкриття багатоланкових конструкцій. В роботі [9] наведено результати, які одержано попередньо на тему даної роботи.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка геометричної моделі процесу розкриття в умовах невагомості каркасу параболічної антени з наперед визначеною фокусною відстанню. При цьому мають використовуватися стержневі конструкції, аналогічні чотирьохланковому маятнику, а також ініціювання руху конструкції повинно здійснюватися з використанням імпульсних піротехнічних реактивних двигунів, встановлених на кінцевих точках ланок конструкції.

**Основна частина.** Побудову виконуватимемо на уявній площині з декартовими координатами  $Oxy$ , на якій в умовах невагомості має переміщуватися чотириланкова стержнева конструкція. Вона складатиметься з чотирьох невагомих нерозтяжних стержнів довжин

$L_1, L_2, L_3$  і  $L_4$ , шарнірно з'єднаних між собою вузловими циліндричними шарнірами з масами  $m_1, m_2, m_3$  і  $m_4$ . Рух без тертя у циліндричних шарнірах забезпечує переміщення вантажів лише у межах обраної уявної площини.

Початок першої ланки стержневої конструкції збігається з початком координат  $O$ . У якості напрямку відліку оберемо вісь  $Oy$ . Узагальненими координатами вважатимемо кути  $u_1(t), u_2(t), u_3(t)$  і  $u_4(t)$ , утворені на площині відповідними ланками з напрямком відліку (рис. 1).

Запуск руху стержневої конструкції у невагомості здійснюється шляхом вибору величин імпульсів, наданих кожному з кутів відхилень. Наприклад,  $\mathbf{U}' = \{u_1'(0), u_2'(0), u_3'(0), u_4'(0)\}$  означає, що  $i$ -тому вантажу масою  $m_i$  надано імпульс величиною  $m_i u_i'(0)$ , ( $i=1..4$ ). Тобто кутам розкриття  $u_i(t)$  надано початкові швидкості  $u_i'(0)$ , ( $i=1..4$ ). З врахуванням наданої реактивними двигунами миттєвих швидкостей  $u_1'(0), u_2'(0), u_3'(0)$  і  $u_4'(0)$ , стержнева конструкція далі має розкриватися за інерцією. Кожний піротехнічний двигун (типу піропатрона) повинен забезпечити розраховану величину імпульсу. Реактивні двигуни повинні закріплюватися так, щоб їх дії були спрямовані по нормалі до відповідної ланки в площині розкриття.

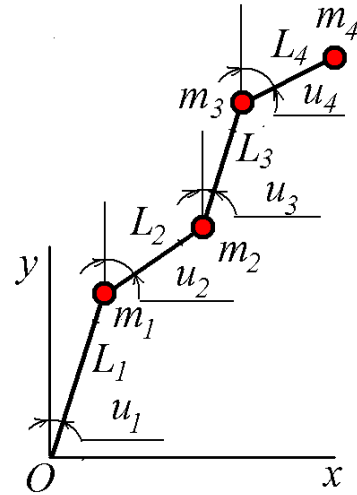


Рис. 1. Схема чотириланкової стержневої конструкції

При розрахунках слід враховувати координати таких векторів: довжин ланок стержневої конструкції:  $\mathbf{L} = \{L_1, L_2, L_3, L_4\}$ ; значень мас вантажів (шарнірів):  $\mathbf{m} = \{m_1, m_2, m_3, m_4\}$ ; значень початкових кутів відхилень:  $\mathbf{U} = \{u_1(0), u_2(0), u_3(0), u_4(0)\}$ , а також значень початкових швидкостей, наданих кутам відхилень  $\mathbf{U}' = \{u_1'(0), u_2'(0), u_3'(0), u_4'(0)\}$ . Всі значення параметрів в умовних величинах.

Враховуючи обчислені координати вузлів як функції в часі, побудуємо кадри комп'ютерної анімації процесу розкриття з наперед заданою фокусною відстанню. В результаті спостереження за процесом розкриття обираємо момент часу  $t=t_0$  зупинки розкриття та визначаємо параметри стоп-коду  $\mathbf{U}_{\text{STOP}} = \{u_1(t_0), u_2(t_0), u_3(t_0), u_4(t_0)\}$ . Враховуючи, що багатоланкову стержневу конструкцію на орбіту доставляють у складеному вигляді (наочно це нагадує побутовий метр у складеному стані), то вектор значень початкових кутів відхилень матиме координати  $\mathbf{U} = \{\pi/2, -\pi/2, \pi/2, -\pi/2\}$ .

Для формування каркасу квазіпараболоїда (названо для коректності) з фокусною відстанню  $3$  обрано однакові довжини ланок  $\mathbf{L} = \{3, 3, 3, 3\}$ . На кінцеві точки ланок механізмів передбачено



впливати піротехнічними пристроями, величини імпульсів яких визначаються координатами вектора  $U'=\{0.25, 2, 1.45, 2.53\}$  та маси в вузлах  $M'=\{1, 1, 0.8, 1.53\}$ , для параболи з фокусом ;4 координати вектора будуть  $U'=\{0.2, 1.9, 1.45, 2.55\}$  та маси в вузлах  $M'=\{1, 1, 0.7, 1.97\}$ . Значення всіх параметрів в умовних величинах, рис. 2 та рис 3.

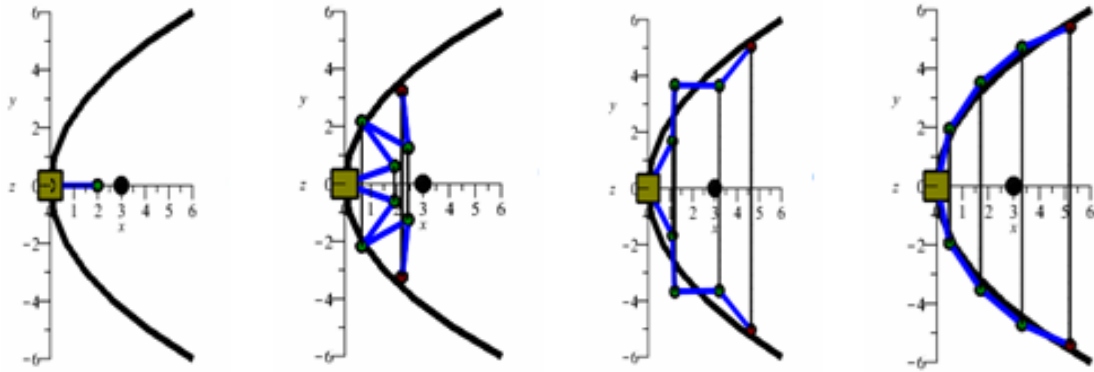


Рис. 2. Деякі кадри розкриття схеми квазіпараболи з фокусною відстанню 3 умовні одиниці

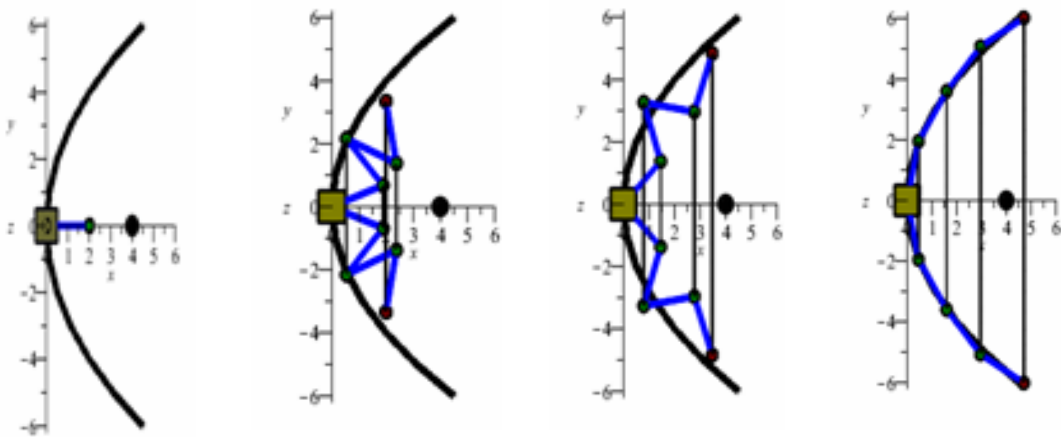


Рис. 3. Деякі кадри розкриття схеми квазіпараболи з фокусною відстанню 4 умовні одиниці

На рис. 4 зображено форму каркасу квазіпараболіада, утворену обертанням навколо осі  $Ox$  квазіпарабол, одержаних на рис. 2 і 3.

До переваг піротехнічних пристроїв, на яких базується запропонована схема розкриття багатоланкової стержневої конструкції, слід віднести: малу вагу і дешевизну; можливість налаштування на розраховану величину імпульсу; стійкість до перевантажень в процесі доставки на орбіту; не потребують розконсервування та тестування перед запуском розкриття конструкції; можливість активізації дії дистанційно за допомогою радіосигналів або рентгенівського випромінювання.

**Висновки.** За допомогою анімації можна визначити взаємне розташування елементів чотириланкових конструкцій, які наближають квазіпараболоїд з наперед визначеною фокусною відстанню.

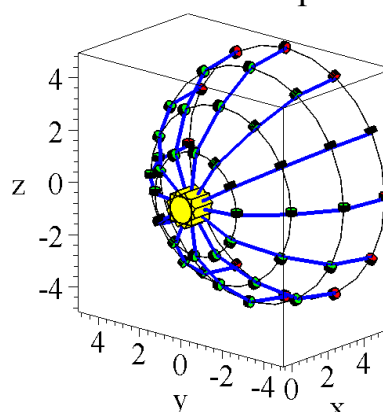


Рис. 4. Конструкція, яка наближає форму квазіпараболоїда

### Література

1. Куценко Л.М., Запольський Л.Л. Моделювання розкриття у невагомості каркасу параболічної антени за допомогою чотириланкової стержневої конструкції. *Сучасні проблеми моделювання. Збірник наукових праць. МДПУ ім. Б. Хмельницького*. Мелітополь, 2018. Вип. 13. С. 92–99.
2. Алпатов А. П. Динаміка перспективних космічних апаратів. *Вісник НАН України*. 2013. № 7. С. 6–13
3. Буянова Л. В., Журавлєв Е. И. Методика проєктирования піротехнічних устроїв систем одделения. *Інженерний вестник*. 2015. № 07. С. 56–62.
4. Особенности расчета раскрытия крупногабаритных трансформируемых конструкций различных конфигураций / Зимин В. Н., Крылов А. В., Мешковский В. Е., Сдобников А. Н., Файзуллин Ф. Р., Чурилин С. А. // *Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2014. № 10. С. 179–191. doi: <https://doi.org/10.7463/1014.0728802>.
5. Deployable Perimeter Truss with Blade Reel Deployment Mechanism. URL: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/mechanics-and-machinery/24098>.
6. Бушуев А.Ю. Фарафонов Б.А. Математическое моделирование процесса раскрытия солнечной батареи большой площади. *Математическое моделирование и численные методы*. 2014. № 2. С. 101–114.
7. Щесняк С. Романов А. Проектирование и расчет крупногабаритных раскрывающихся конструкций с помощью

- программных комплексов MSC.Software. CADmaster. 2009. № 2-3. С. 28–36.
8. Бойков В. Г. Программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем EULER. САПР и графика. 2009. № 9. С. 17–20.
  9. Geometrical modeling of the inertial unfolding of a multi-link pendulum in weightlessness / Kutsenko L., Shoman O., Semkiv O., Zapolsky L., Adashevskaya I., Danylenko V. et. al. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 7 (90). P. 42–50.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСКРЫТИЯ В НЕВЕСОМОСТИ КАРКАСА ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ С ЗАРАНЕЕ ЗАДАНЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ**

Запольский Л.Л., Шевченко С.М.

*В данной работе продолжены исследования, начатые в статье [1]. Статья посвящена геометрическому моделированию возможного способа раскрытия космических антенн параболического типа, которые устанавливаются на космических аппаратах разного назначения. Ведь перспективы развития радиоастрономии, солнечной энергетики, космической связи, исследования земной поверхности и других планет из космоса в настоящее время непосредственно связаны с возможностью выведения в космос крупногабаритных конструкций. Рассмотрена геометрическая модель раскрытия в условиях невесомости каркаса параболической антенны с заранее определенным фокусным расстоянием с использованием стержневой конструкции, подобной четырехзвенному маятнику. Перемещения звеньев конструкции происходят благодаря действию импульсов пиротехнических двигателей на конечные точки звеньев.*

*Актуальность темы определяется необходимостью усовершенствования и исследования новых технологических схем раскрытия каркасов космических инфраструктур. В том числе каркасов параболических антенн, элементами которых является семейство подобных софокусных парабол, полученных вращением с определенным угловым шагом вокруг общей оси. Найдены параметры и начальные условия запуска движения четырехзвенной стержневой конструкции с целью получения необходимого расположения звеньев. Показано, что для внедрений вариантов инерционного раскрытия необходимо применить комплект унифицированных пиротехнических устройств, величины импульсов которых определяются координатами вектора  $U$ . Результаты предназначены для*

*геометрического моделирования вариантов раскрытия четырехзвенных стержневых конструкций в условиях невесомости.*

*Ключевые слова: четырехзвенная стержневая конструкция, раскрытие в невесомости, семья одинаковых софокусных парабол, каркас параболической антенны*

## **A DESIGN OF OPENING IS IN WEIGHTLESSNESS FRAMEWORK OF PARABOLIC AERIAL WITH THE BEFOREHAND SET FOCAL DISTANCE**

Zapolskiy L., Shevchenko S.

*A geometrical model of opening in the zero gravity framework of a parabolic antenna with the use of a rod structure similar to a four-link pendulum is proposed. The movement of the links of the structure occurs due to the action of the pulses of pyrotechnic engines on the end points of the links. The description of the motion of the obtained inertial disclosure of the core structure was carried out using the Lagrange equation of the second kind, and, taking into account the conditions of weightlessness, constructed using only the kinetic energy of the system. The relevance of the topic is determined by the need to improve and research new technological schemes for disclosing the frameworks of space infrastructures. Including frames of parabolic antennas, elements of which are a family of identical confocal parabolas, obtained by rotation with a certain angular step around a common axis. In addition, interesting should be new technologies to perform installation work in orbit using the structures of mechanical grips (such as "hands work"), located outside the spacecraft. The parameters and initial conditions for launching the motion of a four-bar core structure are determined in order to obtain the necessary arrangement of links. It is shown that for implementations of variants of inertial opening it is necessary to apply a set of unified pyrotechnic devices, the magnitudes of which pulses are determined by the coordinates of the vector  $U'$ . It is possible to construct graphs of the time variation of the functions of the angles as generalized coordinates, as well as the first and second derivatives of these functions. As a result, you can get an estimate of the power characteristics of the system at the time of braking (stopping) the process of disclosure. The results are intended for geometric modeling of variants for the disclosure of four-bar core structures in zero gravity.*

*Keywords: four-bar core construction, opening in weightlessness, Lagrange equations of the second kind, family of identical confocal parabolas*

УДК 71+72

## СИСТЕМНО-ПСИХОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ФОКУС-ГРУП У ДИЗАЙНІ

Ковальов Ю.М., д.т.н.

*Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну (м. Київ, Україна),*

Шмельова Т.Ф., д.т.н.

*Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)*

*На основі хвильової моделі С- простору та теорії самоорганізації складних систем розглядається структура свідомості людини. Наводиться класифікація психологічних типів, у основі якої лежить відносна розвиненість каналів взаємодії людини із навколишнім світом. Урахування потенціалу складної системи дає можливість визначити окремі підтипи для кожного із психологічних типів. Результат представлено у вигляді таблиць 1-6 із короткою характеристикою кожного із підтипів. Для основних психотипів визначено головні потреби, мотивації, переважні види діяльності, соціальні класи. Результат представлено у вигляді таблиці 7. Урахування хвильової природи системи дозволяє визначити поправки на вік. Обґрунтовано кореляції між психотипами (з урахуванням вікових особливостей), їх потребами і мотиваціями та вимогами до комфортного середовища для різноманітних фокус-груп (від індивідуумів до професійних та соціальних груп), що дає можливість точно визначити психологічні особливості та потреби будь-якої фокус-групи. Знання таких особливостей дозволяє адресно обирати дизайнерські рішення на усіх рівнях взаємодії виробу з людиною і середовищем, а також прогнозувати вимоги до стилістики та функціональності виробів на перспективу. Наводиться приклад, розв'язаний із використанням розробленого підходу, для визначення цілей проектування комфортного житла для підтипів богемної особистості (таблиця 8). Цілі проектування пов'язуються із рівнями організації життєвого простору, які, у свою чергу, відповідають рівням каналів взаємодії людини із середовищем; у результаті визначаються специфікації комфортного житла усіх підтипів богемної особистості (таблиця 9). Для обробки результатів оцінювання може бути використаний багаточаровий прямонаправлений перцептрон типу MLP. Обговорюються можливості використання цього підходу для визначення специфікацій для різних видів дизайну.*

*Ключові слова: хвильова модель, С- простору, самоорганізація*

*складних систем, психотипи, фокус-групи, потреби, мотивації, специфікації.*

**Постановка проблеми.** Індивідуалізація стилістичних, ергономічних, кольорових та інших рішень є панівною тенденцією розвитку дизайну останніх десятиріч, яка по-різному втілюється у промисловому дизайні, дизайні середовища, графічному дизайні. Орієнтація кінцевого продукту на потреби окремих фокус-груп, сімей, особистостей потребує ґрунтовного вивчення їх потреб, мотивацій, вікових та професійних особливостей, що передбачає залучення психологічних і математичних методів дослідження і обробки, а також системного підходу для упорядкування результатів та проведення оптимізації. Дана публікація присвячена вирішенню цієї проблеми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Психологічні дослідження людини базуються на використанні проєктивних тестів та тестів-опитувань [1]; недоліком є несистемність отриманих результатів, зокрема, невизначеність кількості незалежних показників і їх ваги, яка мала б відображати внесок кожного з них у формування світогляду конкретної людини або певної групи людей. Визначення психотипів людини, методично несумісне для різних психологічних шкіл, ігнорує різноякісність показників [2]. Недостатньо (за виключенням вузькоспеціалізованого професійного відбору) розглядаються зв'язки між психологічними і віковими особливостями, професійною діяльністю, соціальним станом людини.

Автори пропонують позбавитися перелічених недоліків на основі наступних положень:

- організація суб'єктивного простору людини є окремим випадком самоорганізації складних систем на основі сценарію (1С, 1О); Саме цей сценарій визначає склад і пріоритети каналів взаємодії людини з оточуючим середовищем [3];

- соціальна структура людства та переважні роди діяльності кожної із соціальних страт відповідає каналам взаємодії людини із середовищем [4; 5];

- відносна значущість каналів *взаємодії людини із середовищем*, потенціал та вік особистості (що корелюють, відповідно, із потенціалом С- простору та його фазою) визначають психологічний портрет особистості, її потреби, мотивації, вимоги до комфорту та безпеки [5; 6];

- кореляційні залежності між стилістикою, функціональністю, морфологією та іншими характеристиками виробу дизайну (одягу, друкованої продукції, промислового виробу, інтер'єру тощо) та умовами комфорту [7]. Оцінювання кінцевого виробу з урахуванням

його місця і ролі у середовищі перебування з використання системних закономірностей визначається за допомогою методів експертного оцінювання та фаззі-логіки [5; 7].

Таким чином, створюється наукова основа для дослідження «фокус-груп», а також визначення специфікацій, які пов'язують умови комфорту із дизайном того чи іншого виробу.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є оцінювання психологічних типів (підтипів) з визначенням переліку вимог до комфортного житла (приклад специфікації).

**Основна частина.** Різний ступінь розвиненості каналів взаємодії людини із середовищем призводить до необхідності виділення різних підтипів в рамках одного психотипу. Розвиненість каналу можна виразити рядом слів, що характеризують її ослаблення в міру зменшення потенціалу. Виділяємо з деякою часткою умовності, чотири ступеня розвиненості: чудовий, високий, середній і низький. Наведемо таблицях 1-6 визначення, що вказують зв'язок між словами-характеристиками, ступенем розвиненості каналу та підтипами кожного із психотипів.

Таблиця 1

Розвиненість каналів і підтипи збалансованих особистостей

Характеристики каналів	Розвиненість	Підтипи
Здатність здійснювати фундаментальні відкриття	Чудова	Геній
Здатність створювати оригінальні твори	Висока	Творець
Здатність якісно виконувати будь-яку складну роботу	Середня	На всі руки майстер
Здатність виконувати будь-яку просту роботу	Низька	Універсальний робітник

Таблиця 2

Розвиненість інтуїції і підтипи споглядачів

Індивідуальні характеристики каналів	Розвиненість	Підтипи
Інтуїція	Чудова	Містики
Духовність		
Споглядання	Висока	Єдині з природою
Передбачення		
Асоціативність		
Проникливість	Середня	Єдині з людьми
Чутливість		
Співробітництво		
Відчуженість	Низька	З обмеженою інтуїцією

Таблиця 3

## Розвиненість его і підтипи егоїстів

<b>Психологічні характеристики каналів</b>	<b>Розвиненість</b>	<b>Підтипи</b>
Аутизм	Чудова	Ті, що живуть у власному світі
Гордість	Висока	Правителі
Самовдоволення	Середня	Успішні
Самовпевненість		
Самоповага		
Невіра в свої сили	Низька	Невдахи
Самоприниження		

Таблиця 4

## Розвиненість волі / розуму і підтипи борців

<b>Характеристики каналів</b>		<b>Розвиненість</b>	<b>Підтипи</b>
<b>Воля</b>	<b>Розум</b>		
Агресія	Мудрість	Чудова	Воїн
Експансія	Рішучість	Висока	Загарбник
Авантюризм	Оцінювання	Середня	Боєць
Наполегливість			
Упертість	Коливання	Низька	Схильні до свар
Слабкість	Нерозрізнення		

Таблиця 5

## Розвиненість здорового глузду і підтипи підприємливих дослідників

<b>Характеристики каналів</b>	<b>Розвиненість</b>	<b>Підтипи</b>
Віра в пізнаваності світу	Чудова (плюс найвищий рівень розуму)	Філософ
Відчуття гармонії світу		
Здатність знайти закономірності	Висока (плюс високий рівень розуму)	Вчений
Здатність до абстрагування		
Здатність до аналізу і синтезу		
Здатність до визначення відносин	Середня (плюс високий або середній рівень волі)	Бізнесмен
	Середня (плюс низький рівень волі)	Бюрократ
Сплутаність уявлень	Низька	З обмеженими розумовими здібностями
Дурість		



Таблиця 6

Розвиненість відчуттів і почуттів і підтипи божемних особистостей

Характеристики каналів		Розвиненість	Підтипи
Відчуття	Почуття		
Екстрасенсорні	Несамовитість	Чудова	Псих
Здатність розрізняти більше 7-9 відтінків і тонів	Екзальтація	Висока	Актор
Здатність розрізняти 7-9 тонів	Чутливість	Середня	Міщанин
Втрата зору, слуху тощо	Холодність	Низька	Інвалід

Таблиця 7

Кореляції психотипів, каналів сприйняття, потреб і мотивацій, станів, родів діяльності

Психотип	Основний канал	Основна потреба	Основні мотивації	Клас (каста)	Діяльність
Збалансована особистість	Канали гармонійні	гармонія	творчість	Досконалі	Будь-який
Споглядач	інтуїція	любов	споглядання	брахмани монахи, містики	Духовна
Егоїст	его	визнання	панування	раджі, правителі	Управлінська
Борець	Воля, розум	Самореалізація	доказ власної спроможності	кшатрії, дворяни, воїни	Військова
Підприємливий дослідник	Здоровий глузд	Безпека	пошук знань і благ	вайші, підприємці вчені, вільні селяни	Підприємницька, наукова, продуктивна
Божемна особистість	Відчуття і почуття	Задоволення	Чуттєві задоволення	шудри, богема, слуги, маргінали	Імітація, прислугування

Поправка на вік залежить від фази життєвого циклу; наслідки описані, наприклад, у [8; 9].

Подібні поправки дозволяють визначити склад приміщень будинку або квартири, а також функції та типи будівель в міському середовищі. Наведемо приклад використання таблиць для визначення цілей проектування житла для богемних особистостей (таблиця 8).

Таблиця 8

Кореляції відчуття комфорту / дискомфорту з цілями проектування для богемних особистостей

Підтип	Стани комфорту / дискомфорту	Цілі проектування
Особлива чутливість	Дискомфорт	Спокій і соціальна адаптація
Повторення		
Часткова обмеженість	Комфорт	Сенсорний комфорт
Повна обмеженість	Дискомфорт	Спокій і соціальна адаптація

Тепер пов'яжемо цілі проектування із рівнями організації життєвого простору, які, у свою чергу, відповідають рівням каналів взаємодії людини із середовищем (таблиця 9).

Таблиця 9

Кореляції цілей проектування і параметрів житла для богемних особистостей

Цілі проектування	Рівні	Специфікації
Спокій і соціальна адаптація	1	Відносно безлюдна, спокійна, красива місцевість
	2	Житло вписується в місцевість
	3	Модерн, ар-деко, класицизм
	4	Відкриті планування
	5	Обладнання для творчості, бібліотеки, майстерні
Сенсорний комфорт	1	Міські «Голівуди» / курортні зони
	2	Міські та замські будинки, маєтки, престижні готелі, що виділяються на навколишньому тлі, класичні або сучасні епатажні стилі
	3	Безпека території, максимальне життєзабезпечення
	4	Надлишкові габарити, багато приміщень, закриті або відкриті планування, тераси, великі отвори в залежності від пп.1-3

	5	«Театральність», дорогі матеріали і меблі, атрибути власної значущості, регульовані параметри середовища
Спокій і соціальна адаптація	1	Відносно ізольована, спокійна місцевість
	2	Спеціальні вимоги для осіб зі слабким зором, слухом, обмеженою рухливістю і тому подібних
	3	Нормальне життєзабезпечення з урахуванням обмежених можливостей, безпеку, комунікації з персоналом, соціальними тренерами, собі подібними
	4	Залежать від типу інвалідності; в будь-якому випадку прості і прозорі
	5	Устаткування для роботи і реабілітації, меблі, враховують обмежені можливості

Житло, спроектоване у відповідності до подібних специфікацій, може бути оптимізовано по ряду критеріїв. Для цього проект, з метою пошуку слабких місць, може бути оцінений експертами за спеціальною процедурою [10]. Для обробки результатів оцінювання може бути використаний багат шаровий прямонаправлений перцептрон типу MLP (Multilayer Perceptron Networks) (рис. 1). Штучна нейронна мережа (ШНМ) має чотири шари, два з яких сховані. Кожний нейрон в мережі характеризується вхідною величиною (дендритом) і вихідною величиною (аксоном), ваговими коефіцієнтами (синапсами), пороговою функцією.

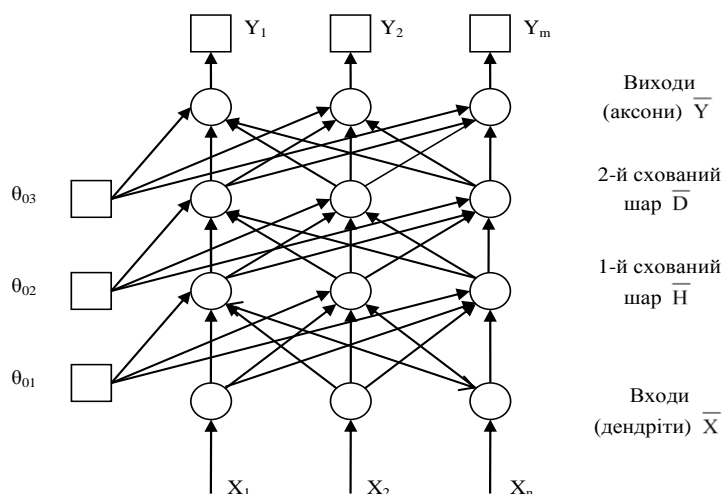


Рис. 1. ШНМ для оцінювання комфортності житла

Мережа має додаткові входи, так звані Bias (зсув), що враховує додаткові обмеження на обчислювальні параметри:

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta \geq 0. \quad (1)$$

де  $w_i$  – вагові коефіцієнти; що характеризують типи особистості і житла;  $x_i$  – входи нейронної мережі;  $\bar{\theta}$  – Bias (зсув).

Характеристика шарів ШНМ:

1 шар (вхідний) – тип особистості, ( $\bar{x}$ ); 2 шар (схований) – визначає психофізіологічні характеристики особистості ( $\bar{n}$ ); 3 шар (схований) – тип комфортності житла ( $\bar{D}$ ); 4 шар (вихідний) – оцінювання житла при обранні особистістю ( $\bar{Y}$ ).

**Висновки.** Представлені результати (уточнена класифікація психологічних типів, кореляції із віковими особливостями, професійною діяльністю, соціальним статусом, специфікації житла) дозволяють правильно обрати дизайнерські рішення для різних фокус-груп. Подальші роботи у цьому напрямі будуть спрямовані на визначення загальної концепції розвитку дизайну на тривалу перспективу.

### *Література*

1. А. Я. Психология: тесты, тренинги, словарь, статьи. URL: <http://azps.ru/tests>.
2. Аугустинавичюте А. Соционика: [Монографія] М.: Чёрная белка, 2016. С. 455-464
3. Мхитарян Н.М., Бадеян Г.В., Ковалев Ю.Н. Эргономические аспекты сложных систем: [Монографія]. К.: Наук. думка, 2004. 600 с.
4. Ковальов Ю.М. Людина – житло – середовище: розрахунок параметрів комфорту та управління ними. Прикл. геом. та інж. граф., 2003. Вип.73. С.57-65
5. Shmelova Tetiana, Sikirda Yuliya, Rizun Nina, Abdel-Badeeh M. Salem, Kovalyov Yury N. Socio-Technical Decision Support in Air Navigation Systems: Emerging Research and Opportunities: manuscript. *International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research*. USA, Pennsylvania. 2017. P. 305
6. Ковальов Ю.М. Калашнікова В.В. Моделювання та оптимізація середовища перебування за критеріями психологічного комфорту. 3 Міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище–XXI століття. Архітектура. Будівництво. Дизайн». 14-16 березня 2018 р. Київ, Україна; 18-20 квітня, Холм, Полща. 36. Праць. С.183-184
7. Kovalyov Y.N., Shmelova T.F., Kalashnikova V.V. System optimization of psychological and emotional compatibility of operators in air navigation system. 8-th World Congress „Aviation in the XXIst century. Safety in Aviation And Space Technologies” NAU, October.10, 2018. С.5.1.14-5.1.20
8. Piaget, J. The Psychology of Intelligence: manuscript. London:

- Routledge and Kegan Paul, 1951.
9. Холлис Джеймс Перевал в середине пути. Как преодолеть кризис среднего возраста и найти новый смысл жизни: [Монография] Когито-Центр, 2013. 208 с.
  10. Mkhitarian N.M. Man and Dwelling: manuscript. Gangemi Editore International Publishing, 2017. 319 p.

## **СИСТЕМНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФОКУС-ГРУПП В ДИЗАЙНЕ**

Ковалев Ю.Н., Шмелева Т.Ф.

*На основе волновой модели С-пространства и теории самоорганизации сложных систем рассматривается структура сознания человека. Приводится классификация психологических типов, в основе которой лежит относительная развитость каналов взаимодействия человека с окружающим миром. Учет потенциала сложной системы дает возможность определить отдельные подтипы для каждого из психологических типов. Результат представлен в виде таблиц 1-6 с краткой характеристикой каждого из подтипов. Для основных психотипов определены главные потребности, мотивации, преобладающие виды деятельности, социальные классы. Результат представлен в виде таблицы 7. Учет волновой природы системы позволяет определить поправки на возраст. Обоснована корреляции между психотипами (с учетом возрастных особенностей), их потребностями и мотивациями и требованиями к комфортной среде для различных фокус-групп (от индивидуумов к профессиональным и социальным группам), что дает возможность точно определить психологические особенности и потребности любой фокус-группы. Знание таких особенностей позволяет адресно выбирать дизайнерские решения для всех уровней взаимодействия изделия с человеком и средой, а также прогнозировать требования к стилистике и функциональности изделий на перспективу. Приводится пример, связанный с использованием разработанного подхода для определения целей проектирования комфортного жилья для подтипов богемной личности (таблица 8). Цели проектирования связываются с уровнями организации жизненного пространства, которые, в свою очередь, соответствуют уровням каналов взаимодействия человека со средой; в результате определяются спецификации комфортного жилища всех подтипы богемной личности (таблица 9). Для обработки результатов оценивания может быть использован многослойный прямонаправленный перцептрон типа MLP.*

Обсуждаются возможности использования этого подхода для определения спецификаций для различных видов дизайна.

Ключевые слова: волновая модель, C-пространство, самоорганизация сложных систем, психотипы, фокус-группы, потребности, мотивации, спецификации.

## **SYSTEMIC-PSYCHOLOGICAL SUBMISSION OF FOCUS-GROUP IN DESIGN**

Kovalyov Yu., Shmelova T.

*The structure of human mind on the basis of the wave model of C-space and the theory of self-organization of complex systems is considered. The classification of psychological types based on the relative development of human interaction channels with the surrounding world is presented. Taking into account the potential of a complex system, makes it possible to identify individual subtypes for each of the psychological types. The result is presented in the form of tables 1-6 with a brief description of each of the subtypes. For basic psychotypes, the main needs, motivations, preferential activities, social classes are determined. The result is presented in the Table 7. Considering the wave nature of the system allows you to determine the corrections for age. Correlation between psychotypes (taking into account age characteristics), their needs and motivations, and requirements for a comfortable environment for various focus groups (from individuals to professional and social groups) have been substantiated, which makes it possible to determine precisely psychological peculiarities and needs of any focus-group. Knowledge of such features allows you to address design choices at all levels of product interaction with the person and the environment, as well as predict the requirements for the style and functionality of products for the future.*

*An example is solved using the developed approach to determine the aims of designing a comfortable dwelling for the subtypes of the Artistic personality (Table 8). Design aims are associated with the levels of organization of living space, which, in turn, correspond to the levels of human interaction channels with the environment; as a result, specification of comfortable dwelling for all subtype of Artistic personality (Table 9). A multi-layered straight-forward MLP type perceptron can be used to process the evaluation results. The possibilities of using this approach to determine specifications for different types of design are discussed.*

*Key words: wave model, C-space, self-organization of complex systems, psychotypes, focus-groups, needs, motivation, specifications.*

УДК 512.2

**ВИВЧЕННЯ РОЗДІЛУ “ВЕКТОРНА ГРАФІКА ЗАСОБАМИ  
ПАКЕТУ COREL DRAW ” У КУРСІ ДИСТАНЦІЙНОГО  
НАВЧАННЯ „КОМП’ЮТЕРНА ГРАФІКА”**

Ковбашин В.І., к.х.н.,

Пік А.І., к.т.н.,

Скиба О.П., к.т.н.

*Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя (Україна)*

*Запропонована методика дистанційного вивчення розділу векторна графіка засобами пакету Corel Draw у курсі „Комп’ютерна графіка”. Методика ґрунтується на базі системи дистанційного навчання ATUTOR. В роботі подано поетапне вивчення розділу векторна графіка в режимі веб-конференції. Продемонстровано послідовність вивчення та освоєння основних інструментів курсу, а саме: створення конференції, назва, опис для яких груп створена, інструмент „Календар”, де вказано час проведення веб-конференції. Інструменти „Скринька завдань”, „Тести”, „Електронний журнал” дозволяють викладачу дистанційно перевірити правильність виконання графічних робіт в режимі діалогу із студентом, оцінити рівень знань студентів, сформуванню семестрову оцінку та її виставити у електронний журнал. „Електронний журнал” доступний студенту в режимі перегляду, що дозволяє йому слідкувати за формуванням модульних та семестрових оцінок, а викладачу спрощує роботу при обрахуванні підсумкових балів та дозволяє видруковувати відомості. Веб-конференція дозволяє викладачу спілкуватися із студентом в режимі онлайн чат або скайп. Доступна також пошта. Наведені ілюстровані приклади подання вивчаємого матеріалу. Дистанційний курс „Комп’ютерна графіка” дозволяє паралельно з веб-конференцією користуватися лекційним матеріалом, а також матеріалами практичних та лабораторних занять, які відображені у відповідних меню та розділах курсу. Є можливість постійно підтримувати контакт із аудиторією, зокрема використовуючи інструмент “Опитування” під час веб-семінару. Відзначено переваги проведення занять в режимі веб-конференції перед традиційними методами навчання, що дає змогу спілкуватись зі студентами в прямому ефірі, зокрема і при вивченні розділу векторна графіка засобами пакету Corel Draw у курсі „Комп’ютерна графіка”.*

*Ключові слова: веб-конференція, дистанційне навчання,*

*векторна графіка, corel draw, комп'ютерна графіка, програма Atutor.*

**Постановка проблеми.** Дана стаття є продовженням роботи авторів над розробкою методик дистанційного вивчення графічних дисциплін, оскільки на сьогоднішній день вага дистанційної освіти в рази зросла, набула популярності та стала займати значну роль у вищій школі [1,2,3]. Дистанційне навчання дає можливість навіть зрілим людям здобувати вищу освіту, відзначається гнучкістю, дозволяє задовільнити зростаючі вимоги щодо компетентності фахівців та забезпечити їх конкурентоспроможність на ринку праці. В умовах загрозливого скорочення фактичного бюджетного часу, виділеного на вивчення фундаментальних графічних дисциплін та низькою підготовкою вступників з цих дисциплін, а також в умовах становлення кредитно-модульної системи організації навчального процесу набуває особливого значення впровадження нових комп'ютерних технологій при вивченні графічних дисциплін, що забезпечує належну якість вищої освіти фахівців та їхню конкурентоспроможність на європейському та світовому ринках. Зокрема, це стосується дисципліни “Комп'ютерна графіка”. Тому одним із новітніх методів навчання є розробка та впровадження у навчальний процес відповідного електронного дистанційного курсу, що дозволяє викладачу якісно подавати значний об'єм навчальної інформації, надавати допомогу при реалізації самостійної роботи, а також оперативно здійснювати контроль знань студентів. У межах даного курсу студенти освоюють растрову, векторну графіку та тримірне моделювання. Навчально-методичне забезпечення курсу передбачає дистанційне навчання студентів в режимі веб-конференції, що є важливим інструментом особливо для студентів заочної та екстернатної форм навчання. Оптимальне застосування навчання в режимі онлайн дозволяє економити значні матеріальні ресурси особливо в осінньо-зимовий період, що успішно реалізуються у нашому університеті, зокрема на кафедрі будівельних конструкцій [4]. Так, розділ “Векторна графіка засобами пакету Corel Draw” курсу електронного дистанційного навчання „Комп'ютерна графіка” успішно використовуються нашими студентами в режимі веб-конференції при вивченні цієї дисципліни.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При створенні електронного дистанційного курсу „Комп'ютерна графіка” в режимі веб-конференції ми використовували програму ATutor, яка розробляється та підтримується з 2001 року Greg Gay, Joel Kronenberg і Heidi Hazelton із Adaptive Technology Resource Centre, University of Toronto [5].

**Формулювання цілей статті.** Дана праця присв'ячена



розробці та впровадженню в навчальний процес методики вивчення розділу “Векторна графіка засобами пакету Corel Draw” курсу електронного дистанційного навчання „Комп’ютерна графіка” в режимі веб-конференції з використанням програми Atutor.

**Основна частина.** Вивчення курсу даного курсу в режимі веб-конференції передбачає спочатку створення конференції, де подається назва та опис зустрічі, вказується запланований початок та кінець зустрічі, а також її статус. На рис. 1 відображена сторінка курсу „Комп’ютерна графіка” „Веб конференції та семінари”.

Сторінка веб-конференцій та вебінарів. Висновок: Дію успішно завершено.

Назва зустрічі	Опис зустрічі	Запланований час початку зустрічі	Статус	Приєднатись
Лабораторна для групи СН-11	Робота в середовищі CorelDRAW Graphics Suite. Інтерфейс та можливості програми. Робота з документами. Панель інструментів	4 лютого 9:30	Очікується	Розпочати зустріч
Лабораторна для групи СН-11	Робота з об'єктами, робота з текстом, робота з шарами. Основа роботи з ефектами. Кінцева обробка на вивід на друк.	11 лютого 9:30	Очікується	Розпочати зустріч
Лабораторна для групи СН-12	Робота в середовищі CorelDRAW Graphics Suite. Інтерфейс та можливості програми. Робота з документами. Панель інструментів	5 лютого 13:00	Очікується	Розпочати зустріч
Лабораторна для групи СН-12	Робота з об'єктами, робота з текстом, робота з шарами. Основа роботи з ефектами. Кінцева обробка на вивід на друк.	12 лютого 13:00	Очікується	Розпочати зустріч

Рис. 1. Веб конференції та семінари

Календар

Назва	Тип	Групи	Дата початку	Дата закінчення	Повторюваність	Нагадування	Опис
Лабораторна для групи СН-11	Лекційна робота	СН-11	04.02.2019 09:30	04.02.2019 10:40	Одноразово	Студентам	
Лабораторна для групи СН-12	Лекційна робота	СН-12	05.02.2019 13:00	05.02.2019 14:20	Одноразово	Студентам	
Лабораторна для групи СН-11	Лекційна робота	СН-11	11.02.2019 09:30	11.02.2019 10:40	Одноразово	Студентам	
Лабораторна для групи СН-12	Лекційна робота	СН-12	12.02.2019 13:00	12.02.2019 14:20	Одноразово	Студентам	

Рис. 2. Календар

Попередньо за допомогою інструменту „Календар” вказується назва конференції, її опис, для яких груп призначена, початок та кінець, повторюваність. На рис. 2 відображена сторінка курсу „Комп’ютерна графіка” „Календар”.

Проведення заняття в режимі веб-конференції дозволяє швидко загрузити відповідні матеріали і користуючись відповідними інструментами, масштабувати, обводити, змінювати кольори та форму контурів обводки зображень, що значно спрощує пояснення вивчаємого матеріалу.

На рис. 3 наведений приклад подання вивчаємого матеріалу при проведенні практичного заняття.

Проведення занять в режимі веб-конференції дозволяє спілкуватись зі студентами в прямому ефірі. Студенти можуть задавати запитання і отримувати відповіді на них в прямому ефірі, користуючись веб-камерами, або ж в текстовому режимі спілкування. Система дозволяє викладачу включати і відключати студентам мікрофони та веб-камери і надавати слово конкретному студенту, а також робити студента своїм асистентом. Також є можливість проводити опитування під час вебінару та контролювати таким чином активність студентів. Це наближає проведення заняття до максимально реального.

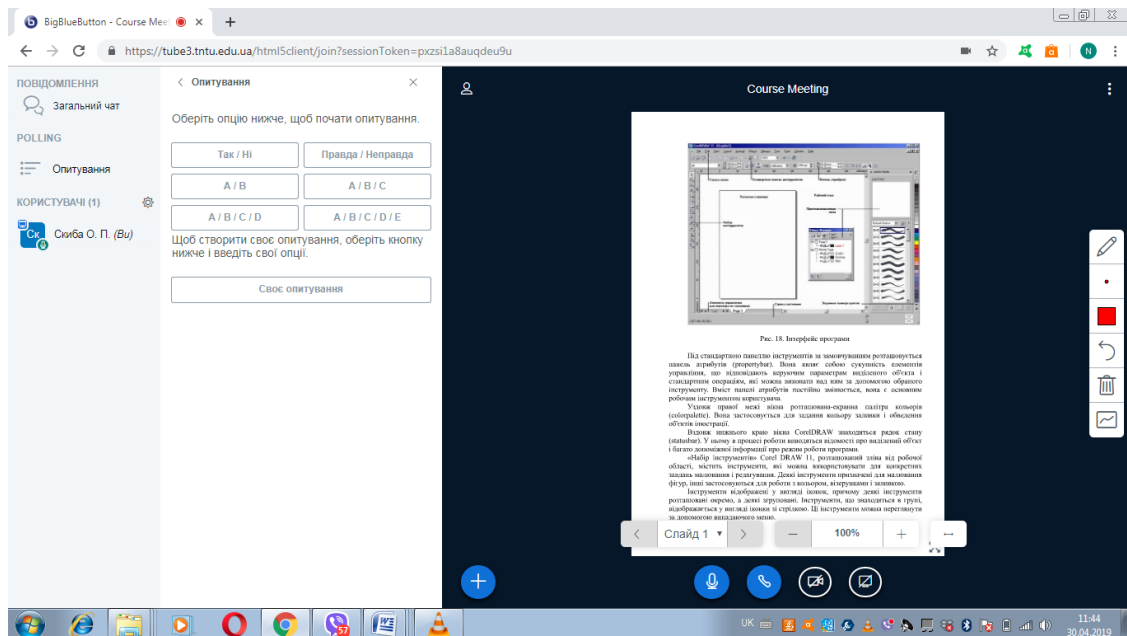


Рис. 3. Приклад подання вивчаємого матеріалу

Графічні роботи, виконані у програмі Corel Draw, студенти завантажують у “Скриньку завдань”, це дає можливість викладачу дистанційно оцінити їх (Рис. 4). Викладач може багаторазово

перевіряти правильність виконання графічних робіт також в режимі онлайн скайп. Паралельно працює онлайн чат.

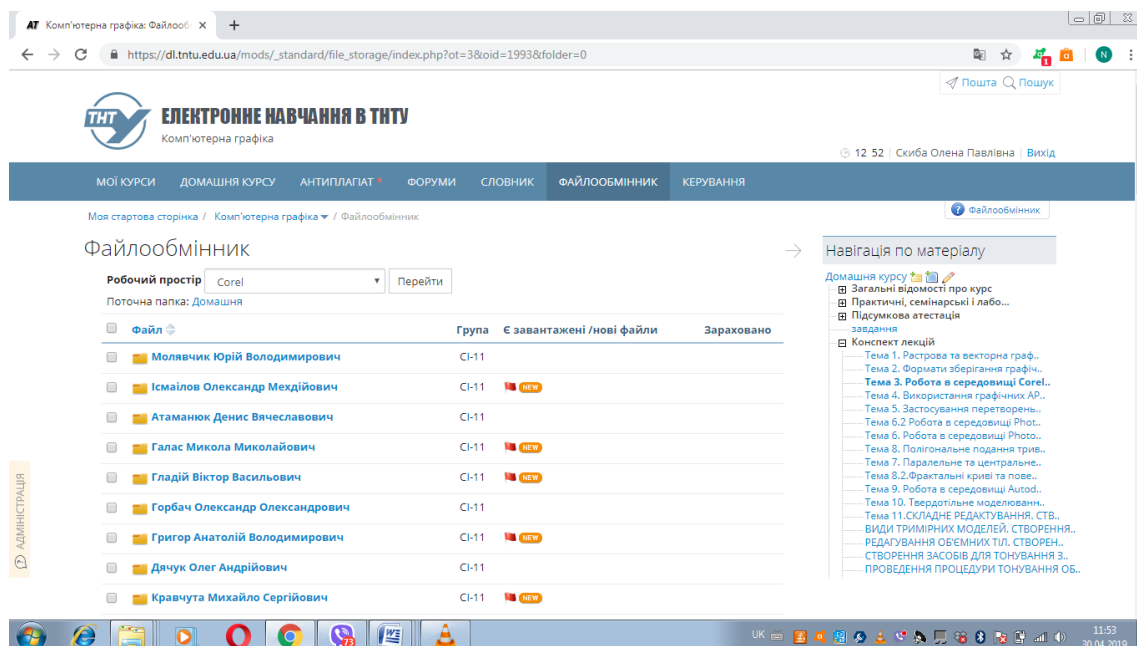


Рис. 4. Скринька завдань

Для об'єктивного оцінювання рівня знань студентів розроблені тестові завдання а підсумкові оцінки виставляються у електронний журнал що дає можливість сформуванати на основі них відомість та врахувати семестрову оцінку.

**Висновки.** Вивчення розділу „Векторна графіка засобами пакету Corel Draw” курсу „Комп'ютерна графіка” в режимі веб-конференції в системі Atutor дозволяє проводити заняття максимально в реальному режимі, знаходячись поза межами аудиторії, що спрощує та полегшує роботу як викладача так і студента.

### Література

1. Ковбашин В.І. Особливості дистанційного курсу „Нарисна геометрія” на основі кредитно-модульної системи організації навчального процесу. Збірник праць десятої міжнародної ювілейної науково-практичної конференції „Сучасні проблеми геометричного моделювання”. Мелітополь: ТГАТА, 2008. С.71-76.
2. Ковбашин В.І., Пік А.І. Особливості дистанційного курсу „Інженерна графіка”. Збірник праць дванадцятої міжнародної науково-практичної конференції „Сучасні проблеми геометричного моделювання”. Мелітополь: ТГАТА, 2010. С.60-64.
3. Ковбашин В.І. Пік А.І. Особливості дистанційного курсу „Комп'ютерна графіка” в середовищі ATutor. Збірник праць XIV Міжнародної науково-практичної конференції „Сучасні проблеми

- геометричного моделювання”. Мелітополь: ТДАТУ. 2012. С.70-74.
4. Скиба О.П, Ковбашин В.І., Пік А.І. Растрова графіка пакету PHOTOSHOP. Сучасні проблеми моделювання: наукове фахове видання МДПУ ім. Б. Хмельницького. Мелітополь, 2018. Вип. 11. С. 154-158.
  4. Костишин С.О., Войт С.О. Розробка навчальних курсів у системі ATutor. Методичні вказівки для викладачів (інструкторів). Тернопіль: ТДТУ, 2006. 41с.

### **ИЗУЧЕНИЯ РАЗДЕЛА "ВЕКТОРНАЯ ГРАФИКА СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА COREL DRAW" В КУРСЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ "КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА"**

Ковбашин В.І., Пік А.І., Скиба О.П.

*Предложена методика дистанционного обучения раздела векторная графика при помощи пакета Corel Draw в курсе „Компьютерная графика”. Метод основан на базе системы дистанционного обучения ATUTOR. В работе представлено поэтапное изучение раздела векторная графика в режиме веб-конференции. Продемонстрировано последовательность изучения и усвоения основных инструментов курса, а именно: создание конференции, название, описание, для каких групп создана, инструмент „Календарь”, где указано время проведения веб-конференции. Инструменты „Сундук заданий”, „Тесты”, „Электронный журнал” позволяют преподавателю дистанционно проверить правильность выполнения графических работ в режиме диалога со студентом, оценить уровень знаний студентов, сформировать семестровую оценку и выставить ее у электронный журнал. „Электронный журнал” доступен студенту в режиме просмотра, и позволяет ему следить за формированием модульных и семестровых оценок, а преподавателю упрощает работу при обчислении итоговых баллов и позволяет напечатать ведомости. Веб-конференция позволяет преподавателю общаться со студентом в режиме онлайн чат или скайп. Доступна также почта. Приведены иллюстрированные примеры изучаемого материала. Дистанционный курс „Компьютерная графика” позволяет параллельно с веб-конференцией пользоваться лекционным материалом, а также материалами практических и лабораторных работ, которые отображены в соответствующих меню и разделах курса. Есть возможность постоянно поддерживать контакт с аудиторией, используя инструмент „Опрос” во время семинара. Отмечены преимущества проведения занятий в режиме веб-конференции в сравнении с традиционными методами обучения, что дает возможность общаться со студентами в прямом эфире, в*

том числе и при изучении раздела векторная графика при помощи пакета Corel Draw в курсе „Компьютерная графика”.

Ключевые слова – веб-конференция, дистанционное обучение, векторная графика, corel draw, компьютерная графика, программа Atutor.

## **STUDYING OF THE VECTOR GRAPHICS SECTION BY MEANS OF THE COREL DRAW PACKAGE ON THE DISTANCE TRAINING COURSE "COMPUTER GRAPHICS"**

Kovbashyn V., Pik A., Skyba O.

*The technique of distance learning the “Vector graphics” section by means of the Corel Draw package in the course "Computer Graphics" is proposed. The technique is based on the ATUTOR distance learning system. The paper provides a step-by-step method of studying the “Vector graphics” section in the web conference mode. The sequence of studying and mastering the main tools of the course is demonstrated, namely: the creation of a conference, the name, description for groups, and the Calendar tool, which specifies the time of the web conference. The Task Box Tools, Tests, and Electronic Journal tools allow the teacher to check distantly the correctness of the graphics work in a dialogue with the student, evaluate the level of students’ knowledge, form a semester score and place it in an electronic journal. The "electronic journal" is available to the student in the view mode, which allows him to follow the formation of modular and semester grades. It also allows the teacher to simplify the work when calculating the final scores and to print the information. Web conference allows the teacher to communicate with the student in an online chat or Skype. E-mail is also available. The examples of presenting the studied material are demonstrated. The distance course "Computer Graphics" allows, in parallel with the web conference, to use the lecture material, as well as the materials of practical and laboratory classes, which are reflected in the appropriate menus and sections of the course. It is possible to constantly maintain contact with the audience, in particular using the "Quiz" tool during the webinar. The advantages of conducting classes in a web conference mode before traditional training, which allows students to communicate live, including the study of the section of “Vector graphics” by means of the package Corel Draw in Computer Graphics Course, are proved.*

*Keywords: web conferencing, distance learning, vector graphics, Corel draw, computer graphics, program ATUTOR.*

УДК 514.18

## ПРОСТОРОВІ КРИВІ, У ЯКИХ РУХОМИМ АКСОЇДОМ СУПРОВІДНОГО ТРИГРАННИКА Є ПЛОСКИЙ ПУЧОК

Кресан Т.А., к.т.н.

*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут» (Україна),*

Пилипака С.Ф., д.т.н.,

Несвідомін В.М., д.т.н.,

Бабка В.М., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування**України (м. Київ, Україна),*

Федорина Т.П., к.п.н.

*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут» (Україна)*

*Рух твердого тіла в просторі характеризується рухомим і нерухомим аксоїдами, якими є лінійчаті поверхні. Цей рух можна відтворити, якщо по нерухомому аксоїду обкочувати рухомий аксоїд. Лінією контакту в процесі обкочування є спільна прямолінійна твірна поверхонь. При обкочуванні рухомого аксоїда по нерухомому може відбуватися одночасне їх ковзання вздовж цієї прямої лінії контакту.*

*Рух тригранника Френе по просторовій напрямній кривій можна розглядати, як рух твердого тіла в просторі, закон переміщення якого залежить від диференціальних характеристик напрямної кривої – кривини і скруту у функції довжини дуги. Тригранник рухається поступально в напрямі орта дотичної і одночасно обертається навколо миттєвої осі обертання. Положення цієї осі в системі супровідного тригранника залежить від співвідношення кривини і скруту. Два рухи – поступальний в напрямі орта дотичної і обертальний навколо осі миттєвого обертання – можна замінити одним гвинтовим рухом навколо миттєвої осі обертання і ковзання, яка носить назву кінематичного гвинта.*

*В загальному випадку рухомим аксоїдом є коноїд. Можливі часткові випадки, коли рухомим аксоїдом є площина. Зокрема, це стосується плоских напрямних кривих. В цьому випадку ковзання відсутнє і миттєві осі кінематичного гвинта паралельні і розташовані у площині.*

*В статті розглянуто ще один частковий випадок, коли осі кінематичного гвинта розташовані у площині і мають спільну точку перетину, тобто утворюють пучок. Для цього випадку знайдено залежність між кривиною і скрутом напрямної просторової кривої, які є змінними величинами, та ще однієї сталої величини, яка має фізичний зміст. Наведено конкретний приклад для лінійної*

залежності кривини від довжини дуги напрямної кривої. Знайдено залежність скруту. За цими двома залежностями побудовано просторову криву, нерухомий та рухомий аксоїди. Побудовано також напрямний конус нерухомого аксоїда. Дослідженнями встановлено, що для розглянутої кривої і інших напрямних просторових кривих із знайденою залежністю між кривиною і скрутом рухомий аксоїд є близьким до прямої лінії.

*Ключові слова:* напрямна крива, кривина, скрут, тригранник Френе, миттєва вісь обертання і ковзання, рухомий і нерухомий аксоїди.

**Постановка проблеми.** Тригранник і формули Френе відіграють виключно велику роль в диференціальній геометрії, особливо в теорії просторових кривих [1]. Для визначення швидкості і прискорення точки при її русі по кривій використовується як нерухома, так і рухома система координат, в ролі якої виступає супровідний тригранник траєкторії. В багатьох питаннях механіки виявляється корисним розглядати рух твердого тіла по відношенню до системи координат, яка збігається із натуральним тригранником траєкторії однієї із точок тіла з використанням формул Френе [2]. Сам тригранник теж можна розглядати як тверде тіло, просторовий рух якого зумовлений кривиною і скрутом напрямної кривої, тобто траєкторії руху вершини тригранника.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В праці [3] розглянуто рух літака в ролі твердого тіла з використанням тригранника Френе як рухомої системи координат. Особливості руху супровідного тригранника гвинтової лінії розглянуто в праці [4]. Характеристиками руху твердого тіла в просторі є нерухомий і рухомий аксоїди. В кінематичній геометрії аксоїди використовуються для утворення ротативних і спіроїдальних поверхонь [5, 6]. Кінематику тригранника Френе, що рухається по просторовій або плоскій напрямній кривій, розглянуто в праці [7].

**Формулювання цілей статті.** Аналітично описати окремий клас просторових кривих, у яких рухомим аксоїдом є плоский пучок прямих ліній та розробити спосіб побудови нерухомого аксоїда.

**Основна частина.** При переміщенні тригранника Френе по просторовій кривій він одночасно здійснює два рухи: поступальний в напрямі орта дотичної  $\bar{\tau}$  із швидкістю  $V$  і обертальний навколо миттєвої осі обертання  $\bar{\omega}$  з кутовою швидкістю  $\omega$  (рис. 1,а). Віссю  $\bar{\omega}$  обертання тригранника є вектор Дарбу [2], який розташований в спрямній площині супровідного тригранника і складає кут  $\varphi$  із ортом дотичної  $\bar{\tau}$ . Від швидкості  $V$  руху тригранника по напрямній кривій

не залежить напрям вектора Дарбу в поточній точці, тому зручно прийняти  $V=1$  м/с. Параметри вектора Дарбу залежать від значень кривини  $k$  і скруту  $\sigma$  кривої в точці  $A$  розташування тригранника. Його проекція на орт  $\bar{\tau}$  чисельно рівна скрутові  $\sigma$ , а на орт бінормалі  $\bar{b}$  - кривині  $k$ . Звідси можна знайти модуль вектора  $\bar{\omega}$  при  $V=1$  м/с, тобто чисельне значення кутової швидкості  $\omega$ :

$$|\bar{\omega}| = \omega = \sqrt{k^2 + \sigma^2}. \quad (1)$$

Поступальний і обертальний і рухи тригранника Френе можна замінити одним гвинтовим рухом. Він буде обертатися навколо нової осі з тією ж кутовою швидкістю  $\omega$  і ковзати вздовж неї із новою швидкістю  $V_k$  [7]:

$$V_k = \sigma / \sqrt{k^2 + \sigma^2}. \quad (2)$$

Нова вісь називається миттєвою віссю обертання і ковзання  $\bar{\omega}_z$  (рис.1,а) або кінематичним гвинтом. Вона паралельна вектору Дарбу і зміщена вздовж головної нормалі  $\bar{n}$  тригранника на відстань [7]:

$$AB = \frac{k}{k^2 + \sigma^2}. \quad (3)$$

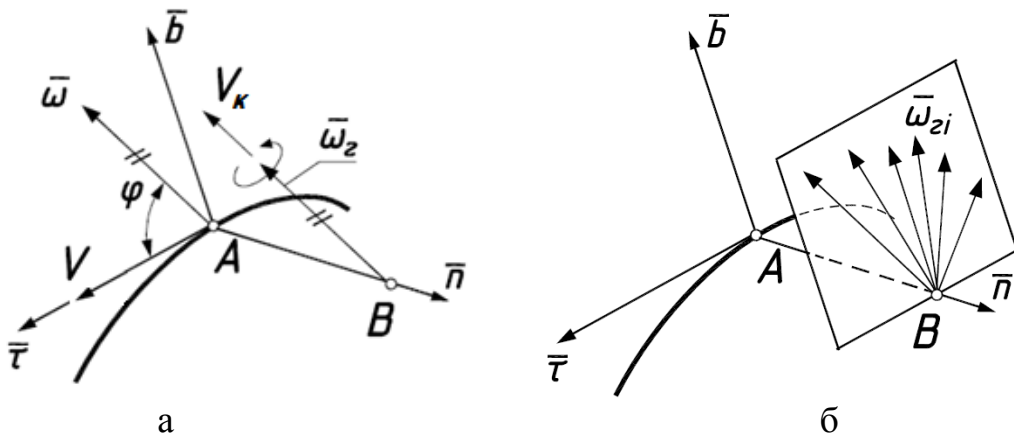


Рис. 1. До визначення розташування кінематичного гвинта тригранника в його системі:

- розташування миттєвої осі обертання  $\bar{\omega}_z$  і осі кінематичного гвинта  $\bar{\omega}_z$  в поточній точці кривої;
- геометричне місце осей кінематичного гвинта  $\bar{\omega}_z$  тригранника при його русі по напрямній кривій

Під час руху тригранника по кривій всі величини (1), (2), (3) є змінними і залежать від точки на кривій, тобто від довжини дуги  $s$ . Маючи натуральні рівняння  $k=k(s)$  і  $\sigma=\sigma(s)$ , можна побудувати графіки їх зміни. Якщо поставити умову, щоб відстань  $AB=L$  була сталою, то із (3) можна знайти взаємозв'язок між кривиною і скрутом:



$$\sigma = \sqrt{\frac{k}{L}(1-Lk)}. \quad (4)$$

Якщо крива задана натуральними рівняннями  $k=k(s)$  і (4), то множина осей кінематичного гвинта буде розташована в площині, що проходить через точку  $B$  і паралельна спрямній площині (рис. 1,б). Напрямок і величина  $i$ -го вектора  $\overline{\omega}_{zi}$  залежатиме від значення кривини і скруту кривої в  $i$ -тій точці. Множина прямолінійних твірних, паралельних цим векторам, утворює рухомий аксоїд. Таким чином, для кривої із заданим взаємозв'язком (4) між натуральними рівняннями кривини і скруту, рухомим аксоїдом тригранника буде плоский пучок прямих, розташованих у площині, паралельній до спрямної, яка знаходиться на сталій відстані  $L$  від неї. Площина, в якій розташований пучок, жорстко закріплена в триграннику і рухається разом із ним, тому аксоїд називається рухомим. Для побудови нерухомого аксоїда потрібно в кожній точці кривої спроеціювати положення осі кінематичного гвинта із системи рухомого тригранника на нерухому систему координат. Це робиться за допомогою дев'яти напрямних косинусів, які задають положення рухомого супровідного тригранника в нерухомій системі координат.

Для прикладу ми взяли лінійну залежність кривини:  $k=as$ . Скрут знайшли за формулою (4). На рис. 2,а чисельними методами за залежностями кривини і скруту побудовано криву та на рис. 2,б – фрагмент цієї кривої і відповідний нерухомий аксоїд її супровідного тригранника.

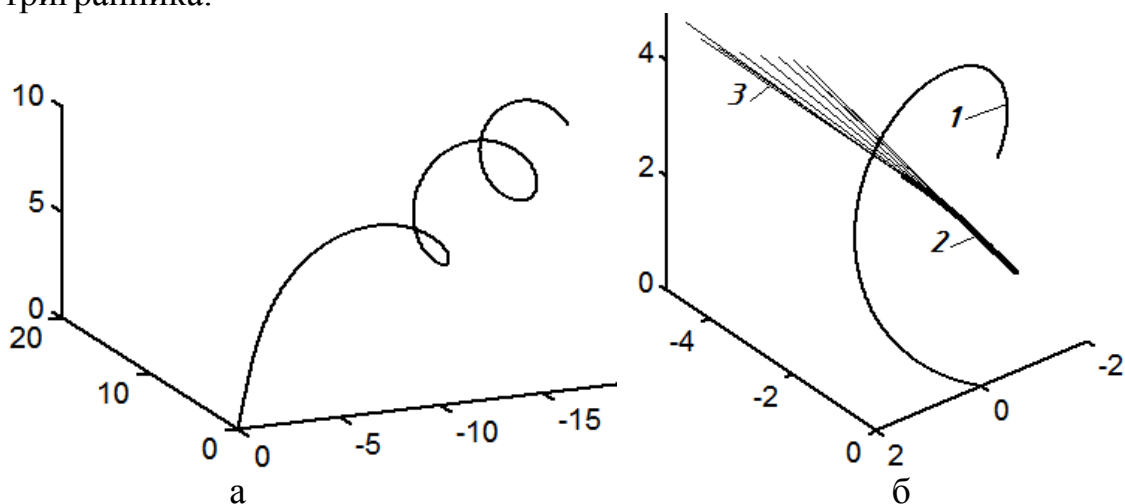


Рис. 2. Просторова крива, задана натуральними рівняннями кривини

$$k=as \text{ і скруту } \sigma = \sqrt{\frac{a}{L}(1-Las)}s :$$

- а) фрагмент кривої при  $s=0\dots 50$  ( $a=0,01$  і  $L=2$ );
- б) фрагмент кривої при  $s=40\dots 50$  (позначено цифрою 1) і нерухомий аксоїд, яким є лінійчата поверхня

Цифрою 1 на рис. 2,б позначено фрагмент кривої. Цифрою 2 – геометричне місце точки  $B$  після переходу від її положення в системі тригранника до нерухомої системи координат, цифрою 3 – множина положень осі кінематичного гвинта в нерухомій системі координат, тобто нерухомий аксоїд. Як видно із рисунка, множина осей кінематичного гвинта в нерухомому аксоїді мають незначний кут відхилення одна від одної.

На рис. 3,а побудовано рухомий аксоїд для кривої, зображеної на рис. 2,а. На рис. 3,б побудовано напрямний конус нерухомого аксоїда. Він знаходиться, як множина одиничних напрямних векторів кінематичного гвинта, спроекційованих на нерухому систему координат. При суміщенні вершин рухомого аксоїда і напрямного конуса нерухомого аксоїда вони можуть перекинутися один по одному без ковзання, при цьому їх дотик відбуватиметься по відповідних твірних. Для побудови нерухомого аксоїда потрібно кожен твірну напрямного конуса, отриманого для конкретного значення довжини дуги  $s$  кривої, перенести паралельно самій собі в точку  $B$ , яка відповідає цьому ж значенню дуги  $s$  і знайдена в нерухомій системі за допомогою дев'яти напрямних косинусів.

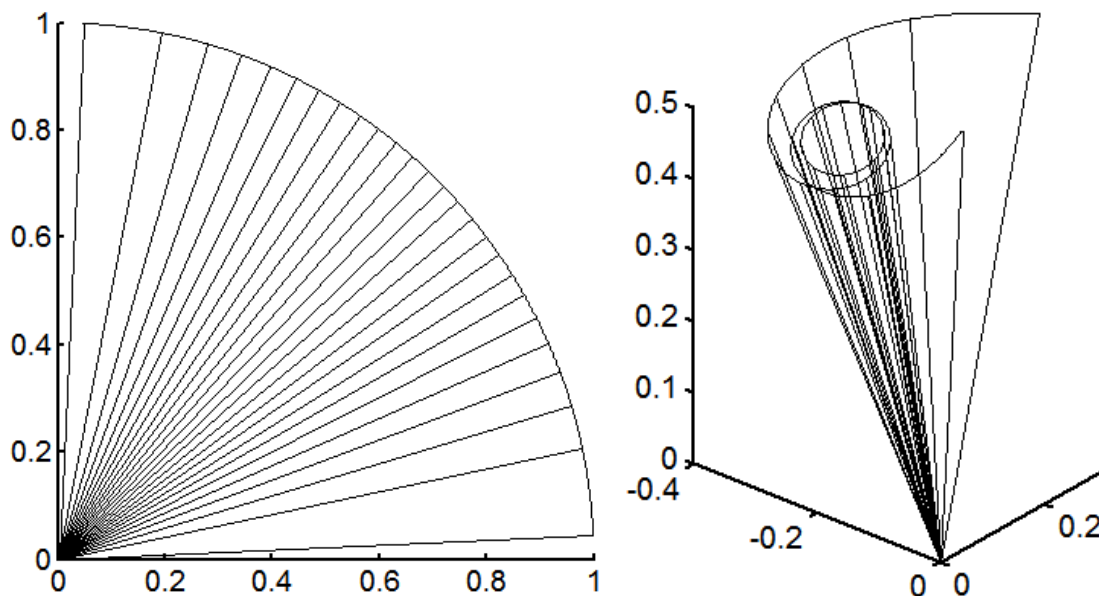


Рис. 3. До побудови аксоїдів тригранника Френе просторової кривої:  
а) рухомий аксоїд; б) напрямний конус нерухомого аксоїда

При обкочуванні рухомого аксоїда по нерухомому із кутовою швидкістю (1) він додатково ковзатиме вздовж лінії контакту із лінійною швидкістю (2). Дослідження показали, що для різних просторових кривих, у яких кривина і скрут зв'язані залежністю (4), існування кривої можливе тільки для обмежених значень довжини дуги  $s$ , зумовлене наявністю у виразі (4) квадратного кореня.

**Висновки.** Існує клас просторових кривих, для яких рухомим аксоїдом супровідного тригранника Френе є плоский пучок положень осей кінематичного гвинта. Кривина і скрут таких кривих є змінними і зв'язані між собою певною залежністю. Криві дійсні при обмежених значеннях довжини власної дуги і подібні до гвинтової лінії. Залежність справедлива і для сталих кривини і скруту, тобто для гвинтової лінії, але при цьому плоский пучок рухомого аксоїда і нерухомий аксоїд вироджуються у пряму лінію.

### **Література**

1. Милинский В.И. Дифференциальная геометрия. Л.: КУБУЧ, 1934. 332 с.
2. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. В двух томах. Т. 1: Статика и кинематика. 8-е изд. М.: Наука, 1982. 352 с.
3. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: ФМ, 1961. 823 с.
4. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. В двух томах. Т. 1: Статика и кинематика. М.: ГИТТЛ, 1954. 379 с.
5. Ядгаров Д.Я., Шоломов И.Х. Применение дифференциальных уравнений к конструированию ротативных поверхностей с аксоидами торс-торс. Исслед. в области теории дифференциальных уравнений и теории приближений. Ташкент, 1982. С. 96 – 100.
6. Кривошاپко С.Н., Шамбина С.Л. Исследование и визуализация ротативных и спироидальных поверхностей. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 4. Прикл. геометрія та інж. графіка.* Т. 49. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. С.33–41.
7. Панчук К.Л. Элементы кинематической геометрии кривой линии. Омский научный вестник. Омск: ОГТУ, 2005. № 2 (31). С. 68 – 69.

### **ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КРИВЫЕ, У КОТОРЫХ ПОДВИЖНЫМ АКСОИДОМ СОПРОВОЖДАЮЩЕГО ТРЕХГРАННИКА ЯВЛЯЕТСЯ ПЛОСКИЙ ПУЧОК**

Кресан Т.А., Пилипака С.Ф., Несвидомин В.Н.,  
Бабка В.Н., Федорина Т.П.

*Движение твердого тела в пространстве характеризуется подвижным и неподвижным аксоидами, которыми являются линейчатые поверхности. Это движение можно воспроизвести, если по неподвижному аксоиду обкатывать подвижной аксоид. Линией контакта в процессе обкатывания является общая прямолинейная образующая поверхностей. При обкатывании подвижного аксоида по*

неподвижному может происходить одновременное их скольжение вдоль этой прямой линии контакта.

Движение трехгранника Френе по пространственной направляющей кривой можно рассматривать как движение твердого тела в пространстве, закон перемещения которого зависит от дифференциальных характеристик направляющей кривой - кривизны и кручения в функции длины дуги. Трехгранник движется поступательно в направлении орта касательной и одновременно вращается вокруг мгновенной оси вращения. Положения этой оси в системе сопровождающего трехгранника зависит от соотношения кривизны и кручения. Два движения - поступательное в направлении орта касательной и вращательное вокруг оси мгновенного вращения - можно заменить одним винтовым движением вокруг мгновенной оси вращения и скольжения, которая носит название кинематического винта.

В общем случае подвижным аксоидом является коноид. Возможны частные случаи, когда подвижным аксоидом является плоскость. В частности, это касается плоских направляющих кривых. В этом случае скольжение отсутствует и мгновенные оси кинематического винта параллельны и расположены в одной плоскости.

В статье рассмотрены еще один частный случай, когда оси кинематического винта расположены в одной плоскости и имеют общую точку пересечения, то есть образуют пучок. Для этого случая найдена зависимость между кривизной и кручением направляющей пространственной кривой, которые являются переменными величинами, и еще одной постоянной величины, имеющей физический смысл. Приведен конкретный пример для линейной зависимости кривизны от длины дуги направляющей кривой. Найдено зависимость кручения. По этим двум зависимостям построено пространственную кривую, неподвижный и подвижный аксоиды. Построен также направляющий конус неподвижного аксоида. Исследованиями установлено, что для рассматриваемой кривой и других направляющих пространственных кривых с найденными зависимостями между кривизной и кручением подвижной аксоид близок к прямой линии.

Ключевые слова: направляющая кривая, кривизна, кручение, трехгранник Френе, мгновенная ось вращения и скольжения, подвижный и неподвижный аксоиды.

## **SPATIAL CURVES, AT WHICH MOVABLE AXOID OF THE ACCOMPANYING TREE-EDGE OF FRENET IS A FLAT BUNCH**

Kresan T., Pylypaka S., Nesvidomin V., Babka V., Fedorina T.

*The motion of a solid body in space is characterized by moving and stationary axoids, which are ruled surfaces. This movement can be reproduced, if a movable axoid is run in along a fixed axoid. The contact line in the process of rolling is the general rectilinear generatrix of the surfaces. When the rolling axoid is rolled on a fixed one, they can simultaneously slide along this straight line of contact.*

*The motion of the three-edge of Frenet along a spatial guide curve can be viewed as a motion of a rigid body in space, the law of movement of which depends on the differential characteristics of the guide curve — curvature and torsion as a function of the arc length. The trihedron moves progressively in the direction of the ort of the tangent and simultaneously rotates around the instantaneous axis of rotation. The positions of this axis in the system of the accompanying three-edge depend on the ratio of curvature and torsion. Two movements - translational in the direction of the ort of the tangent and rotational around the axis of instantaneous rotation - can be replaced by one screw movement around the instantaneous axis of rotation and slip, which is called the kinematic screw.*

*In general, the moving axoid is a conoid. Special cases are possible when the moving axoid is a plane. In particular, this applies to flat guide curves. In this case, there is no sliding and the instantaneous axes of the kinematic screw are parallel and located in the same plane.*

*The article discusses another special case where the axes of the kinematic screw are located in the same plane and have a common point of intersection, that is, they form a bundle. For this case, a relationship has been found between the curvature and torsion of the guiding spatial curve, which are variables, and another constant value that has a physical meaning. A specific example is given for the linear dependence of the curvature on the arc length of the guide curve. The dependence of torsion is found. For these two dependencies, a spatial curve, a fixed and moving axoid is constructed. The guide cone of the fixed axoid is also constructed. Studies have established that for the curve under consideration and other guiding spatial curves with the found dependencies between the curvature and torsion of the moving axoid, it is close to a straight line.*

*Key words: guide curve, curvature, torsion, three-edge of Frenet, instantaneous axis of rotation and slip, immovable and movable axoids.*

УДК 004.41

## **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО БАЛЛА АТТЕСТАТА АБИТУРИЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ АТТЕСТАТОВ**

Ладогубец Т.С.,  
Литвиненко П.Л., к.т.н.,  
Сегол Р.И., к.н. по соц. ком.,  
Финогенов А.Д., к.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*В работе на примере анализа более 30 тысяч изображений приложений к аттестату, обработанных КПИ им. Игоря Сикорского в 2018 году, выделены основные проблемы, которые возникают при обработке изображений аттестатов абитуриентов во время вступительной кампании.*

*Различия в типах загружаемых изображений, количестве и типах представленных на них документов, размерах, качестве снимков, размещении и т.д. не позволяют напрямую использовать методы распознавания текста для выделения оценок и расчета среднего балла.*

*Частично проблема может быть решена введением на предварительном этапе классификатора, который определит тип представленного документа и определит дальнейшие действия по обработке изображения. Например, довольно распространенным является изображение, на котором размещены оба разворота приложения к аттестату. При наличии всего двух вариантов размещения: сверху титульный разворот страницы, а снизу внутренний или наоборот – дает возможность обрезать часть изображения, и проводить анализ внутреннего разворота. Также распространенной ошибкой является загрузка абитуриентом изображения другого документа: самого аттестата, собственной фотографии, сертификата внешнего независимого оценивания т.д. Различия между подобными изображениями и собственно внутренним разворотом приложения к аттестату столь значительны, что дают возможность отсеять данные документы на уровне классификатора.*

*Существенной проблемой при распознавании являются различия в разрешении изображения, т.к. наиболее популярные методы машинного обучения используют поточечный анализ.*

*К сложностям также приводит и огромное количество фотоснимков документа, а не их сканированных копий. В этом случае к рассматриваемым проблемам добавляются наличие фона, центрирование документа, обрезка, тени.*

*Т.к. анализ текста обычно выполняется на черно-белых изображениях или на изображениях с градациями серого, то контрастность документа также требует дополнительной предобработки.*

*В работе приведены типовые примеры изображений документов и сделаны выводы о возможности автоматического определения среднего балла на основании сканированных копий.*

*Ключевые слова: обработка изображений, машинное обучение, классификация документов*

**Постановка проблемы.** Во время вступительных кампаний последних лет одной из составляющих рейтинга абитуриента является средний бал документа о полном среднем образовании (аттестат). Удельный вес среднего балла аттестата, поступающего определяется Условиями приема в высшие учебные заведения Украины в год поступления и правилами приема каждого высшего учебного заведения в частности (в период с 2016 по 2019 годы – до 10% от максимального конкурсного балла 200). Ввиду электронной подачи документов поступающими на основе полного среднего образования на очную и заочную формы, информация о среднем бале аттестата вносится поступающим в электронную систему и подтверждается Приемными комиссиями на основании сканированной копии, которую подает абитуриент через личный электронный кабинет. С 2018 года средние учебные заведения не должны в обязательном порядке рассчитывать и вписывать средний балл в приложение к аттестату о полном среднем образовании. Расчет полностью производится поступающим, но ответственность за правильность лежит на высшем учебном заведении. В связи с ограниченным сроком подачи документов (в 2019 году – 13 дней) и трудоемкостью процедуры подсчета, актуальным является вопрос о возможности автоматического расчета среднего балла аттестата.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В соответствии с «Условиями приема на обучение в высшие учебные заведения Украины в 2018 году» [1] сроки подачи заявлений абитуриентами, поступающими на основе полного общего среднего образования были ограничены датами 12.07.2018 - 26.07.2018. По результатам вступительной кампании от поступающих на 1-й курс в 7 ВУЗов было подано ≈20 000 заявлений и больше [2]:

- Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко (37 994 заявления);
- Львовский национальный университет имени Ивана Франко (35764);
- Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (33324);
- Национальный университет «Львовская политехника» (28900);
- Киевский национальный торгово-экономический университет (28126);
- Национальный авиационный университет (23939);
- Харьковский национальный университет имени Василя Каразина (19982).

Определение среднего балла аттестата абитуриента как составляющей его общего рейтинга является одной из трудоемких операций при обработке заявления, что непосредственно влияет на конечное распределение абитуриента. Большое количество ошибок при определении среднего бала аттестата на уровне школ (чаще всего связанных с игнорированием балла итогов государственной аттестации (экзаменов)) привела к перекладыванию основной работы по определению среднего балла на высшие учебные заведения. Это требует необходимости определения для крупных высших учебных заведений порядка 1400-2700 средних баллов аттестатов в сутки.

Более того, при выявлении ошибки высшее учебное заведение может внести изменение в средний балл аттестата, поступающего только в том случае, если это учебное заведение первым обработало электронное заявление в Единой государственной электронной базе по вопросам образования. В случае, если первым регистрацию провело другое высшее учебное заведение, возникает проблема согласования данных, которая решается исключительно в телефонном режиме или же с помощью электронной почты, что, в свою очередь, значительно усложняет процедуру проверки данных по одному и тому же абитуриенту и выведение общей рейтинговой картины

**Формулировка целей статьи.** В данной статье проведен анализ изображений аттестатов на примере сканированных копий, поданных в КПИ имени Игоря Сикорского в процессе вступительной кампании 2018 года и сделаны выводы о возможности автоматического определения среднего бала аттестата.

**Основная часть.** Хотя приложение к аттестату является унифицированным документом, но при анализе изображений был определен набор проблем, которые затрудняют возможность его обработки, а именно:



1) Ряд абитуриентов загружают не приложение к аттестату, а отличные от него документы: собственное фото, сам аттестат или другие документы (рис. 1).

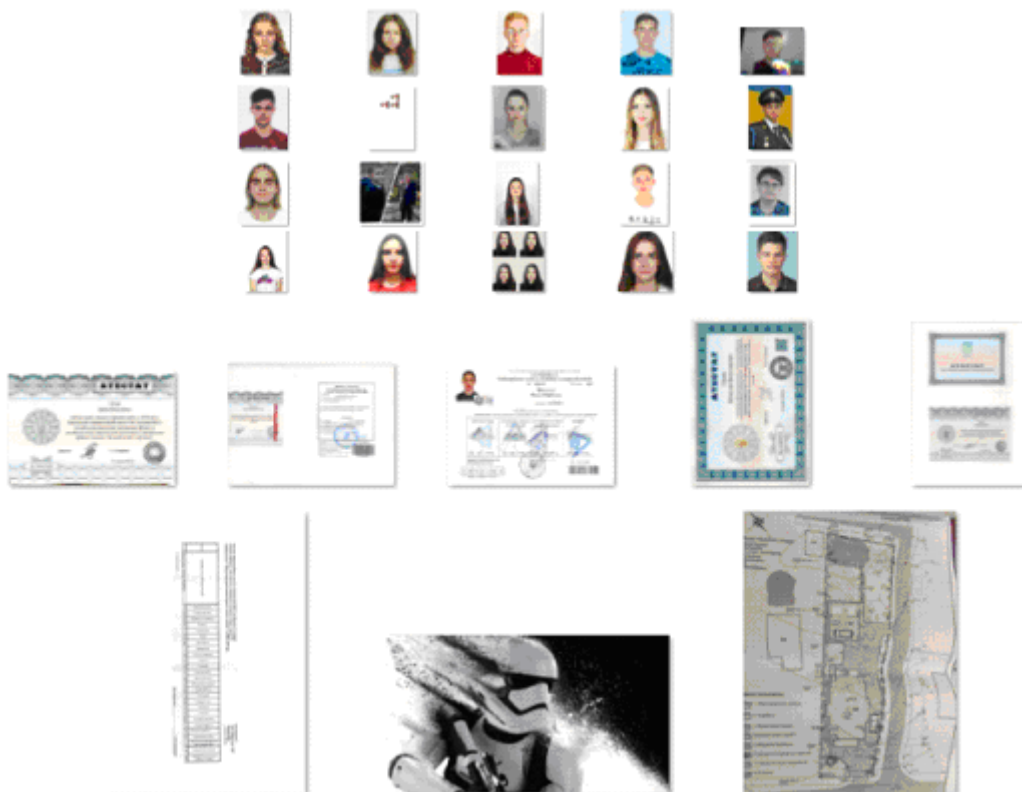


Рис.1. Примеры некорректных документов

2) Фоновое обрамление – многие из загруженных изображений получены путем не сканирования документа, а фотографирования. Кроме самого приложения аттестата часто в кадр попадает поверхность, на который расположен документ, а иногда части тела самого поступающего (рис. 2).



Рис. 2. Наличие фона

3) Расположение нескольких документов на одном изображении – часто вместе с приложением к аттестату (обратной стороны, на

которой расположена информация о ФИО, школе и оценках) на изображении присутствует и лицевая сторона и/или сам пластиковый аттестат (рис. 3).



Рис. 3. Изображения с несколькими документами

4) Расположение на картинке – встречаются как представленные в книжной, так и в альбомной ориентации. В случае, когда изображения получены с помощью фотоаппарата или мобильного телефона, документы могут быть расположены под разными углами и иметь выпуклость в месте перегиба. Кроме того есть изображения, которые расположены от «правильного» положения под углами  $\pm 90^\circ$  или  $180^\circ$ . Отдельные приложения имели на оригинале загибы или механические повреждения (рис. 4).



Рис. 4. Размещение на листе

5) Обрезка изображения – большое количество сканированных изображений представлена на листе формата А4 в натуральную величину без обрезки. То есть само приложение к аттестату может быть расположено в верхней или нижней половине листа, в середине или ближе к одному из краев, когда ориентация (альбомная для приложения) совпадает с ориентацией листа сканирования. Кроме того, некоторые изображения приложений были слишком обрезаны, что не позволяло утверждать, что представлены все записи.

6) Наличие перекрывающих элементов, например, некоторые абитуриенты прикрепляли изображение приложения к аттестату после нотариального заверения (апостиля) и на изображении присутствует красная лента, которая скрепляет документ и перекрывает часть текста (рис. 5).

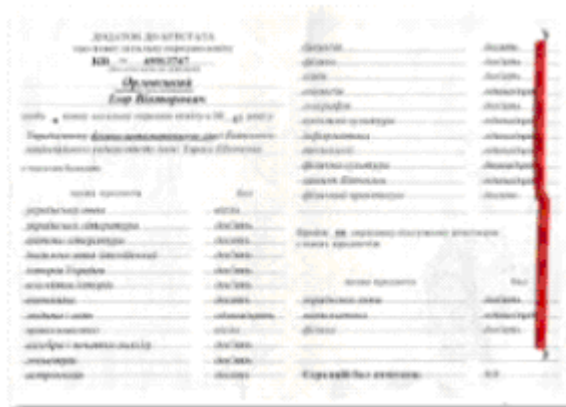


Рис. 5. Наличие перекрывающих элементов

7) Цвет – в отличие от сканированных копий, где цвет приложения к аттестату близок к циану, в зависимости от освещения съемки, встречаются изображения с цветами близкими к желтому или красному. Кроме того, значительная часть изображений предоставлена в черно-белом цвете (рис. 6).



Рис. 6. Оттенки изображений

8) Контрастность изображений – значительная часть изображений (чаще всего фотографий) представлены в «темном» виде.

9) Тени – при съемке на большом количестве фотографий имеются тени или блики фотовспышки (рис. 7).



Рис. 7. Наличие на изображениях теней

10) Качество изображений – в кабинете поступающего присутствует ограничение на размер загружаемого файла (менее 1 Мб), но отсутствуют ограничения и контроль размеров изображений. Среди анализируемых изображений размеры колеблются от 144x100 до 10200x6650 пикселей (рис. 8).

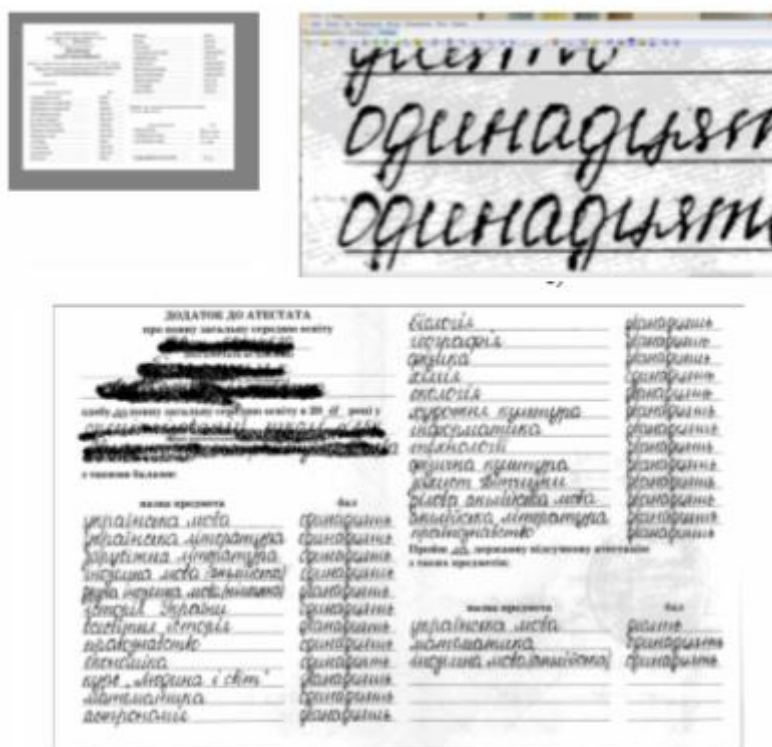


Рис. 8. Отличия в качестве изображений

11) Тип файла – хотя все приложения расположены в Единой государственной электронной базе по вопросам образования загружаются в формате JPG, но некоторые поступающие размещают файлы в формате PDF, заменив расширение файла, например, чтобы

разместить в одном файле на нескольких страницах обе стороны приложения аттестата.

Таким образом, автоматическое определение среднего балла аттестата абитуриента невозможно без предварительной обработки и классификации документов, что усложняет и замедляет процесс электронной обработки заявлений, добавляя человеческий фактор (подсчет производится вручную с изображений) и увеличивая процент ошибок. В зависимости от определенных проблем или их совокупности, последовательность действий для автоматической обработки изображения и дальнейшего его распознавания может быть крайне трудной алгоритмической задачей.

**Выводы.** Перед решением задачи автоматического определения среднего балла аттестата необходимо разработать классификатор, на основе анализа которого уменьшить количество «проблемных» изображений и определит порядок действий для их обработки.

### *Литература*

1. Умови прийому на навчання до вищих навчальних закладів України у 2018 році. URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1397-17/page#n17>. (дата звернення: 12.02.2019).
2. Статистика ВНЗ по количеству поданных заявлений. URL: <https://grade.ua/uk/news/interesnaya-statistika-vstupitelnoj-kampanii-2018/>. (дата звернення : 05.04.2019).

## **ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО БАЛУ АТЕСТАТУ АБИТУРІЄНТА ПРИ ОБРАБЦІ ЗОБРАЖЕНЬ АТЕСТАТИВ**

Ладогубець Т.С., Литвиненко П.Л., Сегол Р.І., Фіногенов О.Д.

*У роботі на прикладі аналізу більше 30 тисяч зображень додатків до аттестата, поданих в КПП ім. Ігоря Сікорського в 2018 році, виділені основні проблеми, які виникають при обробці зображень аттестатів абітурієнтів під час вступної кампанії.*

*Відмінності в типах зображень, що завантажуються, кількості і типах представлених на них документів, розмірах, якості знімків, розміщенні і т.д. не дозволяють безпосередньо використовувати методи розпізнавання тексту для виділення оцінок і розрахунку середнього балу.*

*Частково проблема може бути вирішена введенням на попередньому етапі класифікатора, який визначить тип*

*представленого документа і визначить подальші дії по обробці зображення. Наприклад, досить поширеним є зображення, на якому розміщені обидва розвороту додатки до атестата. При наявності всього двох варіантів розміщення: зверху титульний розворот сторінки, а знизу внутрішній або навпаки - дає можливість обрізати частину зображення, і проводити аналіз внутрішнього розвороту. Також поширеною помилкою є завантаження абітурієнтом зображення іншого документа: самого атестата, власної фотографії, сертифіката зовнішнього незалежного оцінювання тощо. Відмінності між подібними зображеннями і власне внутрішнім розворотом додатку до атестата настільки значні, що дають можливість відсіяти дані документи на рівні класифікатора.*

*Суттєвою проблемою при розпізнаванні є відмінності в розмірах зображень, тому що найбільш популярні методи машинного навчання використовують піксельний аналіз.*

*До складнощів також призводить і величезна кількість фотознімків документа, а не їх сканованих копій. В цьому випадку до досліджуваних проблем додаються наявність фону, центрування документа, обрізка, тіні.*

*Оскільки аналіз тексту зазвичай виконується на чорно-білих зображеннях або на зображеннях з градаціями сірого, то контрастність документа також вимагає додаткової попередньої обробки.*

*В роботі наведені типові приклади зображень документів і зроблені висновки про можливість автоматичного визначення середнього балу на підставі сканованих копій.*

*Ключові слова: обробка зображень, машинне навчання, класифікація документів.*

## **SPECIAL ASPECTS IN THE AUTOMATIC DETERMINATION OF THE AVERAGE SCORE OF THE APPLICANT'S SECONDARY EDUCATION'S CERTIFICATE**

Ladogubets T., Lytvynenko P., Segol R., Finogenov A.

*The article includes the example analysis of over 30 thousand of annexes to the secondary education's certificate images, submitted during enrolment process to the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" in 2018, highlighted the main*

*problems arise when processing annexes to the secondary education's certificate images during the application campaign.*

*Differences in downloaded images types, documents presented number and types, size, image quality, placement, etc. do not allow direct use of text recognition methods to highlight ratings and calculate the average score.*

*Partially, the problem can be solved by introducing at the preliminary stage a classifier that will determine the submitted document's type and further actions on image processing. For example, it is quite common to have an image in which both spreads of the annex are placed. If there are only two options for placement: a title spread on the top of the page, and an inner one on the bottom or vice versa, it makes it possible to trim part of the image and analyze the internal spread. It is also a common mistake for an applicant to upload another document's image: the certificate itself, the applicant's own photo, an external independent assessment's certificate, etc. The differences between similar images and the actual internal spread to the secondary education's certificate are so significant that they make it possible to separate out these documents at the classifier level.*

*A significant problem with recognition is the differences in image resolution since the machine learning most popular methods use a point-by-point analysis.*

*The huge number of documents photos and not their scanned copies also leads to the difficulties. In this case, the background presence, the document's centering, cropping, and shadows are added to the problems considered.*

*Because text analysis is usually performed on black and white images or on images with gray-scale, then the document's contrast also requires additional pre-processing.*

*The paper presents typical examples of document images and made conclusions on the automatic determination possibility of the average score based on scanned copies.*

*Key words: image processing, machine learning, document classification.*

УДК 514.18

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТОРСОВИХ ПОВЕРХОНЬ З РЕБРОМ ЗВОРОТУ АПАРАТОМ БН-ЧИСЛЕННЯ

Літвінов А.І.,  
Пахаренко В.О., д.т.н.,  
Лебедев В.О., к.т.н.,  
Спірінцев Д.В., к.т.н.

*Мелітопольська школа прикладної геометрії,  
Відокремлений структурний підрозділ «Мелітопольський коледж  
Таврійського державного агротехнологічного університету»  
(Україна)*

*У статті розглядається приклад використання інструментів математичного апарату БН-обчислення для геометричного моделювання торсових поверхонь з ребром звороту, що володіє наперед заданими характеристиками. Спосіб побудови торсової поверхні виходить з її визначення і має на меті визначення дотичної, що утворює торсову поверхню, в кожній точці ребра звороту, яке є направляючої шуканої торсової поверхні. При цьому ребро звороту повинно бути просторовою кривою як мінімум двоякої кривизни.*

*Одними з найбільш простих і в той же час легко керованих різновидів просторових кривих, що володіють необхідними властивостями, є криві однієї відносини, форма яких управляється двома інженерними дискримінантами  $f_p$  і  $f_q$ . Змінюючи їх значення в межах від 0 до 1 можна змоделювати різні форми ребра звороту і, відповідно, торсової поверхні. Слід зазначити, що при значенні інженерного дискримінанту  $f_p = f_q = 0,5$  отримуємо окремий випадок - криві Без'є третього порядку. В результаті отримані точкові рівняння і обчислювальні алгоритми моделювання торсових поверхонь за допомогою дуг просторових кривих третього порядку, утворених за допомогою наступних комбінацій різновидів кривих другого порядку: параболі і гіперболи, гіперболи і еліпса, еліпса і параболі, параболі і параболі, еліпса і еліпса, гіперболи і гіперболи. Використовуючи можливості сучасної комп'ютерної графіки, на основі отриманих точкових рівнянь і обчислювальних алгоритмів в роботі, представлена візуалізація деяких із прикладів отриманих торсових поверхонь.*

*Ключові слова: апарат БН-числення, дотична, дуга кривої третього порядку, крива одного відношення, напрямна крива, ребро звороту, торсова поверхня, точкове числення Балюби-Найдиша.*



**Постановка проблеми.** Завдяки всім властивостям поверхонь, що розгортаються, торсові поверхні володіють рядом переваг, що дозволяють проектувати за їх допомогою доволі складні конструкції. Довільна форма ребра звороту, дотичні до якого утворюють торс, дозволяє надати необхідну форму, задані технологічні властивості та роблять торсову поверхню перспективною для використання в різних областях промисловості, господарства та будівництва.

Саме тому актуальним є формування аналітичного опису з виводом рівнянь торсів, що надають можливість отримати необхідну інформацію для інженерних розрахунків оболонок з відсіків таких поверхонь, за допомогою апарату точкового БН-числення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед українських вчених, які займалися розв'язанням задачі геометричного моделювання торсових поверхонь, необхідно відзначити роботи Підгорного О.Л., Балюби І.Г., Обухової В.С., Несвідоміна В.Н., Пилипаки С.Ф., Горягіна Б.Ф. та ін.

У точковому БН-численні подібна задача досліджувалась лише частково. Наприклад, у роботі Горягіна Б.Ф. представлено тільки спосіб конструювання торсової поверхні отриманого обкаткою двох конусів.

У роботі Конопацького Є.В. [1] представлено способи геометричного моделювання ряду просторових дуг кривих різних порядків, які можна використовувати в якості ребра звороту.

У роботах Давиденко І.П. [2,3] представлено способи отримання дотичної до кривої в рамках апарату точкового БН-числення.

Теоретичною базою для побудови геометричних об'єктів є апарат точкового числення Балюби-Найдиша (БН-числення), що викладено у роботах [4,5].

**Формулювання цілей статті.** Сформулювати спосіб геометричного моделювання торсових поверхонь з ребром звороту за наперед заданими характеристиками апаратом точкового БН-числення.

**Основна частина.** У загальному випадку торс являє собою геометричне місце дотичних до свого ребра звороту, яким може бути будь-яка неплоска крива. Однією з вагомих умов іноді є конструювання ребра звороту наперед заданого типу. Наприклад для торсу четвертого порядку ребром звороту є просторова крива  $c^3$  третього порядку [6].

Розглянемо симплекс  $ABCD$  (рис. 1). Задамо ребро звороту торсової поверхні дугою кривої третього порядку в три вимірному просторі, як кривою одного відношення:

$$M = (A - D) \frac{f_p \bar{u}^3}{f_p (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u}} + (B - D) \frac{f_q u^3}{f_q (1 - 2t)^2 + 2u\bar{u}} +$$

$$+ (C - D) \left[ \bar{u} - \frac{f_p \bar{u} (\bar{u}^2 + u^2)}{f_p (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u}} + \frac{f_q \bar{u}^2 u}{f_q (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u}} \right] + D. \quad (1)$$

Відповідно до роботи [1] регулюючи значення параметрів  $f_p$  та  $f_q$  в межах від 0 до 1 отримано класифікацію дуг просторової кривої третього порядку, в залежності від того, які криві другого порядку утворюють перший або другий конус. Наприклад, можна отримати дуги просторової кривої третього порядку, як криві утворені за допомогою параболи та гіперболи, гіперболи та еліпсу, еліпсу та параболи тощо. Таким чином, цей підхід дозволяє конструювати різноманітні форми ребра звороту, а, отже, і торсових поверхонь.

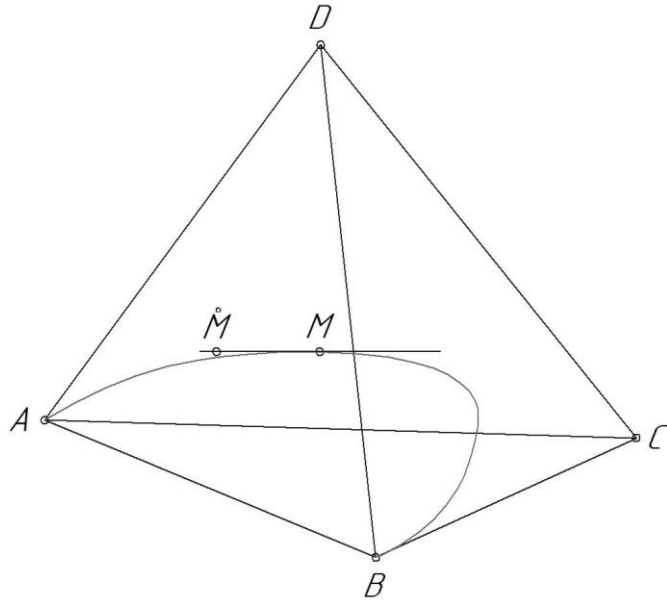


Рис. 1. Геометрична схема конструювання торсової поверхні з ребром звороту

Для того щоб побудувати дотичну до ребра звороту необхідно визначити дві точки. Одна з точок, точка дотику  $M$ , завжди знаходиться на кривій, як поточна її точка. Для завдання дотичної до кривої досить визначити ще одну точку. Таким чином, параметр повинен визначати не тільки поточну точку  $M$  кривої, але і ще одну точку  $\dot{M}$  дотичної до кривої в точці  $M$ :

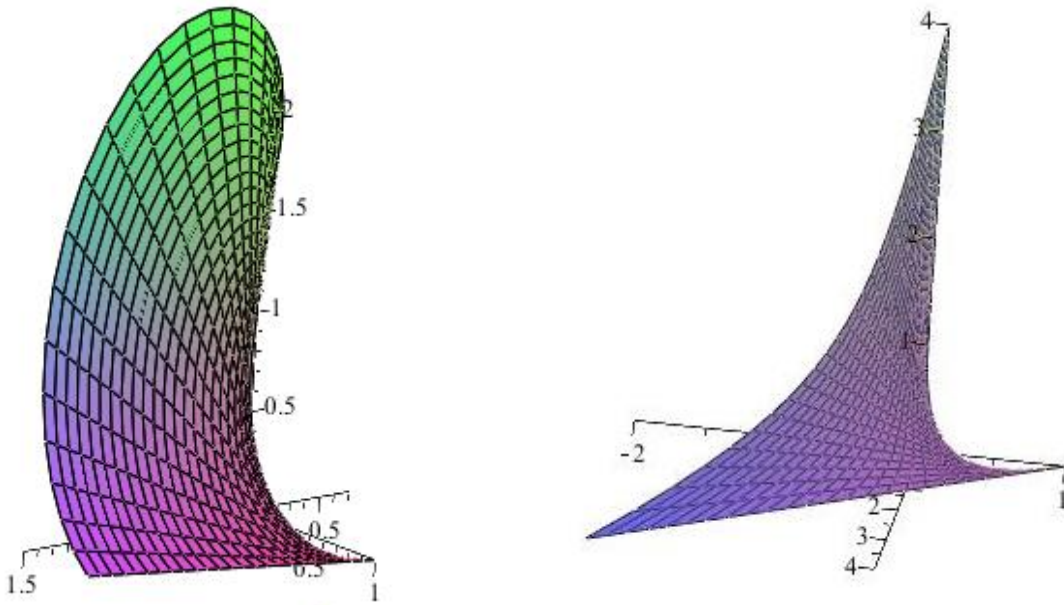
$$\dot{M} = (A - D) \frac{2f_p(-1+u)(2f_p u - f_p - u + 1)}{(f_p(1-2u)^2 + 2u\bar{u})^2} + (B - D) \frac{-2f_q u(2f_q u - f_q - u)}{(f_q(1-2u)^2 + 2u\bar{u})^2} +$$

$$+ (C - D) \left[ -1 + \frac{f_p(8f_p u^4 - 16f_p u^3 - 4u^4 + 10f_p u^2 + 8u^3 - 2u^2 - f_p - 4u + 2)}{(f_p(1-2u)^2 + 2u\bar{u})^2} + \frac{f_q(-1+u)(4f_q u^3 - 4f_q u^2 - 2u^3 + 3f_q u + 2u^2 - f_q)}{(f_q(1-2u)^2 + 2u\bar{u})^2} \right]. \quad (2)$$

Рівняння торсової поверхні  $N$  в термінах БН-числення визначимо як рівняння прямої, що визначається параметрами  $u$  та  $v$ , що змінюються в межах від 0 до 1, та двома постійними параметрами  $f_P$  і  $f_Q$ :

$$\begin{aligned}
 N = & (A - D) \left[ \frac{f_P \bar{u}^3}{f_P (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u}} + \frac{2f_P(-1+u)(2f_P u - f_P - u + 1)}{(f_P (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u})^2} v \right] + \\
 & + (B - D) \left[ \frac{f_Q u^3}{f_Q (1 - 2t)^2 + 2u\bar{u}} + \frac{-2f_Q u(2f_Q u - f_Q - u)}{(f_Q (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u})^2} v \right] + D + \\
 & + (C - D) \left[ \begin{aligned} & \bar{u} - v - \frac{f_P \bar{u}(\bar{u}^2 + u^2)}{f_P (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u}} + \frac{f_Q \bar{u}^2 u}{f_Q (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u}} + \\ & + \frac{f_P(8f_P u^4 - 16f_P u^3 - 4u^4 + 10f_P u^2 + 8u^3 - 2u^2 - f_P - 4u + 2)}{(f_P (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u})^2} v + \\ & + \frac{f_Q(-1+u)(4f_Q u^3 - 4f_Q u^2 - 2u^3 + 3f_Q u + 2u^2 - f_Q)}{(f_Q (1 - 2u)^2 + 2u\bar{u})^2} v \end{aligned} \right]. \quad (3)
 \end{aligned}$$

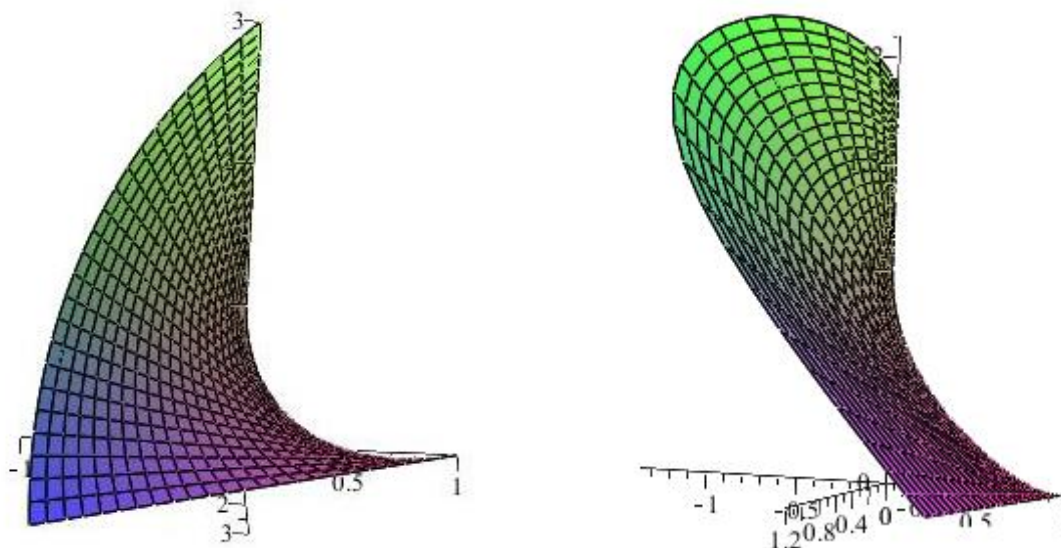
Візуалізація роботи точкового рівняння (3) та отриманих на його основі торсових поверхонь представлено на рис. 2 та 3.



а)  $f_P = 0,8$   $f_Q = 0,8$ ;

б)  $f_P = 0,4$   $f_Q = 0,4$ ;

Рис. 2. Торсові поверхні з ребром звороту за наперед заданими характеристиками



а)  $f_p = 0,5$   $f_Q = 0,5$ ;

б)  $f_p = 0,9$   $f_Q = 0,7$ ;

Рис. 3. Торсові поверхні з ребром звороту за наперед заданими характеристиками

**Висновки.** У статті засобами апарату БН-числення було запропоновано спосіб геометричного моделювання торсових поверхонь з ребром звороту за наперед заданими характеристиками. Представлені точкові рівняння дозволяють конструювати довільну форму ребра звороту та торсу відповідно. Це дає можливість задати необхідні технологічні властивості торсової поверхні та проводити інженерні розрахунки. У перспективі планується розглядати інші просторові криві в якості ребер звороту.

### *Література*

1. Конопацький Є. В. Геометричне моделювання алгебраїчних кривих та їх використання при конструюванні поверхонь у точковому численні Балюби-Найдиша : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01 / Таврійський державний агротехнологічний університет. Мелітополь, 2012. 163 с.
2. Давиденко І. П. Конструювання поверхонь просторових форм методом рухомого симплексу : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01. Мелітополь, 2012. 23 с.
3. Балюба І. Г., Давиденко І. П. Похідна кривої та прямокутна сітка на поверхні. Праці Таврійської державної агротехнологічної академії. Мелітополь, 2003. Вип. 4. С. 45–48.
4. Балюба І. Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении : дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01. Мелітополь, 1995. 227 с.
5. Балюба І. Г., Найдыш В. М. Точечное исчисление : учеб. пособ. / за ред. В. М. Верещаги. Мелітополь : МГПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. 236 с.

6. Кривошапко С. Н. Конструирование по заданному ребру возврата. *Торсовые поверхности и оболочки* : справочник. Москва, 1991. С. 16–17.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРСОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С РЕБРОМ ВОЗВРАТА АППАРАТОМ БН–ИСЧИСЛЕНИЯ

Литвинов А.И., Пахаренко В.А., Лебедев В.А., Спиринцев Д.В.

*В статье рассматривается пример использования инструментов математического аппарата БН-исчисления для геометрического моделирования торсовых поверхностей с ребром возврата, обладающим наперёд заданными характеристиками. Способ построения торсовой поверхности исходит из её определения и подразумевает определение касательной, как образующей торсовой поверхности, в каждой точке ребра возврата, которое является направляющей искомой торсовой поверхности. При этом ребро возврата должно быть пространственной кривой как минимум двоякой кривизны.*

*Одними из наиболее простых и вместе с тем легко управляемых разновидностей пространственных кривых, обладающих необходимыми свойствами, являются кривые одного отношения, форма которых управляется двумя инженерными дискриминантами  $f_P$  и  $f_Q$ . Изменяя их значения в пределах от 0 до 1 можно смоделировать различные формы ребра возврата и, соответственно, торсовой поверхности. Следует отметить, что при значении инженерного дискриминанта  $f_P = f_Q = 0,5$  получим частный случай – кривые Безье 3-го порядка. В результате получены точечные уравнения и вычислительные алгоритмы моделирования торсовых поверхностей с помощью дуг пространственных кривых 3-го порядка, образованных с помощью следующих комбинаций разновидностей кривых 2-го порядка: параболы и гиперболы, гиперболы и эллипса, эллипса и параболы, параболы и параболы, эллипса и эллипса, гиперболы и гиперболы. Используя возможности современной компьютерной графики, на основе полученных точечных уравнений и вычислительных алгоритмов в работе, представлена визуализация некоторых из примеров полученных торсовых поверхностей.*

*Ключевые слова: аппарат БН-исчисления, касательная, дуга кривой третьего порядка, кривая одного отношения, направляющая кривая, ребро возврата, торсовая поверхность, точечное исчисление Балюба-Найдиша.*

## GEOMETRICAL MODELING OF TORSION SURFACES WITH RETURN EDGE BY THE BN-CALCULUS APPARATUS

Litvinov A., Pakharenko V., Lebedev V., Spiritsev D.

*The article discusses an example of using the tools of the mathematical apparatus of BN-calculus for geometric modeling of torsion surfaces with a return edge, which have predetermined characteristics. The method of constructing a torsion surface is based on its definition and implies the definition of a tangent, as forming a torsion surface, at each point of the return edge, which is the guiding target torsion surface. At the same time, the return edge must have a spatial curve of at least a double curvature.*

*One of the most simple and at the same time easily controlled varieties of spatial curves with the necessary properties are curves of one relation, the shape of which is controlled by two engineering discriminants  $f_p$  and  $f_q$ . By changing their values in the range from 0 to 1, it is possible to model various forms of the return edge and, accordingly, the torso surface. It should be noted that when the value of the engineering discriminant  $f_p = f_q = 0,5$  we obtain a special case - Bezier curves of the third order. As a result, point equations and computational algorithms for modeling torso surfaces using arcs of third-order spatial curves, formed using the following combinations of second-order curve varieties: parabolas and hyperbolas, hyperbolas and ellipses, ellipses and parabolas, parabolas and parabolas, ellipses and ellipse, hyperbola and hyperbola. Using the capabilities of modern computer graphics, based on the obtained point equations and computational algorithms in the work, visualization of some of the examples of the obtained torsion surfaces is presented.*

*Key words: Arc of the third-order curve, BN-calculus apparatus, curve of one relation, guide curve, point calculus of Balyuba-Naydysh, return edge, tangential, torso-surface.*

УДК 514.18

## РАЗГАДКА ТАЙНЫ ГРАВЮРЫ М. К. ЭШЕРА «ВСАДНИКИ»

Ницын А.Ю., д.т.н.

НТУ «Харьковский политехнический институт» (Украина)

*Наиболее простой способ построения орнамента, целиком заполняющего плоскость, состоит в её замощении раппортом, то есть повторяющейся частью орнамента, у которой рисунок, примыкающий к одной стороне, является продолжением рисунка, примыкающего к противоположной стороне. Обычно раппортом служит прямоугольник, ромб, правильный треугольник или правильный шестиугольник, содержащий рисунок, нанесённый по определённым правилам.*

*Кроме того, существует бесчисленное множество паркетов, составленных из правильных и неправильных многоугольников. К ним относятся правильные и полуправильные паркеты. Полуправильные паркеты делятся на однородные и неоднородные паркеты. В свою очередь, неоднородные паркеты подразделяются на периодические и непериодические паркеты и так далее.*

*К сожалению, в настоящее время способы построения фигур, стилизующих изображения животных и растений и целиком заполняющих плоскость, не являются предметом научных исследований. После М. К. Эшера фигурными плитками в форме животных и растений никто больше не занимался.*

*Предложено правило построения фигурной плитки, заполняющей плоскость без наложений и пропусков при параллельных переносах и отражениях её повторений, в частности фигурной плитки в форме животного или растения. Рассмотрено построение фигурной плитки, обобщающей изображения человека и лошади на гравюре М. К. Эшера «Всадники». Предложенное правило было применено для составления орнаментов, стилизующих гравюры М. К. Эшера «Всадники», «Лебеди», «Рыбы и чешуйки» и «День и ночь». Предполагается, что предметом дальнейших исследований будет разгадка тайны гравюры М. К. Эшера «Рептилии».*

*Ключевые слова: замощение плоскости, фигурные плитки в форме животных и растений, стилизация гравюр М. К. Эшера.*

**Постановка проблемы.** Пожалуй, нет такого поклонника искусства Маурица Корнелиса Эшера (1898–1972), который не задумался бы над вопросом: «Как М. К. Эшер создавал такие гравюры, как «Всадники», «День и ночь», «Небо и вода» или

«Рептилии»?») К сожалению, М. К. Эшер ушёл из жизни, так и не раскрыв тайны своих гравюр. Приведём его пояснение к гравюре «Всадники»: «Ещё один пример скользящего зеркального отражения. По широкому замкнутому кругу слева направо движется процессия всадников. Чтобы уяснить, что светлые фигуры – зеркальные отражения чёрных, представьте себе, что это кусок ткани с вытканым узором, где уток и основа разного цвета. Таким образом, на изнанке полосы тёмные рыцари на светлом поле становятся светлыми на тёмном поле. В центральной части лицевая и изнаночная стороны находят друг на друга, соединяются, и в этом месте образуется поверхность, заполненная прилегающими друг к другу фигурами светлых и тёмных всадников» (Эшер, 2001, с. 8). Разве можно из приведённого пояснения понять, каким образом была получена фигура всадника, целиком заполняющая плоскость при параллельных переносах и отражениях её повторений? Между тем, дизайнерам, занятым в производстве облицовочной плитки, тканей, тротуарной плитки, обоев и так далее, было бы полезно знать о том, как создавались гравюры М. К. Эшера. Поэтому открытие закона, которому соответствует фигура, заполняющая плоскость без наложений и пропусков при параллельных переносах и отражениях её повторений, является актуальной задачей художественного конструирования.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Не удивительно, что загадки гравюр М. К. Эшера занимают не только любителей искусства, но и многих видных учёных [2]. Однако, несмотря на то, что научные труды по симметрии в природе и в искусстве обязательно содержат репродукции гравюр М. К. Эшера, их авторы рассматривают или виды симметрии, применяемые им [3–5], или предлагают традиционные подходы к изучению методов его работы [6–10]. Например, авторы известных нам научных трудов рассматривают гравюры М. К. Эшера как мозаику, составленную из многоугольников с нанесённым на них повторяющимся рисунком. Поэтому они ищут в гравюрах М. К. Эшера фрагменты, которые вписываются в ромбы, квадраты, правильные треугольники или шестиугольники, и с их помощью составляют мозаику.

Кстати, существует бесчисленное множество паркетов: правильные паркеты, состоящие из правильных многоугольников одного вида; полуправильные паркеты, составленные из правильных многоугольников двух или более видов таким образом, чтобы для любых двух вершин паркета существовало преобразование симметрии, совмещающее одну вершину с другой. Полуправильные паркеты подразделяются на однородные паркеты, составленные таким образом, чтобы для любых двух его вершин существовало



преобразование симметрии, переводящее одну вершину в другую, и на неоднородные паркеты, у которых последовательности многоугольников вокруг любых двух его вершин должны быть одинаковыми. Среди множества однородных паркетов выделяются квазиправильные паркеты, состоящие из многоугольников двух видов, чередующихся вокруг каждой его вершины таким образом, чтобы каждый многоугольник был окружён многоугольниками другого типа [7]. Кроме того, существует бесконечное множество неоднородных паркетов, имеющих повторяющийся фрагмент, состоящий из нескольких многоугольников. Если фрагменты повторяются через равные расстояния с помощью двух параллельных переносов, то паркет называется периодическим, а если фрагменты повторяются через разные расстояния, то паркет называется непериодическим [7]. К непериодическим паркетам относятся плитки Пенроуза с повторяющимся фрагментом, который первоначально состоял из плиток шести видов: трёх правильных пятиугольников, пятиконечной звезды, плитки в форме «лодочки» и ромба. Позже был открыт повторяющийся фрагмент, состоящий из двух плиток: выпуклого четырёхугольника в форме «воздушного змея» и вогнутого четырёхугольника в форме «наконечника дротика», а ещё позже был обнаружен повторяющийся фрагмент, состоящий из двух ромбов, имеющих равные стороны, но разные углы [7, 8].

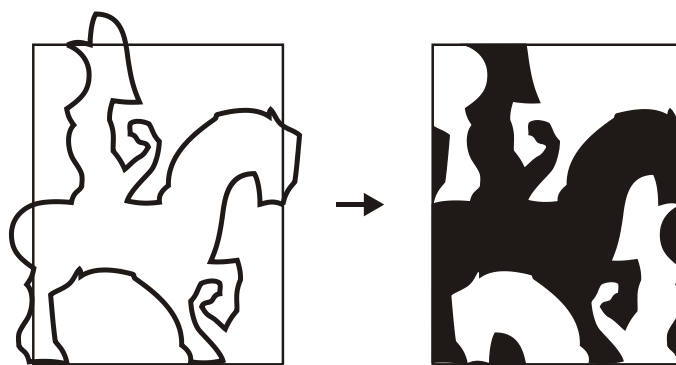


Рис. 1. Схема построения раппорта орнамента, стилизующего гравюру М. К. Эшера «Всадники»

К сожалению, в настоящее время способы построения фигур, стилизующих изображения животных и растений и целиком заполняющих плоскость, не являются предметом научных исследований. После М. К. Эшера фигурными плитками в форме животных и растений никто больше не занимался.

**Формулирование целей статьи.** Таким образом, цель статьи состоит в том, чтобы установить правило построения фигуры, стилизующей изображения животных и растений и заполняющей

плоскость без наложений и пропусков при параллельных переносах и отражениях её повторений.

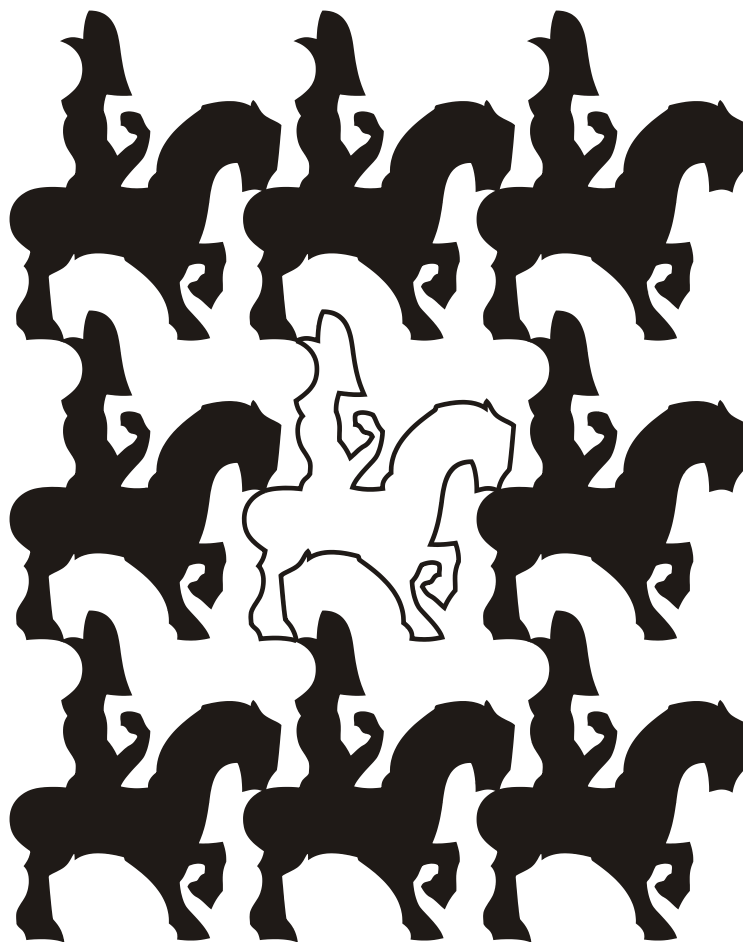


Рис. 2. Орнамент, стилизующий гравюру М. К. Эшера «Всадники», и её повторяющаяся фигура

**Основная часть.** Наиболее простой способ построения орнамента, целиком заполняющего плоскость, состоит в её замощении раппортом, то есть повторяющейся частью орнамента, у которой рисунок, примыкающий к одной стороне, является продолжением рисунка, примыкающего к противоположной стороне. Как правило, раппортом служит прямоугольник, ромб, правильный треугольник или правильный шестиугольник, содержащий рисунок, нанесённый по определённым правилам [11]. Покажем на рис. 1 раппорт орнамента, стилизующего гравюру М. К. Эшера «Всадники».

Впрочем, мы не думаем, что М. К. Эшер пользовался раппортом, потому что в цитате, приведённой выше, чётко говорится о «скользящем зеркальном отражении», то есть о параллельном переносе и отражении повторяющейся фигуры орнамента, между тем как приведённый метод подразумевает только её параллельный перенос. Однако более существенным замечанием является то, что в нём не содержится ответ на главный вопрос: «Как построить фигуру,

которая содержится в раппорте орнамента, стилизующего гравюру М. К. Эшера «Всадники»?

Мы нашли удивительно простое правило построения фигуры, стилизующей изображения человека и лошади на гравюре М. К. Эшера «Всадники» и заполняющей плоскость без наложений и пропусков при параллельных переносах и отражениях её повторений. Однако из-за ограниченного объёма статьи мы не можем дать в ней его описание.

Приложим найденное нами правило к составлению орнамента, стилизующего гравюру М. К. Эшера «Всадники», и покажем его на рис. 2.



Рис. 3. Орнамент, стилизующий гравюру М. К. Эшера «Лебеди», и её повторяющаяся фигура

Обратим внимание, что орнамент, показанный на рис. 2, состоит из рядов всадников, движущихся слева направо и окрашенных в чёрный цвет, и рядов всадников, движущихся справа налево и окрашенных в белый цвет. Причём ряды чёрных всадников и ряды белых всадников могут выступать как в качестве изображения, так и в качестве фона, на который накладывается изображение. Следовательно, орнамент, показанный на рис. 2, состоит из двух изображений, наложенных друг на друга таким образом, чтобы первое изображение было фоном для второго изображения, а второе изображение – фоном для первого изображения. Поэтому будем называть орнамент, показанный на рис. 2, «бесфоновым» [13].

Чтобы доказать, что найденное нами правило можно применить ко *всем* орнаментам, в которых фигуры на заднем плане является зеркальным отражением фигур на переднем плане, мы составили с его помощью «бесфоновые» орнаменты, стилизующие гравюры М. К. Эшера «Лебеди» (1956) и «Рыбы и чешуйки» (1959). Покажем на рис. 3 орнамент, стилизующий гравюру «Лебеди», а на рис. 4 – орнамент, стилизующий гравюру «Рыбы и чешуйки».

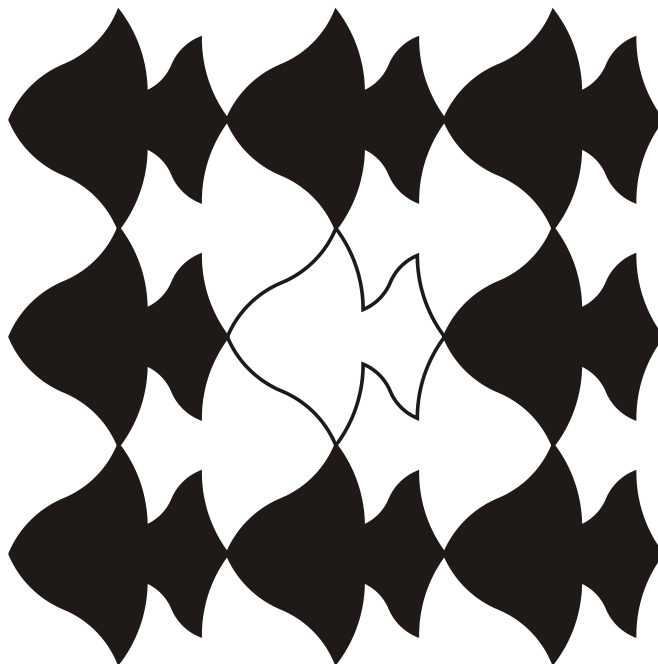


Рис. 4. Орнамент, стилизующий гравюру М. К. Эшера «Рыбы и чешуйки», и её повторяющаяся фигура

Кроме того, мы применили найденное нами правило для составления орнамента, стилизующего гравюру М. К. Эшера «День и ночь» (1938). Покажем его на рис. 5.

Приведённые выше орнаменты наглядно доказывают, что найденное нами правило построения повторяющейся фигуры можно считать законом, которому подчиняются *все* «бесфоновые» орнаменты, удовлетворяющие следующим условиям:

изображения переднего и заднего планов являются повторениями одной и той же фигуры;

фигуры, расположенные на переднем плане, являются отражениями фигур, расположенных на заднем плане.

**Выводы.** Таким образом, в статье предложено правило построения фигуры, стилизующей изображения животных и растений и заполняющей плоскость без наложений и пропусков при параллельных переносах и отражениях её повторений, в частности фигуры, обобщающей изображения человека и лошади на гравюре М. К. Эшера «Всадники». Предложенное правило было применено

для составления орнаментов, стилизующих гравюры М. К. Эшера «Всадники», «Лебеди», «Рыбы и чешуйки» и «День и ночь». Кроме гравюры «Всадники», М. К. Эшер создал ещё одну загадочную гравюру, а именно: гравюру «Рептилии». Поэтому разгадке тайны гравюры «Рептилии» и будет посвящена наша следующая статья.

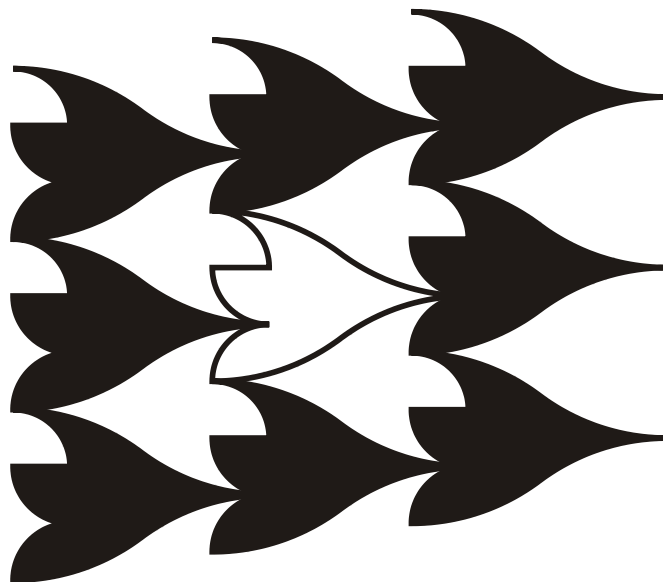


Рис. 5. Орнамент, стилизующий гравюру М. К. Эшера «День и ночь», и её повторяющаяся фигура

### *Литература*

1. М. К. Эшер. Графика; предисловие и аннотации художника. Кёльн, Москва: Tashen, Арт-Родник, 2001. 92 с.
2. Escher, M. The World of M. C. Escher / ed. by J. L. Locher. New York: Harry N. Abrams, 1974. 235 p.
3. MC Escher's Legacy: A Centennial Celebration / ed. by Schattschneider, D. and Emmer, M. Berlin: Springer, 2005. 489 p.
4. Вейль Г. Симметрия; пер. с англ. Б. В. Бирюкова и Ю. А. Данилова под ред. Б. А. Розенфельда. М.: Наука, 1968. 192 с.
5. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М.: Наука, 1972. 339 с.
6. Узоры симметрии: сб. статей / под ред. М. Сенешаль и Дж. Флека; пер. с англ. Ю. А. Данилова под ред. акад. Н. В. Белова и проф. Н. Н. Шефтеля. М.: Мир, 1980. 271 с.
7. Grünbaum, B., Shephard, G. C. Tilings and Patterns. 2nd ed. Dover Books on Mathematics, 2016. 700 p.
8. Мартин Гарднер. Математические головоломки и развлечения / пер. Ю. А. Данилова, под ред. Я. А. Смородинского. 2-е изд. М.: Мир, 1999. 358 с.

9. Raedtschelders, P. Tilings and Other Unusual Escher-Related Prints. *MC Escher's Legacy: A Centennial Celebration*. Berlin: Springer, 2005. P. 230–243.
10. Le, San. The Art of Space Filling in Penrose Tilings and Fractals. Cornell: Cornell University, 2012. 26 p. URL: <http://arxiv.org/abs/1106.2750>.
11. Школа изобразительного искусства: в 10 вып.; ред. коллегия: акад. М. Г. Манизер, В. А. Серов, П. М. Сысоев, проф. М. Н. Алексич. М.: Искусство, 1965. Вып. 9 / под ред. В. С. Баркова. 1968. 255 с.
12. Hofstadter Douglas. Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid. Basic Books, 1979. 752 p.
13. Мамедов Х., Дадашев С. Чёрное – это белое. *Декоративное искусство СССР*. М., 1988. № 8 (369). С. 7–10.

## **РОЗГАДКА ТАЄМНИЦІ ГРАВЮРИ М. К. ЕШЕРА «ВЕРШНИКИ»**

Ніщин О.Ю.

*Найбільш простий спосіб побудови орнаменту, що цілком заповнює площину, полягає в її замощенні раппортом, тобто частиною орнаменту, у якій малюнок, що примикає до однієї сторони, є продовженням малюнка, що примикає до протилежної сторони. Зазвичай раппортом служить прямокутник, ромб, правильний трикутник або правильний шестикутник, що містить малюнок, нанесений за певними правилами.*

*Крім того, існує безліч паркетів, складених з правильних і неправильних багатокутників. До них відносяться правильні і напівправильні паркети. Напівправильні паркети діляться на однорідні і неоднорідні паркети. У свою чергу, неоднорідні паркети поділяються на періодичні і неперіодичні паркети і так далі.*

*На жаль, в даний час способи побудови фігур, що стилізують зображення тварин і рослин і цілком заповнюють площину, не є предметом наукових досліджень. Після М. К. Ешера фігурними плитками у формі тварин і рослин ніхто більше не займався.*

*Запропоновано правило побудови фігурної плитки, що заповнює площину без накладень і пропусків при паралельних перенесеннях і віддзеркаленнях її повторень, зокрема фігурної плитки у формі тварини або рослини. Розглянуто побудову фігурної плитки, що об'єднує зображення людини і коня на гравюрі М. К. Ешера «Вершники». Запропоноване правило було застосовано для складання*

орнаментів, що стилізує гравюри М. К. Ешера «Вершники», «Лебеді», «Риби і лусочки» і «День і ніч». Припущено, що предметом подальших досліджень буде розгадка таємниці гравюри М. К. Ешера «Рептилії».

Ключові слова: замощення площини, фігурні плитки у формі тварин і рослин, стилізація гравюр М. К. Ешера.

## **SOLVING THE RIDDLE OF M. C. ESCHER'S PRINT 'HORSEMEN'**

Nitsyn A.

*The easiest way to build an ornament that completely fills the plane is to fill it with rapport, that is, with a repetitive part of the ornament, in which the pattern adjacent to one side is a continuation of the pattern adjacent to the opposite side. Usually, a rapport is a rectangle, a rhombus, a regular triangle, or a regular hexagon containing a pattern drawn according to certain rules.*

*In addition, there are countless parquets made up of regular and irregular polygons. These include regular and semi-correct parquet. Semi-correct parquets are divided into homogeneous and heterogeneous parquets. In turn, non-uniform parquets are divided into periodic and non-periodic parquets and so on.*

*Unfortunately, at present, methods of constructing figures that stylize images of animals and plants and fill the plane completely are not the subject of scientific research. After M.K. Escher, no one else worked on figured tiles in the form of animals and plants.*

*A rule to creating a figured tile that fills a plane without overlaps and gaps with translations and reflection symmetries of its repetitions, in particular, the figured tile in the form of an animal or a plant is proposed. The creating the figured tile combining the images of a man and a horse on the M. C. Escher's print 'Horsemen' is considered. The proposed rule was applied to composition ornaments, stylizing M. C. Escher's prints 'Horsemen', 'Swans', 'Fish and Scales', and 'Day and Night'. It is assumed that the subject of further research will be to devote the mystery of the engraving by M.K. Escher "Reptiles".*

*Keywords: tessellation of a plane, figured tiles in the form of animals and plants, stylization of M. C. Escher's prints.*

УДК 514.18

## **АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ПРОЕКЦІЙ ПОВЕРХОНЬ ТА ЛІНІЇ ЇХНЬОГО ПЕРЕТИНУ У ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПАКЕТУ AUTODESK INVENTOR**

Подригало Н.М. , д.т.н.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(Україна)*

*Як відомо, у процесі вивчення дисципліни «Нарисна геометрія» у студентів виникають складнощі з уявленням об'єктів, що проєкціюються, та способів розв'язання графічних задач. На допомогу їм приходять аксонометричні зображення задач, у яких показують досліджувані об'єкти разом з їхніми проєкціями на основні площини. Для підготовки таких зображень доволі зручним є пакет Autodesk Inventor з його можливістю проєкціювати геометрію на робочі площини та задавати типи ліній, їх колір та товщину.*

*В роботі показано алгоритм додавання ортогональних проєкцій моделі поверхонь, що перетинаються, з урахуванням видимості лінії перетину та обрисів поверхонь в проєкціях.*

*У якості прикладу розглянуто перетин прямого кругового зрізаного конусу та півсфери. Для проєкціювання обрисових ліній видимого контуру запропоновано створювати моделі тіл вказаних об'єктів, а для проєкціювання ліній обрису невидимого контуру – їхніх поверхонь. Щоб розділити на обраній площині проєкціїй видимі та невидимі частини лінії перетину цих об'єктів, використано розділення моделі робочою площиною, яка є паралельною до вказаної площини проєкціїй і проходить через точки зміни видимості лінії перетину.*

*Описаний алгоритм дозволяє також на базі побудованої моделі отримувати й інші варіанти позиційних задач (наприклад, заміною зрізаного конусу на повний конус та циліндр), що дозволяє обрати найкращий варіант ілюстрації та скорочує час на її підготовку. Зроблено висновок, що Autodesk Inventor доцільно застосовувати для ілюстрації побудови проєкцій лінії перетину поверхонь, у тому числі використовувати одну модель для декількох задач, що прискорює процес підготовки ілюстративного матеріалу.*

*Отримані результати впроваджені у навчальний процес кафедри інженерної та комп'ютерної графіки ХНАДУ.*

*Ключові слова: Autodesk Inventor, перетин поверхонь, проєкціювання геометрії.*



**Постановка проблеми.** Як відомо, у процесі вивчення дисципліни «Нарисна геометрія» у студентів виникають складнощі з уявленням об'єктів, що проєкціюються, та способів вирішення графічних задач. На допомогу їм приходять аксонометричні зображення задач, що розглядаються, у яких показують досліджувані об'єкти разом з їхніми проєкціями на основні площини. Для підготовки таких зображень зручно використовувати комп'ютерні графічні пакети, одним з яких є пакет Autodesk Inventor (AI).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [1-2] показано алгоритм створення тривимірної моделі з проєкціями у AI на прикладі метричної задачі, що розв'язується перетворенням комплексного кресленника. В роботі [3] показано алгоритм створення тривимірної моделі задачі побудови лінії перетину поверхонь другого порядку з використанням площин посередників. Автор роботи [4] показав послідовність побудови тривимірної моделі такої задачі, але додав ще алгоритм створення проєкцій у окремому файлі кресленника. У роботі [5] показано, як можна застосовувати можливості AI при підготовці навчальних матеріалів з нарисної геометрії. Але в цих роботах не досліджено, як разом із тривимірною моделлю тіл, що перетинаються, поєднати її ортогональні проєкції з урахуванням видимості ліній на кресленнику.

**Формулювання цілей та завдання статті.** Метою представленої роботи є отримання (на прикладі вирішення задачі перетину двох поверхонь) алгоритму додавання до моделі її ортогональних проєкцій з урахуванням видимості ліній моделі. В зв'язку з цим було поставлено наступні завдання: побудувати модель двох тіл (поверхонь), що перетинаються, та їхні проєкції на робочих площинах моделі; задати властивості отриманих ліній у відповідності з призначенням; перевірити адекватність зміни проєкцій при зміні розмірів моделі.

**Основна частина.** Для того, щоб отримати лінії видимого контуру достатньо побудувати тіла (конусу і сфери) з об'єднанням. А задля отримання ліній невидимого контуру – поверхні тих же об'єктів з використанням тих самих ескізів. Конус побудуємо за допомогою команди «Лофт», що у майбутньому дасть нам можливість перетворити його на циліндр. Півсферу будуємо за допомогою команди «Вращение» з об'єднанням із конусом. Через створення робочих площин підготуємо площини проєкцій.

Щоб отримати проєкції лінії перетину вказаних тіл, що повинні бути розділені на видимі і невидимі частини, скористаємося командою для побудови 3D ескізу, на якому виконаємо операцію додавання геометрії. Щоб розділити модель на видимі і невидимі відносно площин проєкцій частини побудуємо робочу площину через обрисові

лінії моделі, або скористаємося однією з початкових (рис. 1, YZ Plane). А потім, за допомогою цієї площини виконаємо розділення.

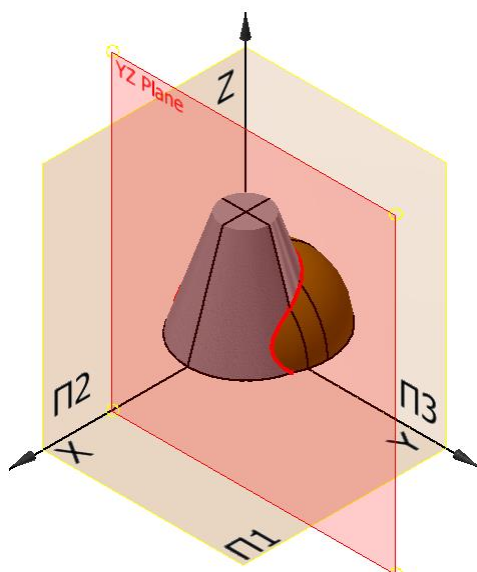


Рис. 1. Підготовка моделі

На площинах **П1**, **П2** и **П3** послідовно будуюмо проєкції тіл, що перетинаються. Це слід зробити за допомогою проєкціювання геометрії на площину ескізу (рис. 2). Тип, колір та товщину лінії краще задати перед проєкціюванням визначених ліній. Це можна зробити за допомогою команд панелі «Формат» на вкладці «Ескіз» стрічки АІ. На рис. 2, а. показані проєкції видимих ліній, на рис. 2, б. – невидимих ліній, а на рис. 2, в. – загальний результат. Слід зауважити, що декілька ліній довелось добудувати (рис. 2, б) з накладенням геометричних залежностей, а саме: видимі частини обрисової лінії сфери на площині **П3**, прив'язавши їх відповідними залежностями до лінії невидимого контуру сфери. Інакше, ці лінії показувалися би як видимі і у тій частині проєкції, де вони є невидимими.

Якщо потрібно показати посередник (рис. 2, в, площина  $\Sigma$ ), за допомогою якого знайдено точки лінії перетину, будуюмо нову робочу площину (посередник) і в ескізі, що їй належить, виконуємо команду «Проецирование ребер». Це дасть нам лінії за якими посередник перетинає тіла. Потім проєціюємо ці лінії на площини **П1**, **П2** та **П3**.

Адекватність зміни проєкцій у випадку зміни розмірів моделі, безумовно, залежить від обраних значень. Неадекватна зміна відбувається тому, що задля розділення лінії перетину на частини було розділено модель. На рис. 3, а. показана неадекватна зміна проєкцій. В цьому випадку було зменшено діаметр півсфери таким чином, що вона перейшла площину розділу моделі. Таким чином, частина лінії перетину з 3D-ескізу втратила зв'язок зі сферою.

На рис. 3, б, в показані варіанти зміни розміру верхньої основи конусу таким чином, щоб перетворити його на повний або на циліндр. Як видно з наведених прикладів, проєкції змінюються адекватно.

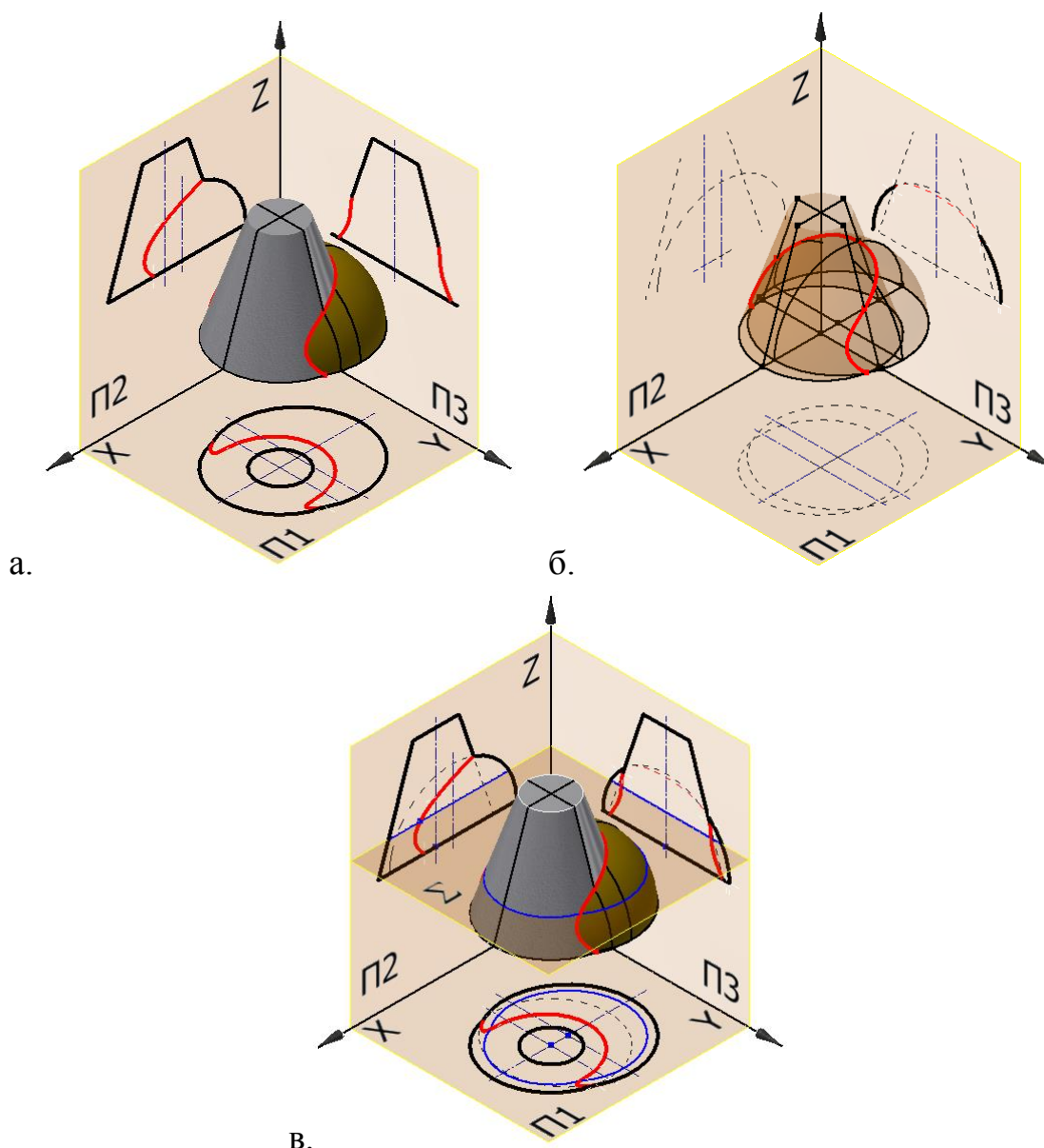


Рис. 2. Побудова проєкцій тіл та лінії їхнього перетину

**Висновки.** Таким чином було зроблено висновок, що Autodesk Inventor цілком придатний для використання у навчальному процесі для ілюстрації побудови проєкцій лінії перетину поверхонь. Також доказана можливість використання однієї моделі для ілюстрації декількох задач, що прискорює процес підготовки ілюстративного матеріалу, але адекватність зміни моделі залежить від обраних значень розмірів. Отримані результати використовуються у навчальному процесі кафедри інженерної та комп'ютерної графіки ХНАДУ.

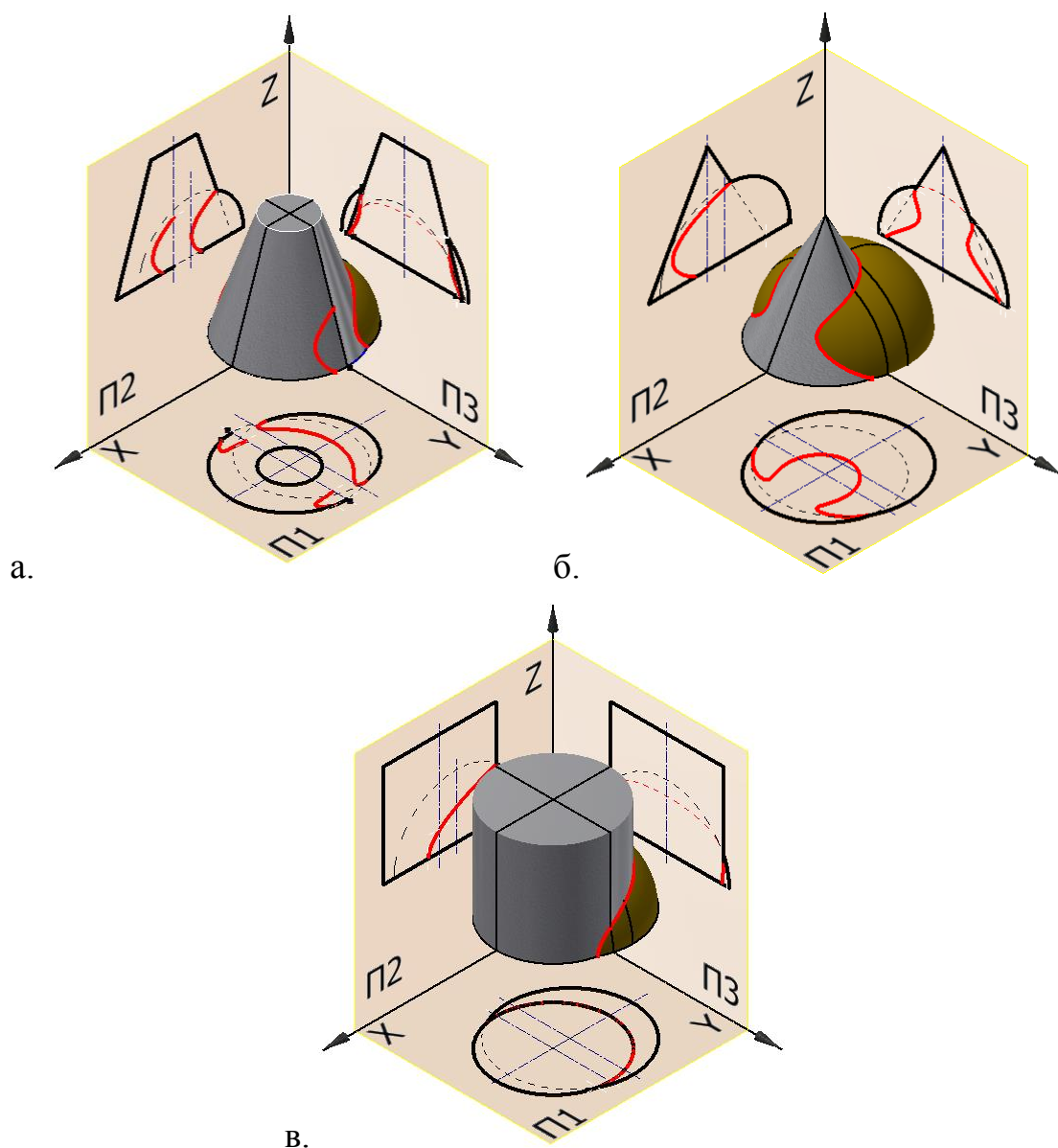


Рис. 3. Адекватність проєкцій у випадку зміни розмірів моделі

### ***Література***

1. Корягина О.М. Использование трехмерного компьютерного моделирования в курсе начертательной геометрии. *Главный механик*. ООО ИД Панорама, 2016. № 2. С. 47-50.
2. Корягина О.М. Решение метрических задач способом замены плоскостей проекций в системе компьютерного трехмерного моделирования Autodesk Inventor. *Cloud of Science*. НОУ ВО МТИ, 2017. Т. 4. № 1 С. 86-96.
3. Корягина О.М. Построение линий пересечения поверхностей второго порядка в системе объемного моделирования Autodesk Inventor. *Cloud of Science*. 2016. Т. 3., № 1. С. 60-70.

4. Киселевский О.С. Твёрдотельное трехмерное моделирование в Autodesk Inventor: учеб.-метод. пособие. Минск: БГУИР, 2017. 90 с.: ил.
5. Архіпов О.В. Застосування параметричного комп'ютерного моделювання при розробці завдань з нарисної геометрії. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць*. Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. Вип. 3. С.3-9.

## **АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЕКЦИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ЛИНИИ ИХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ПАКЕТА AUTODESK INVENTOR**

Подригало Н.М.

*Как известно, в процессе изучения дисциплины «Начертательная геометрия» у студентов возникают сложности с представлением проецируемых объектов и способов решения графических задач. На помощь им приходят аксонометрические изображения задач, в которых показывают исследуемые объекты вместе с их проекциями на основные плоскости. Для подготовки таких изображений довольно удобным является пакет Autodesk Inventor с его возможностью проецировать геометрию на рабочие плоскости и задавать типы линий, их цвет и толщину.*

*В работе показан алгоритм добавления ортогональных проекций модели пересекающихся поверхностей с учетом видимости линии пересечения и очертаний поверхностей в проекциях.*

*В качестве примера рассмотрено сечение прямого кругового усеченного конуса и полусферы. Для проецирования очерковых линий видимого контура предложено создавать модели тел указанных объектов, а для проецирования линий очертания невидимого контура – их поверхностей. Чтобы разделить на выбранной плоскости проекций видимые и невидимые части линии пересечения этих объектов, использовано деление модели рабочей плоскостью, которая является параллельной указанной плоскости проекций и проходящей через точки изменения видимости линии пересечения.*

*Описанный алгоритм позволяет также на базе построенной модели получать и другие варианты позиционных задач (например, заменой усеченного конуса на полный конус и цилиндр), что позволяет выбрать лучший вариант иллюстрации и сокращает время на ее подготовку. Сделан вывод, что Autodesk Inventor целесообразно применять для иллюстрации построения проекций линии пересечения поверхностей, в том числе использовать одну модель для нескольких*

задач, что ускоряет процесс подготовки иллюстративного материала.

*Полученные результаты внедрены в учебный процесс кафедры инженерной и компьютерной графики ХНАДУ.*

*Ключевые слова: Autodesk Inventor, пересечение поверхностей, проецирования геометрии.*

## **ALGORITHM FOR BUILDING SURFACE PROJECTIONS AND THE LINE OF THEIR CROSSING IN THE THREE- DIMENSIONAL SPACE OF THE COMPUTER AUTODESK INVENTOR PACKAGE**

Podrigalo N.

*As you know, in the process of studying the “Descriptive Geometry” discipline, students have difficulties with the presentation of projected objects and ways to solve graphical problems. They are assisted by axonometric images of tasks, in which they show the objects under study together with their projections onto the main planes. To prepare such images, the Autodesk Inventor package is quite convenient, with its ability to project geometry onto work planes and define line types, their color and thickness. The paper shows an algorithm for adding orthogonal projections of a model of intersecting surfaces, taking into account the visibility of the intersection line and the outlines of surfaces in projections. As an example, was considered the intersection of a straight circular truncated cone and hemisphere. To project the outline lines of the visible contour, it was proposed to create models of the bodies of these objects, and to project the outlines of the invisible contour - their surfaces. To separate visible and invisible parts of the intersection line of these objects on a selected projection plane, the model is divided by a working plane that is parallel to the specified projection plane and passes through the points of change of visibility of the intersection line. The described algorithm also makes it possible to obtain other variants of positional tasks on the basis of the constructed model (for example, replacing the truncated cone with a full cone and cylinder), which allows choosing the best version of the illustration and reducing the time for its preparation. It is concluded that Autodesk Inventor should be used to illustrate the construction of projections of the line of intersection of surfaces, including the use of one model for several tasks, which speeds up the process of preparing illustrative material. The results are embedded in the educational process of the department of engineering and computer graphics KhNADU.*

*Keywords: Autodesk Inventor, intersection of surfaces, projection of geometry.*

УДК 514.18

## **ВАГОВІ ПОЛІТОЧКОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ МОЖЛИВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЛАСТИЧНОЇ ХІРУРГІЇ**

Сидоренко Ю.В., к.т.н.,

Шалденко О.В. к.т.н.

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*В роботі розглядається удосконалення апарату політочкових перетворень для відображення зміни геометричного об'єкта під впливом деформаційних змін та застосування політочкових перетворень у медицині.*

*Розвиток методів деформаційного моделювання геометричних об'єктів останнім демонструє ефективність їх застосування в машинобудуванні, економіці, екології та інших сферах людського життя. Інтерактивне моделювання методами геометричних перетворень, такими як нелінійні перетворення, дає змогу в реальному часі отримувати результати моделювання і, в разі потреби, реагувати на ситуацію. До нелінійних перетворень відносяться полікоординатні відображення. Варіантом полікоординатних відображень є політочкові перетворення на площині та у тривимірному просторі.*

*Суть методу політочкових перетворень полягає у тому, що для простору, у якому знаходиться об'єкт (пряма), вводиться поняття базису перетворення. Тобто, точками створюється деяка область, в якій знаходиться пряма – об'єкт перетворення, а також вводиться політочкова система координат як система відстаней від точок базису до прямої. Кількість політочкових координат залежить від кількості точок базису. Таким чином, об'єкт (пряма), для якого треба здійснити перетворення, занурена у базис. Вигляд і розмір базису обирається в залежності від умов поставленої задачі. Для того, щоб здійснити перетворення, користувач змінює певним чином точки базису. Із зміною базису змінюється й об'єкт, який в нього занурений, тобто кожна точка об'єкта змінює свої декартові координати згідно проведеного перетворення.*

*У роботі розглянуто удосконалення способу політочкових перетворень за рахунок введення нового функціоналу перетворення, що призвело до більшої варіативності отриманих рішень та зменшення похибки обчислень при моделюванні.*

*На основі математичного апарату політочкових перетворень була створена система моделювання тривимірних об'єктів, необхідних*

для проведення комп'ютерного аналізу перед пластичною операцією на носі.

*Ключові слова:* деформаційне моделювання, полікоординатні відображення, політочкові перетворення, пластична хірургія, ринопластика.

**Постановка проблеми.** Деформаційне моделювання є одним з напрямків моделювання об'єктів, коли динамічні зміни відбуваються під впливом деяких визначених процесів. У зв'язку з лавиноподібним зростанням потужності сучасних ЕОМ стає можливим створення систем САПР, здатних до моделювання деформацій елементів конструкцій та процесів практично необмеженої складності в реальному часі.

Зважені політочкові перетворення надають змогу інтерактивного деформування. Ефективність процесу деформування суттєво залежить від варіативності існуючих вагових коефіцієнтів, що зумовлює актуальність даної теми.

Одним з можливих варіантів застосування деформаційного моделювання є пластична хірургія. Зміна форми носа можлива шляхом збільшення або зменшення його розмірів, видалення горбинки, корекції форми і положення кінчика носа і ширини перенісся, а також кута між кінчиком носа і верхньою губою, звуження ніздрів. За допомогою цих маніпуляцій створюється нова форма носа у відповідності з естетичними вимогами пацієнта, а також з'являється можливість виправити деформації носа, що виникли в результаті травматичних ушкоджень, невдалого оперативного втручання або зумовлені віковими змінами.

Ринопластика (пластика носа, корекція форми носа), також як і інші естетичні операції може значно поліпшити зовнішній вигляд і самопочуття. Тому, перед тим як пацієнт зважиться на операцію, йому необхідно ретельно обміркувати свої побажання і очікуваний ефект.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У попередніх публікаціях було розроблено апарат полікоординатного методу перетворень та показано можливість його застосування в прикладній геометрії та комп'ютерній графіці [1], визначено коефіцієнти перетвореної прямої при політочкових перетвореннях, як виду полікоординатних відображень, описано види функціоналів та апарат зважених політочкових перетворень [2,3]. Аналіз джерел, що описують політочкові перетворення показує, насамперед, що вони застосовуються в проектуванні геометричних об'єктів складної форми, наприклад, в машинобудуванні [4]. Розширення можливостей політочкових перетворень є важливою проблемою в теперішній час.

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є розробка



теоретичних і практичних засад геометричного моделювання поверхонь та створення програмного забезпечення для дослідження варіантів вагових коефіцієнтів при політочкових перетвореннях в залежності від умов поставлених задач.

**Основна частина.** Політочкові перетворення дозволяють створювати тривимірні об'єкти, які будуть застосовані при моделюванні можливої форми носа та відображенні можливих варіантів міміки пацієнта.

Суть перетворень полягає в наступному.

Задається об'єкт деформації, та каркас точок навколо об'єкта. Апарат політочкових перетворень дозволяє змінювати форму об'єкта, змінюючи положення каркасних точок. Початковий каркас точок називається початковим базисом, а змінений каркас – перетвореним базисом (рис.1).

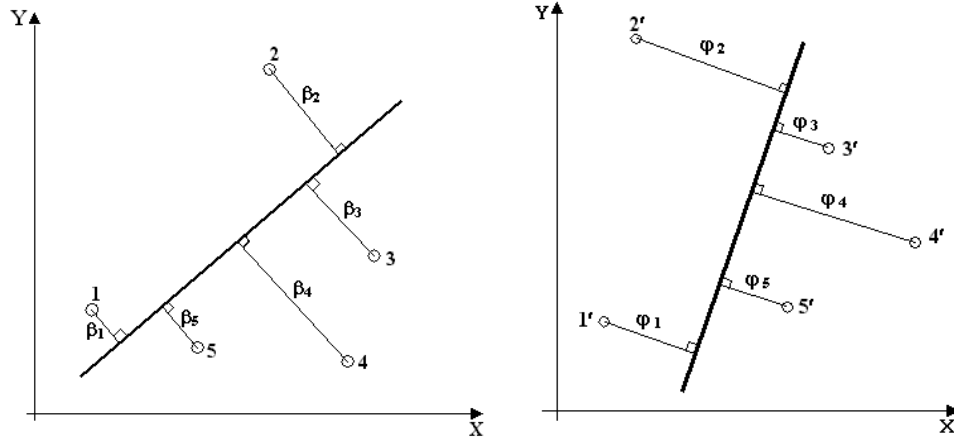


Рис. 1. Політочкові перетворення при багатоточковому базисі

Об'єктом деформації на даному рисунку є пряма с коефіцієнтами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Початковий базис в однорідному просторі задається базисними точками з координатами  $x_i^n, y_i^n, z_i^n$ ,  $i=1,2,\dots,p$ .

У цьому базисі пряма-прообраз визначається за допомогою рівнянь вигляду

$$ax_i^n + by_i^n + cz_i^n = \beta_i, \quad i = 1, \dots, p.$$

Тобто, точки каркасу задаються декартовими координатами, а прообраз-пряма - політочковими координатами  $\beta_i$ , які є відстанню зі своїм знаком від цих точок до прямої-образу, яка в свою чергу задається коефіцієнтами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , якщо ці коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$  є нормалізованими. Перетворений базис буде заданий у вигляді сім'ї

нових точок  $x_i, y_i, z_i$ . Нові “відстані” будуть визначатись за формулами:

$$\varphi_i = Ax_i + By_i + Cz_i,$$

де  $x_i, y_i, z_i$  - новий базис,  $A, B, C$  - невідомі координати нової прямої. Значення  $\beta_i$  та  $\varphi_i$  називаються політочковими координатами прямої.

Виникає необхідність отримання однозначного розв'язку задачі політочкового перетворення простору  $R^2$ , тобто встановлення функціонального взаємозв'язку між координатами  $\beta_i$  та  $\varphi_i, i=1,2,\dots,p$  в обох базисах.

Політочкове перетворення можна записати у вигляді:

$$\varphi_i = \omega_i \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, p.$$

Розв'язання задачі перетворення зводиться до мінімізації функціоналу такого вигляду:

$$S = \sum_{i=1}^p (\omega_i - 1)^2 \rightarrow \min.$$

Розв'язком системи будуть  $A, B, C$ , які є коефіцієнтами нової перетвореної прямої.

Такий підхід до розв'язання задачі площинних політочкових перетворень дає можливість відносно простого переходу до просторової задачі. У випадку тривимірного простору базисом політочкових перетворень буде множина точок, а об'єктом перетворень (за принципом двоїстості) буде площа.

**Варіанти політочкових перетворень.** Однозначну відповідність двох точкових полів образу й прообразу можливо досягти на основі застосування методів оптимізації з використанням функціоналів визначеного вигляду. Використання оптимізаційних функціоналів різного вигляду значно розширює можливості апарату політочкових перетворень.

Враховуючи вищезазначене, у процесі розробки алгоритму політочкових перетворень були проаналізовані різні види мінімізуючих функціоналів в залежності від умов, накладених на конкретну задачу.

Виникла необхідність враховувати вплив на об'єкт точок, в залежності від відстаней об'єкту до заданого каркасу, тобто вважається, що всі точки каркасу впливають на об'єкт, в залежності від того, до якої з точок об'єкт знаходиться ближче.

Тому у роботі був використаний функціонал такого вигляду:

$$S = \sum_{i=1}^p (\omega_i - \omega_j)^2, \quad 1 \leq j \leq p.$$

Також були введені вагові коефіцієнти, що дало змогу поширити можливості урізноманітнення варіантів відображення об'єкта перетворення. Вагові коефіцієнти вводяться на етапі обчислення політочкових координат прообразу. Це реалізується введенням деякого множника, який характеризує вплив кожної точки на пряму-прообраз, в залежності від відстаней до координатних точок.

Політочкові перетворення площини складають основу моделювання тривимірних об'єктів, які виникають при підготовці до зміни форми носа під час пластичної операції. Оскільки більшість реальних тривимірних об'єктів можна представити у вигляді множини площин (гранованого тіла), то за допомогою послідовного політочкового перетворення кожної з площини можна отримати перетворений тривимірний об'єкт.

**Система відстеження деформації обличчя при пластичній операції на носі.** Для реалізації поставленої задачі був обраний сучасний графічний пакет Houdini, який також виступає середовищем візуального програмування.

Для написання коду програми було обрано мову програмування Python, оскільки основою її перевагою є універсальність коду для всіх існуючих графічних пакетів.

Система працює таким чином. Для виконання деформації динамічного об'єкта, а саме динамічної моделі обличчя, необхідно імпортувати дані про положення точок (маркерів), на попередньо відзнятому обличчі (рис. 2).



Рис. 2. Попередньо відзняте обличчя

Після імпорту точок, на їх основі будується полігональна модель обличчя (рис. 3).

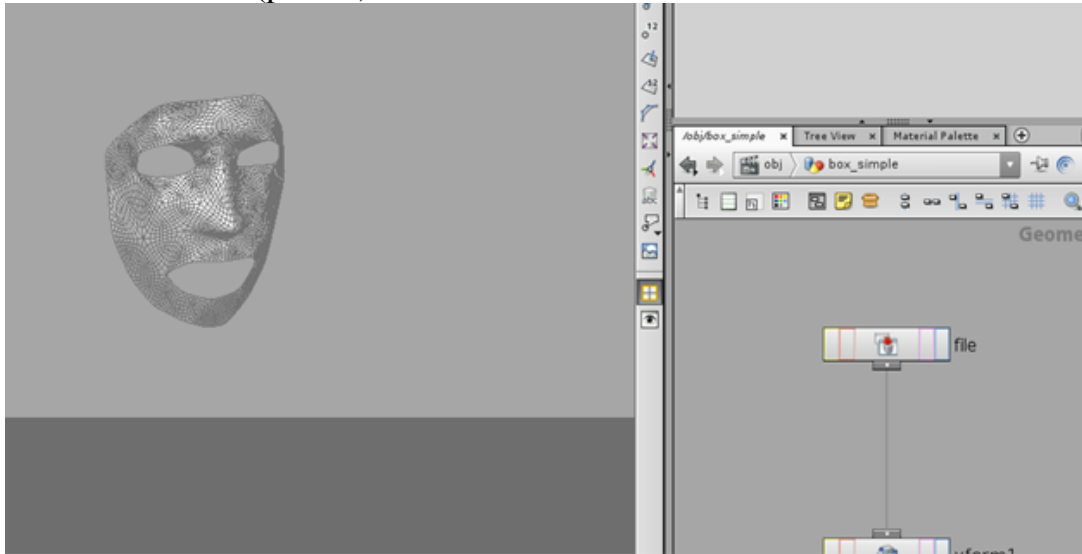


Рис. 3. Полігональна модель обличчя

З даним об'єктом проводяться політочкові перетворення для отримання можливих варіантів форми носа. Після проведення деформації проводиться текстурування і візуалізації фінального зображення(рис. 4).



Рис. 4. Пари зображень різних форм носа

Після обрання необхідної форми носа, результат накладається на відзняте зображення обличчя (рис.5).



Рис. 5. Накладення результатів деформації на зображення обличчя

Система також дозволяє простежити зміни міміки при обранні певної форми носа (рис.6).



Рис. 6. Можлива міміка людини при зміні форми носа

Дана система демонструє всі етапи роботи по отриманню бажаних візуальних результатів пацієнта перед проведенням операції зі зміни форми носа.

**Висновки.** В роботі було удосконалено спосіб політочкових перетворень за рахунок введення нового функціоналу перетворення, що призвело до більшої варіативності отриманих рішень та зменшення похибки обчислень при моделюванні. На основі математичного апарату політочкових перетворень була створена система моделювання тривимірних об'єктів, необхідних для проведення аналізу перед проведенням пластичної операції на носі.

### **Література**

1. Бадаєв Ю.И. Поликоординатный метод в прикладной геометрии и компьютерной графике. [Монография]./ Бадаєв Ю.И.-К.: Просвіта, 2006. 173 с.
2. Бадаєв Ю.І., Сидоренко Ю.В. Визначення коефіцієнтів перетвореної прямої при політочкових перетвореннях. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. К:КДТУБА, 2001. Вип.68. С.45-47.
3. Бадаєв Ю.І., Сидоренко Ю.В. Політканинні перетворення в точковому визначенні. *Прикладная геометрия и инженерная графика. Труды Таврической государственная агротехническая академия*. Мелитополь, ТГАТА, 1998. Вып.4. Т.8. С.21-23.
4. Бадаєв Ю.І., Сидоренко Ю.В. Деформаційне конструювання об'єктів водного транспорту за допомогою політочкових перетворень. *Водний транспорт: Збірник наукових праць*, К.: КДАВТ, 2000. С.140-143.

## **ВЗВЕШЕННЫЕ ПОЛИТОЧЕЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗМОЖНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ**

Сидоренко Ю.В., Шалденко А.В.

*В работе рассматривается усовершенствование аппарата политочечных преобразований для отображения изменения геометрического объекта под воздействием деформационных изменений и применение политочечных преобразований в медицине.*

*Развитие методов деформационного моделирования геометрических объектов последнее время является эффективным в применении их в машиностроении, экономике, экологии и в других сферах жизнедеятельности человека. Интерактивное моделирование методами геометрических преобразований, такими как нелинейные преобразования, дают возможность в реальном времени получать результаты моделирования и, в случае необходимости, реагировать на*

*ситуацию. К нелинейным преобразованиям относятся поликоординатные отображения. Вариантом поликоординатных отображений являются политочечные преобразования на плоскости и в трехмерном пространстве.*

*Суть метода политочечных преобразований состоит в том, что для пространства, в котором находится объект (прямая), вводится понятие базиса преобразования. То есть, точками образует некоторая область, в которой находится прямая – объект преобразования, а также вводится политочечная система координат, как система расстояний от точек базиса до прямой. Количество политочечных координат зависит от количества точек базиса. Таким образом, объект (прямая), для которого нужно осуществить преобразование, погружен в базис. Вид и размер базиса выбирается в зависимости от условий поставленной задачи. Для того, чтобы осуществить преобразование, пользователь изменяет определенным образом точки базиса. Со сменой базиса меняется и объект, который в него погружен, то есть, каждая точка объекта меняет свои декартовы координаты в соответствии с проведенным преобразованием.*

*В работе рассмотрено усовершенствование способа политочечных преобразований за счёт введения нового функционала преобразования, что привело к большей вариативности полученных решений и уменьшению ошибки вычислений при моделировании.*

*На основе математического аппарата политочечных преобразований была создана система моделирования трехмерных объектов, которая необходима для проведения компьютерного анализа перед пластической операцией носа.*

*Ключевые слова: деформационное моделирование, поликоординатные отображения, политочечные преобразования, пластическая хирургия, ринопластика.*

## **WEIGHTED POLYPOINT TRANSFORMATIONS OF THE PLASTIC SURGERY'S POSSIBLE RESULTS MODELING**

Sydorenko Iu., Shaldenko O.

*The paper deals with the improvement of the apparatus of polypoint transformations for displaying changes in a geometric object under the influence of deformational changes and the application of polypoint transformations in medicine.*

*The development of methods of geometric objects deformation modeling has recently been effective in their application in mechanical engineering, economics, ecology, and other fields of human activity. Interactive modeling using geometric transformation methods such as nonlinear transformations makes it possible to obtain simulation results in real time and, if necessary, respond to the situation. Non-linear transformations include polycoordinate maps. A variant of polycoordinate maps are polypoint transformations in 2D and 3D spaces.*

*The essence of the method of polydot transformations is that for the space in which the object (line) is located, the concept of a transformation basis is introduced. That is, the points form a certain area in which the straight line is located — the object of transformation, and also a polypoint coordinate system is introduced, like a system of distances from the basis points to the straight line. The number of polypoint coordinates depends on the number of points of the basis. Thus, the object (direct) for which you want to carry out the transformation is immersed in the basis. The type and size of the base is selected depending on the conditions of the task. In order to carry out the transformation, the user changes the basis points in a certain way. With the change of the base, the object that is immersed in it changes, that is, each point of the object changes its Cartesian coordinates in accordance with the transformation.*

*The paper considers the improvement of the method of polypoint transformations due to the introduction of a new transformation functionality, which led to a greater variability of the obtained solutions and a decrease in the computation error in modeling.*

*A system for modeling three-dimensional objects was created on the basis of the mathematical apparatus of polypoint transformations, which is necessary for carrying out computer analysis before plastic surgery of the nose.*

*Key words: deformation modeling, polycoordinate maps, polypoint transformations, plastic surgery, rhinoplasty.*



УДК 514.18

**АЛГОРИТМ ПРИСКОРЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕГУЛЯРНИХ  
ДИСКРЕТНИХ КАРКАСІВ КРИВИХ ТА ПОВЕРХОНЬ,  
ЗАДАНИХ У ПАРАМЕТРИЧНІЙ ФОРМІ**

Скочко В. І., к.т.н.\*

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
(Україна)*

*В роботі пропонується новий підхід до побудови дискретних образів кривих і поверхонь, функції яких задані у параметричній формі. Принцип цього підходу полягає в тому, щоб розглядати задану криву або поверхню (геометричний об'єкт), як деяке фізичне тіло – стрижень або оболонку сталого перетину, зігнуті у форму просторової кривої або поверхні відповідно. Водночас вважається, що даному стрижню або оболонці надано деякого електричного заряду, в результаті чого він починає працювати, як провідник у середовищі діелектрика, притягуючи цей діелектрик з певною силою у кожній точці досліджуваної ділянки простору. Для того, щоб отримати дискретний образ досліджуваного геометричного об'єкту, слід побудувати поле механічних сил притягіння досліджуваного графіку функції й прикласти до вузлів образу із наперед визначеною топологією вектори сил одержаного поля. В такому випадку графік функції виконуватиме роль умовного магніту, а відстань між окремими вузлами дискретного образу або крок його дискретизації по координатним осям зможуть бути відрегульовані відповідно до специфіки даного геометричного об'єкту й його призначення. Таким чином, з'являється можливість не просто визначати координати точки геометричного об'єкту, задаючи параметр варіювання, а цілком контрольовано згущувати крок дискретизації плоскої або просторової кривої чи поверхні саме у тих її ділянках, що потребують особливої уваги. Запропонований підхід дає можливість значно скоротити час побудови точок каркасу в разі використання градієнтних методів пошуку відповідних точок, оскільки виключає можливість того, що на одному із етапів при поступовому наближенні до геометричного об'єкту, крок градієнтного зміщення перевищить відстань до кривої, а напрямок спадання (чи зростання) векторного поля продовжить спрямовувати дану точку дискретного образу в хибному напрямку. Відтак, не лише зменшується ймовірність виникнення помилкових розв'язань й появи вироджених*

---

\* Науковий консультант – д.т.н., проф. Плоский В.О.

точок дискретного образу, але й значно скорочується час виконання розрахунків ітераційного числення, необхідного для побудови досліджуваного геометричного об'єкту.

*Ключові слова:* плоскі й просторові криві та поверхні, градієнтні методи пошуку, параметрична функція об'єкту.

**Постановка проблеми.** Параметричний спосіб запису кривих та поверхонь є найбільш простим і функціональним, оскільки, він дозволяє вдаватися до простих інтерполяційних чи екстраполяційних методик і принципів, що базуються на послідовному інтерполюванні по обраному параметру вздовж окремих координатних осей. Параметричний спосіб запису функції геометричного об'єкту є дуже зручним з практичної точки зору, особливо коли мова йде про опрацювання результатів експериментальних досліджень та виявлення в них певних закономірностей. Адже для особливо складних фізичних та фінансово-економічних багатопараметричних процесів параметричний метод опису досить просто узагальнюється й для багатовимірних випадків геометричного їх опису (наприклад за допомогою епюру Схоуте або Радіщева), а відтак дозволяє досягти наочності опису закономірностей із найменшими затратами часу. Однак у даній роботі обмежимося лише двовимірним та тривимірним випадками.

Отже, якщо мова йде про параметричну форму запису деякої кривої  $\eta$  на площині або у просторі, то їх рівняння виглядають відповідно наступним чином:

$$\begin{cases} x = f_1(t), \\ y = f_2(t); \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x = f_1(t), \\ y = f_2(t), \\ z = f_3(t), \end{cases} \quad (2)$$

де  $t$  – параметр варіювання.

Якщо ж мова йде про параметричну форму задання поверхні деякої поверхні  $\Omega$ , то її рівняння виглядає так:

$$\begin{cases} x = f_1(u, v), \\ y = f_2(u, v), \\ z = f_3(u, v), \end{cases} \quad (3)$$

де  $u$  і  $v$  – параметри варіювання, що виділяють на поверхні  $\Omega$  два сімейства кривих. Ці параметри називають криволінійними координатами на поверхні  $\Omega$ .

Однак, параметрична форма запису функції геометричного об'єкту має один суттєвий недолік, пов'язаний з неможливістю регулювати положення точок дискретного образу (каркасу) даного об'єкту при його візуалізації засобами чисельного комп'ютерного моделювання. Наприклад, досить складно досягти сталого чи заданого кроку дискретизації кінцевого дискретного образу, оскільки в більшості випадків рівняння систем (1) – (3) мають високу нелінійність й розв'язання їх відносно параметрів  $t$ ,  $u$ , і  $v$  може виявитися практично неможливою задачею.

В той же час, для вирішення практичних фізичних задач, наприклад, механіки, тепломасообміну або гідродинаміки, необхідно контролювати регулярність та встановлювати топологічні особливості дискретного образу геометричного об'єкту. Для цього бажано, щоб форма запису рівняння цього об'єкту була явною або неявною відповідно:

1) для плоских кривих:

$$y = f(x), \quad (4)$$

$$\text{або: } F(x, y) = 0; \quad (5)$$

2) для просторових кривих можливий лише випадок їх задання, як ліній перетину функцій поверхонь у явній чи неявній формі (окрім вище продемонстрованої параметричної форми), тобто:

$$\begin{cases} x = f_1(y, z), \\ y = f_2(x, z); \end{cases} \text{ чи, } \begin{cases} y = f_1(x, z), \\ z = f_2(x, y); \end{cases} \text{ чи } \begin{cases} x = f_1(y, z), \\ z = f_2(x, y); \end{cases} \text{ чи ін.}; \quad (6)$$

$$\text{або: } \begin{cases} F_1(x, y, z) = 0, \\ F_2(x, y, z) = 0; \end{cases} \quad (7)$$

3) для поверхонь:

$$z = f(x, y), \text{ чи, } y = f(x, z), \text{ чи } x = f(y, z), \text{ чи ін.}; \quad (8)$$

$$\text{або: } F(x, y, z) = 0. \quad (9)$$

Перетворюючи вище наведені рівняння з (4) в (5), з (6) в (7), та з (8) в (9), ми отримуємо скалярні поля й їх суперпозиції, які й використовуються у градієнтних методах або методах звуження зони пошуку для визначення координат точок дискретного образу.

Спільним недоліком використання градієнтних методів пошуку та методів звуження на основі одержаних неявних функцій й їх суперпозицій є висока ймовірність того, що при пошуку точок, які належать геометричному об'єктові, зокрема в процесі наближення до цього об'єкта зі сталим дискретним кроком, алгоритм може «промахнутися» й продовжити прокладати маршрут чи зону звуження пошуку в хибній зоні, не розуміючи, що відбулася помилка. При цьому, лише втручання користувача чи активація відповідного інтелектуального алгоритму зможе змінити (розвернути) напрямок

або уточнити зону звуження пошуку. Однак, додаткове людське втручання спричиняє збільшення трудовитрат і не завжди може дати позитивний ефект, оскільки користувач також може неодноразово допускати помилки, не до кінця розуміючи характер векторного поля в досліджуваній області. Це в свою чергу призводить до надмірних трудовитрат, що не гарантують позитивного очікуваного результату.

Відтак, стає очевидною потреба у такій реконструкції скалярного й, як наслідок, векторного полів, при якій характер цих полів буде більш передбачуваним й сприятиме спрощенню та більшій надійності роботи пошукових алгоритмів, націлених на відтворення дискретних каркасів досліджуваних геометричних об'єктів.

**Аналіз останніх досліджень.** Найбільш доцільно будувати скалярне плоске або просторове поля, що використовуватимуться при подальшому пошуку точок досліджуваного геометричного об'єкту, на основі параметричних рівняннях цього об'єкту. Маючи відповідну функцію, що визначатиме деяке поле, можна побудувати векторне градієнтне поле, за допомогою якого можуть бути визначені й при необхідності відкориговані координати вузлів дискретного образу даного об'єкту. Одержане векторне поле вказуватиме напрямок найшвидшого підйому або спуску по траєкторіям нормальним до поверхонь сталого потенціалу. Градієнтне поле  $\bar{V}$  для неявної форми функції матиме такий вид [1]:

$$\bar{V} = \nabla F, \quad (10)$$

де  $\nabla$  – оператор Гамільтона, що для дво- та тривимірного випадків відповідно має наступні форми (11) і (12):

$$\nabla = (\partial/\partial x) \cdot \bar{e}_x + (\partial/\partial y) \cdot \bar{e}_y, \quad (11)$$

$$\nabla = (\partial/\partial x) \cdot \bar{e}_x + (\partial/\partial y) \cdot \bar{e}_y + (\partial/\partial z) \cdot \bar{e}_z. \quad (12)$$

В першу чергу розглянемо випадок явної й неявної форм задання кривої на площині (4) і (5). Ці, функції виділяють зі скалярного поля

$$U(x, y) = F(x, y) = const, \quad (13)$$

ізолінію, що відповідає сталому нульовому значенню функції (5). Якщо вважати градієнтне поле  $\bar{V}$  полем фізичних сили, що штовхають невагому точку по силових лініях поля  $U(x,y)$ , то, у випадку, якщо початкове положення точки дозволяє спрямувати її до нульової ізолінії, її рух поступово наблизитиме її до графіку функції (5). Для цього можна скористатися одним із алгоритмів градієнтного спуску (підйому). Найпростішим із них є алгоритм оснований на побудові поля одиничних векторів [2, 3], напрямком яких в кожній точці співпадає з напрямком градієнтного поля. Одиничний вектор градієнта  $\bar{v}$  записують у такій формі:

$$\bar{\mathbf{v}} = v_x \cdot \bar{\mathbf{e}}_x + v_y \cdot \bar{\mathbf{e}}_y, \quad (14)$$

де складові даного вектора визначатимуться за формулою:

$$v_x = (\partial U / \partial x) / [(\partial U / \partial x)^2 + (\partial U / \partial y)^2]^{1/2}, \quad (15)$$

$$v_y = (\partial U / \partial y) / [(\partial U / \partial x)^2 + (\partial U / \partial y)^2]^{1/2}. \quad (16)$$

На кожному кроці пошуку вище згаданий алгоритм використовує одну й ту ж формулу для уточнення координат точки, що рухається до досліджуваної кривої (5) по силових лініях поля (13):

$$s^{(i)} = s^{(i-1)} + \lambda \cdot v_s^{(i-1)}, \quad (s = x, y; i = \overline{1, n}), \quad (17)$$

де:  $s$  – узагальнене позначення координат,  $i$  – номер поточного кроку пошуку,  $n$  – кількість кроків пошуку, а  $\lambda$  – довжина одноразового переміщення точки, значення якого відраховується в напрямку вектору градієнта на кожному кроці спуску (чи підйому).

**Формулювання цілей статті.** Визначення алгоритму побудови таких скалярного й векторного полів впливу на точки дискретного образу досліджуваної функції, які прискорять процес пошуку координат вершин (точок) цього образу й його подальше корегування, при умові, що відповідна функція задана у параметричній формі.

**Основна частина.** У разі використання алгоритму (17) для пошуку дискретного образу досліджуваної кривої, необхідний постійний контроль перебігу процесу пошуку кожної точки її образу, оскільки рух уздовж силових ліній не гарантує точного потрапляння на графік функції (5) у зв'язку зі сталим кроком пошуку, який (як зазначалося вище) може на останніх етапах наближення перевищити відстань до шуканої кривої. Після перевищення даної відстані алгоритм продовжить рухати точку у напрямку спадання або зростання градієнту. Справа в тому, що даний алгоритм розроблений здебільшого для пошуку екстремумів функції, які з топографічної точки зору представляють собою «вершини» або «западини». А тому, якщо крок  $\lambda$  достатньо малий у порівнянні з розмірами досліджуваної області, даний алгоритм, незалежно від того максимум чи мінімум необхідно відшукати, в більшості випадків через деякий час знаходить відповідний екстремум, оскільки вектор градієнту завжди вказує на ціль пошуку в досліджуваній області. Іншими словами, специфіка впливу градієнтного поля не дає алгоритму віддалятися від шуканого екстремума.

Саме ця властивість даного алгоритму вказує на шлях побудови такого векторного поля впливу, яке, при умові проходження графіку функції (5) у межах досліджуваної області, завжди спрямовуватиме точки дискретного образу цієї функції у напрямку її неперервного аналогу. Для того, щоб вектори градієнтного поля завжди вказували у напрямку шуканого графіку досліджуваної функції (5) необхідно, щоб

з топографічної точки зору її графік (ізолінія скалярного поля) представляв собою «впадину» (постійної глибини) або «хребет» (однакової висоти). Даної мети можна досягти наступним шляхом. Перш за все необхідно забезпечити умову того, щоб абсолютні значення поля (13) у точках, які належать шуканому графіку (ізолінії) функції (5), були найбільшими. Для цього скористаємось принципом задання потенціального поля напруженості електростатичного поля, створеного зарядженими об'єктами [4].

Якщо об'єкт представляє собою поверхню, то поле її електростатичного потенціалу, при умові, що щільність її поверхневого заряду описується функцією

$$\sigma = f(x, y, z), \quad (18)$$

визначатиметься наступним інтегралом по поверхні:

$$\varphi = [1/(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon)] \cdot \int_S (\sigma/r) dS, \quad (19)$$

де  $r$  – відстань від елементарного поверхневого заряду  $\sigma dS$  до досліджуваної точки поля. Інтегрування відбувається по поверхні (фрагменту поверхні), що містить заряд.

Якщо ж об'єкт представляє собою об'ємне тіло, то поле його електростатичного потенціалу, при умові, що щільність його об'ємного заряду описується функцією:

$$\rho = f(x, y, z), \quad (20)$$

визначатиметься наступним об'ємним інтегралом:

$$\varphi = [1/(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon)] \cdot \int_V (\rho/r) dV, \quad (21)$$

де  $r$  – відстань від елементарного об'ємного заряду  $\rho dV$  до досліджуваної точки поля. Інтегрування відбувається по об'єму середовища (об'єкту), що містить заряд. У формулах (19) та (21):  $\varepsilon$  – електрична стала,  $\varepsilon_0$  – відносна діелектрична проникність середовища, у якому перебуває заряджений об'єкт.

Користуючись аналогічним принципом, можна сказати, що поле електростатичного потенціалу кривої, при умові, що щільність її криволінійно-розподіленого заряду описується функцією:

$$\begin{aligned} \zeta &= f(x, y) \text{ (для плоскої кривої), або} \\ \zeta &= f(x, y, z) \text{ (для просторової кривої)} \end{aligned} \quad (22)$$

визначатиметься наступним криволінійним інтегралом:

$$\varphi = [1/(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon)] \cdot \int_L (\zeta/r) dL, \quad (23)$$

де  $r$  – відстань від елементарного криволінійно-розподіленого заряду  $\zeta dL$  до досліджуваної точки поля. Інтегрування відбувається по ділянці кривої, що містить заряд.

Якщо говорити про двовимірний випадок, то вираз (23)

представляє собою визначення інтегралу вздовж шляху (кривої)  $L$ , записаного в явній формі (4), у скалярному полі

$$u = \zeta/r . \quad (24)$$

Якщо крива  $L$  записана у неявній формі (5), вирішення даної задачі значно ускладнюється. У випадку, коли рівняння кривої все ж можливо привести до явної форми (4), то, беручи до уваги, що в такому випадку елементарна довжина ділянки кривої  $dL$  визначається, як

$$dL = [1 + (\partial y/\partial x)^2]^{1/2} dx = [1 + (\partial f(x)/\partial x)^2]^{1/2} dx , \quad (25)$$

та замінюючи у виразі (23) константи  $1/(4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon)$  на єдиний коефіцієнт  $k$ , ми одержимо наступний криволінійний інтеграл, який виражатиме значення скалярного потенціалу  $\varphi_M$  в точці  $M(x_M, y_M)$  від умовно зарядженого за законом (22) фрагмента кривої  $L$  між точками  $A(x_A, y_A)$  і  $B(x_B, y_B)$ :

$$\varphi_M = k \int_L \frac{\zeta}{r} dL = k \int_{x_A}^{x_B} \frac{\zeta(x, f(x))}{[(x_M - x)^2 + (y_M - f(x))^2]^{1/2}} \cdot [1 + (\partial f(x)/\partial x)^2]^{1/2} dx . \quad (26)$$

Для визначення скалярного потенціалу  $\varphi_M$  при інтегруванні по координаті  $y$ , ми одержимо аналогічний за формою вираз:

$$\varphi_M = k \int_{y_A}^{y_B} \frac{\zeta(f(y), y)}{[(x_M - f(y))^2 + (y_M - y)^2]^{1/2}} \cdot [1 + (\partial f(y)/\partial y)^2]^{1/2} dy . \quad (27)$$

В разі, якщо крива задана у параметричній формі (1), її криволінійний інтеграл у скалярному полі (24), з урахуванням того, що елементарна довжина ділянки кривої  $dL$  визначатиметься, як

$$dL = [(\partial y/\partial t)^2 + (\partial x/\partial t)^2]^{1/2} dt = [(\partial f_1(t)/\partial t)^2 + (\partial f_2(t)/\partial t)^2]^{1/2} dt , \quad (28)$$

величина скалярного потенціалу  $\varphi_M$  становитиме:

$$\varphi_M = k \int_{t_A}^{t_B} \frac{\zeta(f_1(t), f_2(t))}{[(x_M - f_1(t))^2 + (y_M - f_2(t))^2]^{1/2}} \cdot [(\partial f_1(t)/\partial t)^2 + (\partial f_2(t)/\partial t)^2]^{1/2} dt . \quad (29)$$

На основі поля скалярного потенціалу  $\varphi$ , можна побудувати градієнтне векторне поле  $\bar{\mathbf{V}}$  у формі (10), що в фізичному сенсі представляє собою поле напруженості електростатичного поля:

$$\bar{\mathbf{V}} = \nabla \varphi_M = V_x \cdot \bar{\mathbf{e}}_x + V_y \cdot \bar{\mathbf{e}}_y = (\partial \varphi_M / \partial x_M) \cdot \bar{\mathbf{e}}_x + (\partial \varphi_M / \partial y_M) \cdot \bar{\mathbf{e}}_y . \quad (30)$$

Однак, і це поле може виявитися непридатним для використання у градієнтних алгоритмах типу (17), оскільки його форма не гарантує, що того, що його вектори завжди вказуватимуть у напрямку графіку досліджуваної функції (1), (4) або (5), особливо в випадку, коли крива замкнена чи має петлі. Натомість, можлива ще одна реконструкція поля скалярного потенціалу  $\varphi$  на основі його градієнтного поля  $\bar{\mathbf{V}}$ . У електростатиці існує поняття пондеромоторних (механічних) сил  $\bar{\mathbf{f}}$ , які діють з боку поля напруженості  $\bar{\mathbf{V}}$  на оточуючі діелектрики

(матеріали, що не є провідниками). Згідно з [2] сила  $\bar{\mathbf{f}}$  визначається формулою:

$$\bar{\mathbf{f}} = [\varepsilon_0 \cdot (\varepsilon - 1)/2] \cdot \nabla |\bar{\mathbf{V}}|^2, \quad (31)$$

де:

$$|\bar{\mathbf{V}}| = (V_x^2 + V_y^2)^{1/2} = [(\partial\varphi_M/\partial x_M)^2 + (\partial\varphi_M/\partial y_M)^2]^{1/2}, \quad (32)$$

або:

$$\bar{\mathbf{f}} = [\varepsilon_0 \cdot (\varepsilon - 1)/2] \cdot \nabla [(\partial\varphi_M/\partial x_M)^2 + (\partial\varphi_M/\partial y_M)^2] = [\varepsilon_0 \cdot (\varepsilon - 1)/2] \cdot \nabla \psi. \quad (33)$$

Особливість цього поля полягає у тому, що сила  $\bar{\mathbf{f}}$  завжди напрямлена в сторону зростання абсолютної величини вектора  $\bar{\mathbf{V}}$ , незалежно від напрямку останнього. Іншими словами, сила  $\bar{\mathbf{f}}$  змушує притягуватися частки оточуючого середовища до кривої, як до магніту. В той же час, із загальної теорії поля [5, 6] та теорії електричного струму [11] відомо, що поверхня зарядженого об'єкту (поверхні, плоскої чи просторової кривої) є еквіпотенціальною, тобто, поверхнею зі сталим електростатичним потенціалом. А значить, з топографічної точки зору, хребет чи западина утворені функцією  $\varphi$  у точках, що належать графіку функції (1), (4) або (5), мають сталу висоту або глибину. Очевидно, що шуканою функцією потенціального поля є підградієнтна функція  $\psi$  виразу (33):

$$\psi = (\partial\varphi_M/\partial x_M)^2 + (\partial\varphi_M/\partial y_M)^2. \quad (34)$$

Векторне градієнтне поле саме цієї функції дозволяє завжди спрямовувати вектор спуску градієнтних алгоритмів типу (17) у напрямку шуканої кривої функції (1), (4) або (5). Відповідне градієнтне поле, замінюючи константи  $\varepsilon_0 \cdot (\varepsilon - 1)/2$  на єдиний коефіцієнт  $g$ , можна записати так:

$$\bar{\mathbf{f}} = g \cdot \nabla \psi = f_x \cdot \bar{\mathbf{e}}_x + f_y \cdot \bar{\mathbf{e}}_y. \quad (35)$$

Після побудови поля (35) його можна з легкістю перетворити на одиничне градієнтне поле типу (14), що матиме вид:

$$\bar{\mathfrak{S}} = \mathfrak{S}_x \cdot \bar{\mathbf{e}}_x + \mathfrak{S}_y \cdot \bar{\mathbf{e}}_y, \quad (36)$$

де складові даного вектора  $\bar{\mathfrak{S}}$  визначатимуться за формулою:

$$\mathfrak{S}_x = (\partial\psi/\partial x_M) / [(\partial\psi/\partial x_M)^2 + (\partial\psi/\partial y_M)^2]^{1/2} = f_x / [f_x^2 + f_y^2]^{1/2}, \quad (37)$$

$$\mathfrak{S}_y = (\partial\psi/\partial y_M) / [(\partial\psi/\partial x_M)^2 + (\partial\psi/\partial y_M)^2]^{1/2} = f_y / [f_x^2 + f_y^2]^{1/2}. \quad (38)$$

Якщо мова йде про просторову криву, задану параметрично у формі (2), то поля  $\varphi_M$ ,  $\psi$ ,  $\bar{\mathbf{f}}$  та  $\bar{\mathfrak{S}}$  матимуть наступну форму:

$$\varphi_M = k \int_{t_A}^{t_B} \frac{\zeta(f_1(t), f_2(t), f_3(t)) \cdot [(\partial f_1(t)/\partial t)^2 + (\partial f_2(t)/\partial t)^2 + (\partial f_3(t)/\partial t)^2]^{1/2} dt}{[(x_M - f_1(t))^2 + (y_M - f_2(t))^2 + (z_M - f_3(t))^2]^{1/2}}; \quad (39)$$

$$\psi = (\partial\varphi_M/\partial x_M)^2 + (\partial\varphi_M/\partial y_M)^2 + (\partial\varphi_M/\partial z_M)^2; \quad (40)$$

$$\bar{\mathbf{f}} = g \cdot \nabla \psi = f_x \cdot \bar{\mathbf{e}}_x + f_y \cdot \bar{\mathbf{e}}_y + f_z \cdot \bar{\mathbf{e}}_z; \quad (41)$$



$$\bar{\mathfrak{S}} = \mathfrak{S}_x \cdot \bar{\mathbf{e}}_x + \mathfrak{S}_y \cdot \bar{\mathbf{e}}_y + \mathfrak{S}_z \cdot \bar{\mathbf{e}}_z, \text{ де:} \quad (42)$$

$$\mathfrak{S}_x = f_x / [f_x^2 + f_y^2 + f_z^2]^{1/2}, \quad (43)$$

$$\mathfrak{S}_y = f_y / [f_x^2 + f_y^2 + f_z^2]^{1/2}, \quad (44)$$

$$\mathfrak{S}_z = f_z / [f_x^2 + f_y^2 + f_z^2]^{1/2}. \quad (45)$$

Спираючись на усі вище наведені перетворення, можна сформулювати алгоритм побудови векторного поля впливу на точки шуканого дискретного образу досліджуваного геометричного об'єкту:

1) Приводимо параметричне рівняння геометричного об'єкту до неявної форми скалярного поля потенціалу  $\phi_M$ , при умові, що даний об'єкт умовно заряджено з функцією розподілу заряду  $\zeta$  або  $\sigma$ .

2) Будуємо функцію скалярного поля квадратів напруженості  $\psi$  умовно зарядженого геометричного об'єкту.

3) Визначаємо градієнтне поле механічних сил притягіння  $\bar{\mathbf{f}}$  до умовно зарядженого геометричного об'єкту.

4) Будуємо одиничне градієнтне поле  $\bar{\mathfrak{S}}$  на основі поля сил  $\bar{\mathbf{f}}$ .

5) Використовуємо поле  $\bar{\mathfrak{S}}$  у градієнтних алгоритмах типу (17) для пошуку координат дискретного образу досліджуваної функції.

Даний алгоритм цілком застосовний і для відтворення дискретних образів параметрично заданих у формі (3) функцій поверхонь. Якщо поверхню задано параметрично у формі (3), а досліджувана ділянка самої поверхні обмежена криволінійними координатними лініями  $u_A$  і  $u_B$  та  $v_C$  і  $v_D$ , то поле  $\phi_M$  має бути побудоване за наступною формулою [7, 8]:

$$\phi_M = k \int_{u_A}^{u_B} \int_{v_C}^{v_D} \frac{\sigma(f_1(u, v), f_2(u, v), f_3(u, v)) \cdot [E \cdot G - F^2]^{1/2} dudv}{[(x_M - f_1(u, v))^2 + (y_M - f_2(u, v))^2 + (z_M - f_3(u, v))^2]^{1/2}}, \quad (46)$$

де елементи першої квадратичної форми  $E$ ,  $G$  та  $F$  визначаються за формулами [1]:

$$E = (\partial x / \partial u)^2 + (\partial y / \partial u)^2 + (\partial z / \partial u)^2, \quad (47)$$

$$F = (\partial x / \partial u) \cdot (\partial x / \partial v) + (\partial y / \partial u) \cdot (\partial y / \partial v) + (\partial z / \partial u) \cdot (\partial z / \partial v), \quad (48)$$

$$G = (\partial x / \partial v)^2 + (\partial y / \partial v)^2 + (\partial z / \partial v)^2. \quad (49)$$

Поля  $\psi$ ,  $\bar{\mathbf{f}}$  та  $\bar{\mathfrak{S}}$  для параметрично заданої поверхні матимуть форму аналогічну (40), (41) та (42) – (45) відповідно.

Векторне поле  $\bar{\mathfrak{S}}$  може бути використане для пошуку точок графіку досліджуваної функції, при чому як на основі градієнтних методів, так і на основі підходу із застосування параметричних рівнянь стану ланок інтерпретаційних сітчастих структур [9, 10].

**Висновки.** Продемонстрований алгоритм дозволяє побудувати скалярне й векторне поля, характер впливу яких на точки дискретного образу первинної досліджуваної функції дозволяє не просто визначати

координати цих точок, задаючи параметр варіювання, але й цілком контролювано згущувати крок дискретизації плоскої або просторової кривої чи поверхні саме у тих її ділянках, що потребують особливої уваги. Окрім того, використання одержаних полів у градієнтних або інших алгоритмах може значно прискорювати процес моделювання дискретного образу досліджуваного геометричного об'єкту за рахунок зменшення ймовірності виникнення помилок пошуку координат, що прискорить час роботи обчислювального обладнання та знизить трудовитрати, спричинені людським втручанням для корегування роботи алгоритмів.

### *Література*

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Изд. перераб. под ред. Г. Гроше, и В. Циглера. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. 976 с.
2. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство. Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 238 с., ил.
3. Скочко В.І. Пошук містків холоду у вузлах будівельної конструкції на основі спеціальних інтерполяційних функцій. Енергозбереження в буд. та архітектурі. Київ: КНУБА, 2013. Вип. 4. С. 259–264.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике: для инженеров и студентов. Изд. 7-е, испр. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. 944 с., илл.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. Т. II. Теория поля. Изд 7-е, испр. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 512 с.
6. Иваненко Д., Соколов А. Классическая теория поля. Изд. 2-е. М.: Гос. изд-во тех.-теор. лит., 1951. 480 с.
7. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов, т. 1. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972. 456 с.
8. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов, т. 2. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972. 576 с.
9. Скочко В. І. Практичні аспекти дослідження та корегування сітчастих структур, побудованих шляхом геометричного формоутворення. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. – К. : КНУБА, 2018. Вип. 51. С. 498-506.
10. Скочко В. І. Моделювання дискретних образів плоских кривих з ланками однакової довжини. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018. Вип. 12. С. 132-137.
11. Тамм И. Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов.

Изд. 11-е, испр. и доп. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. 616 с.

## **АЛГОРИТМ УСКОРЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕГУЛЯРНЫХ ДИСКРЕТНЫХ КАРКАСОВ КРИВЫХ И ПОВЕРХНОСТЕЙ, ЗАДАНЫХ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЕ**

Скочко В.И.

*В работе предлагается новый подход к построению дискретных образов кривых и поверхностей, функции которых заданы в параметрической форме. Принцип этого подхода заключается в том, чтобы рассматривать заданную кривую или поверхность (геометрический объект), как некоторое физическое тело – стержень или оболочку постоянного сечения, согнутое в форму пространственной кривой или поверхности соответственно. В то же время считается, что данному стержню или оболочке дано некоторый электрический заряд, в результате чего он начинает работать, как проводник в среде диэлектрика, притягивая этот диэлектрик с определенной силой в каждой точке исследуемого участка пространства. Для того, чтобы получить дискретный образ изучаемого геометрического объекта, следует построить поле механических сил притяжения исследуемого графика функции и приложить к узлам образа с заранее определенной топологией векторы сил полученного поля. В таком случае график функции будет выполнять роль условного магнита, а расстояние между отдельными узлами дискретного образа или шаг его дискретизации по координатным осям смогут быть отрегулированы в соответствии со спецификой данного геометрического объекта и его назначения. Таким образом, появляется возможность не просто определять координаты точек геометрического объекта, задавая параметр варьирования, а вполне контролируемо сгущать шаг дискретизации плоской или пространственной кривой или поверхности именно в тех ее участках, которые требуют особого внимания. Предложенный подход позволяет значительно сократить время построения точек каркаса при использовании градиентных методов поиска соответствующих точек, поскольку исключает возможность того, что на одном из этапов при постепенном приближении к геометрическому объекту, шаг градиентного смещения превысит расстояние до кривой, а направление спуска (или подъема) векторного поля продолжит отодвигать данную точку дискретного образа от исследуемого геометрического объекта. Следовательно, не только уменьшается вероятность возникновения ложных решений и появления вырожденных точек дискретного образа, но и значительно сокращается время выполнения расчетов итерационного исчисления, необходимого для построения исследуемого геометрического*

объекта.

*Ключевые слова: плоские и пространственные кривые и поверхности, градиентные методы поиска, параметрическая функция объекта.*

## **ALGORITHM FOR ACCELERATING THE SIMULATION OF REGULAR DISCRETE FRAMES OF CURVES AND SURFACES DEFINED IN PARAMETRIC FORM**

Skochko V.

*This paper proposes a new approach to the construction of discrete images of curves and surfaces, the functions of which are given in parametric form. The principle of this approach is to treat a given curve or surface (geometric object) as some physical body — a rod or shell of constant cross section, bent into the shape of a spatial curve or surface, respectively. At the same time, it is considered that a given electric charge is given to a these rod or shell, as a result of which it begins to work as a conductor in a dielectric environment, attracting this dielectric with a certain force in each exact portion of space under investigation. In order to obtain a discrete image of the studied geometric object, one should construct the field of mechanical forces of attraction of the studied graph of the function and attach to the nodes of the image with a predetermined topology the vectors of the obtained field. In this case, the function graph will play the role of a conditional magnet, and the distance between the individual nodes of the discrete image or its discretization step along the coordinate axes can be adjusted in accordance with the specifics of the given geometric object and its purpose. Thus, it is possible not only to determine the coordinates of points of a geometric object, setting the variation parameter, but to control the discretization step of a flat or spatial curve or surface precisely in those areas that require special attention. The proposed approach allows to significantly reduce the time of constructing the frame points using gradient methods for finding the corresponding points, since it eliminates the possibility that at one of the stages, when gradually approaching a geometric object, the step of the gradient displacement exceeds the distance to the curve, and the direction of descent (or ascent) the fields will continue to move the given point of the discrete image from the studied geometric object. Consequently, not only decreases the probability of false decisions and the emergence of degenerate points of a discrete image, but also significantly reduces the time for performing calculations of the iterative calculus necessary to build the geometric object under investigation.*

*Keywords: flat and spatial curves and surfaces, gradient search methods, parametric function of the object.*

УДК 514.18

## **КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ЩОДО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ ТРАНСПОРТНИХ ШЛЯХІВ**

Холковський Ю.Р., к.т.н.

*Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)*

*У роботі розглядається комплексний підхід щодо питань побудови дискретно-інтерполяційних геометричних моделей певних середовищ із характерними для них локальними компонентними забрудненнями на основі дискретно-інтерполяційного методу та з використанням методу Кунса. При цьому важливе значення має прогнозування локальних та інших забруднень довкілля, атмосферного повітря і, зокрема, прилеглих територій автотранспортних магістралей, що може допомогти у прийнятті раціональних управлінських рішень щодо сфери охорони навколишнього повітряного середовища, здоров'я людей.*

*Очевидно, що з кожним роком відбувається збільшення забруднення атмосферного повітря прилеглих територій та довкілля в цілому завдяки відповідному суттєвому збільшенню транспортних потоків.*

*У роботі пропонується використати дискретно-інтерполяційний метод, розроблений автором у поєднанні із методом Кунса щодо моделювання відсіків поверхонь.*

*Оригінальність методу, що пропонується, полягає в трактуванні вузлів інтерполяції, як більш складних, ніж точки, об'єктів, що представлені у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей і параметрів за певною інтерполяційною схемою. Це дозволяє формувати функціонали, параметри яких мають різну структуру і властивості.*

*Отримавши результати моніторингу при вимірюванні, наприклад, рівня концентрації певного компонента середовища, можна на основі дискретно-інтерполяційного методу, що пропонується, отримати геометричну модель його розподілення або ж розсіювання.*

*Метод, що пропонується, має велику варіативність і, а саме це є дуже важливим, дозволяє включити в однопараметричні множини об'єкти та параметри, що мають різну структуру і властивості, що практично не поєднуються у континуальній моделі. Комплексний підхід, що пропонується, дає можливість моделювати просторові поля локальних забруднень придорожніх територій, враховувати певну анізотропність у часі й просторі компонентів забруднення, як*

*складових багатопараметричних середовищ.*

*Ключові слова: однопараметричні множини, інтерполяція, дискретно-інтерполяційний метод, вузли інтерполяції, метод Кунса, комплексний підхід.*

**Постановка проблеми.** У теперішній час питання екології довкілля постають все гостріше. Зростає рівень забруднення, зашлакованості, накопичення шкідливих та небезпечних речовин. На жаль, великою складовою у цих проблемах є автотранспортний комплекс, який є одним з найбільш потужних джерел забруднення міського довкілля та атмосферного повітря. Для прикладу, відповідно статистичних даних, у 2000 р у Києві частка забруднення повітряного простору автотранспортом сягала 68,95% від загального обсягу забруднень, у 2013 році ця цифра збільшилася до 84,10%, а у 2015-му році досягла майже 90% [1, 2]. Екологічна ситуація ускладнюється ще й щорічним збільшенням на міських автомагістралях потоків транзитного транспорту, зокрема, вантажного з різних регіонів країни. Ще одна серйозна проблема - так зване старіння автопарку. Згідно зі статистичними даними, середній термін служби автотранспортного засобу в Україні становить близько 14-16 і, навіть, по деяким джерелам, 18 років, тоді як цей же показник в країнах ЄС - всього 8 років. Зрозуміло, що подібна ситуація досить негативно впливає на рівень екологічного забруднення довкілля.

Таким чином, розробка математичних моделей для задач прогнозування забруднення атмосферного повітря і прилеглих до автомагістралей територій є актуальним завданням, з огляду на можливість використання цих даних для контролю і регулювання викидів, а також для розробки заходів щодо мінімізації шкідливого впливу з боку автотранспорту на навколишнє середовище міста і здоров'я людей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У спеціалізованих літературних джерелах питанням дослідження складних багатопараметричних систем приділяється увага. Але треба зазначити, що, в основному, розглядаються питання моніторингу систем та середовищ, статистичної обробки їх результатів. Значно меншою мірою розглядаються питання побудови їх будь-яких моделей. Моделі, якщо й будуються, то, як правило, емпіричні й базуються на основі певних фізико-хімічних характеристик. Питання ж побудови геометричних моделей таких систем та середовищ практично не зустрічаються. У роботах автора [3-6] розглядалися питання моделювання складних технічних об'єктів та середовищ із використанням дискретно-інтерполяційного методу. Підкреслимо, що алгоритми та методи геометричного моделювання складних

багатопараметричних об'єктів, систем та середовищ із побудовою їх дискретних математичних моделей у літературних джерелах практично відсутні. Це дозволяє сформулювати наступні цілі даної роботи.

**Формулювання цілей статті.** Наразі, побудувати континуальні моделі складних багатопараметричних об'єктів, систем та середовищ практично неможливо, тому раціональним, на нашу думку, може бути комплексний підхід, що базується на використанні дискретно-інтерполяційного методу та методу Кунса, що дозволить побудувати дискретні математичні моделі цих об'єктів та середовищ.

Отже, метою дослідження є побудова дискретних геометричних моделей багатопараметричних об'єктів та середовищ на основі дискретно-інтерполяційного методу із використанням методу Кунса.

**Основна частина.** Якщо розглядати такі складні багатопараметричні системи та середовища, як екологічні, гідрологічні, енергетичні, геоморфологічні тощо, то з прогнозування їх стану, визначення локальних забруднень цих середовищ – це досить складна задача, яка водночас є й важливою соціально-суспільною. Виникають такі задачі в процесі обробки результатів моніторингу таких середовищ, при розробці методів щодо довгострокового прогнозування їх стану та визначення антропогенного впливу.

Відомо, що екологічний моніторинг використовується для визначення антропогенних складових на фоні суто природних біосферних процесів. У сучасних умовах ми маємо справу фактично з неконтрольованим впливом людини на навколишнє середовище, сучасною глобальною екологічною кризою. Отже, оптимізація екологічного моніторингу та його результатів, прогнозування стану екологічних систем набуває особливої значущості.

У практиці моделювання складних багатопараметричних систем та середовищ, таких як екологічні, гідрологічні, геоморфологічні, енергетичні тощо, неможливо отримати їх континуальні моделі завдяки великій кількості параметрів з різноманітною структурою й різноякісними властивостями і певною анізотропією у часі й просторі. Тобто вони за усіма ознаками відносяться до категорії стохастичних систем.

Для побудови їх дискретних моделей пропонується дискретно-інтерполяційний метод, розроблений автором. Базується цей метод на використанні дискретно-інтерполяційних схем із застосуванням поліномів Лагранжа і є оригінальним завдяки трактуванню вузлів інтерполяції, як більш складних, ніж точки, об'єктів, представлених у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей і параметрів. Це дозволяє формувати функціонали, параметри яких мають різну структуру і властивості, що саме й притаманно

вищезгаданим системам та середовищам. Відповідно, у дискретно-інтерполяційному методі поліноми Лагранжа мають такий вигляд:

$$\Phi(u)_n = \sum_{i=0}^{n-1} F_i(p_1, p_2, \dots, p_m) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}, \quad (1)$$

де  $u$  – параметр інтерполяції,  $F_i(p_1, p_2, \dots, p_k)$  - вузлова функція,  $p_1, p_2, \dots, p_k$  – параметри вузлової функції (показники забруднення, рівень концентрації певних речовин, врахування природних особливостей середовищ тощо),  $n$  – кількість вузлів інтерполяції, у яких розташовуються певні дискретні функції.

Якщо  $F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m)$  – багатопараметрична неявно задана функція, то формування її у вигляді деякого функціонала  $\Phi(p_{i,j})$ , що заданий матрицею  $M[i, j]$  приводить до такого виразу:

$$\Phi(p_{i,j}) = \sum_{i=0}^{n-1} M_i(i, j) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}, \quad (2)$$

де  $n$  - кількість вузлів інтерполяції,  $u$  - параметр  $M_i[i, j]$ , відповідний проміжному положенню або ж стану,  $F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m) = M[i, j]$ , а

$$M[i, j] = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & \dots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & \dots & p_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \dots & \dots & p_{m,n} \end{pmatrix}.$$

Тобто  $M[i, j]$  є вузловою дискретно-інтерполяційною екоматрицею, а вираз (2) є дискретною геометричною моделлю певної системи чи середовища (екологічного, енергетичного, гідрологічного, метеорологічного тощо).

Таким чином, маючи результати моніторингу щодо вимірювання рівня концентрації певного компонента середовища, можна отримати геометричну модель його розподілення або ж розсіювання. Такі моделі можуть бути побудовані для певної кількості компонентів, що дасть змогу отримати відносно повну інтегровану картину щодо ситуації або стану деякої багатопараметричної системи чи середовища.

Проте треба визнати, що результати моніторингу не завжди вкладаються в певну схему. Їх позиційно-просторові параметри можуть бути довільними, наприклад, контурними тощо, тобто не було



можливості здійснити внутрішні вимірювання. Тоді пропонується використати комплексний дискретно-інтерполяційний підхід із використанням методу Кунса для побудови поверхонь на основі відповідного рівняння:

$$r(u, v) = \sum_{i=0}^1 a_i(u) \cdot r(i, v) + \sum_{j=0}^1 a_j(v) \cdot r(u, j) + \prod_{i=0}^1 a_i(u) \cdot a_j(v) \cdot r(i, j),$$

де  $a_0(u) = 1 - u$ ,  $a_1(u) = u$ ,

$a_0(v) = 1 - v$ ,  $a_1(v) = v$ ,  $0 < u < 1$ ,  $0 < v < 1$ .

Підставляючи ці рівняння у якості вузлів інтерполяції в (2), ми можемо отримати більш повну дискретну геометричну модель розподілення певних компонентів на деякій локальній території, що і є реалізацією комплексного підходу, що пропонується.

**Висновки.** Використання комплексного підходу на основі дискретно-інтерполяційного методу та методу Кунса дозволяє будувати дискретні геометричні моделі багатопараметричних систем та середовищ, що, в свою чергу, дозволяє проводити більш ефективний екологічний моніторинг, моделювати прогнозований стан середовищ. Особливістю методу є велика варіативність та можливість включення в однопараметричні множини об'єктів та параметрів, що мають різну структуру і властивості, що неможливо поєднати у континуальній моделі.

### **Література**

1. Статистичний щорічник м. Києва за 2013 рік [статистичний довідник]. К.: Консультант, 2014. – 344 с.
2. Статистичний щорічник м. Києва за 2015 рік / Державна служба статистики України. Головне управління статистики у м. Києві; за ред. Р.Г. Віленчук. К., 2016. 23 с.
3. Холковський Ю.Р. Інтерполяція дискретних масивів у загальному випадку як спосіб моделювання багатопараметричних об'єктів та процесів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка: праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, ТДАТА, 2011. Вип. 4. Т. 51. С. 156-160.
4. Холковський Ю.Р. Моделювання багатопараметричних процесів та систем на основі дискретно-інтерполяційного підходу в екології. *Праці VIII Всеукраїнських наукових Талійських читань*. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. С.204-208.
5. Холковський Ю.Р. Дискретно-інтерполяційна екоматриця як геометрична модель багатопараметричних процесів та систем в екології. *Збірник наукових праць «Прикладна геометрія та інженерна графіка»*. Мелітополь, ТГАТУ, 2013. Вип.5. С. 183-188.

6. Холковський Ю.Р. Побудова геометричних моделей розподілення компонентів локальних забруднень із використанням дискретно-інтерполяційного методу та рівняння Кунса. *Сучасні проблеми моделювання: збірник наукових праць*. Мелітополь, Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Богдана Хмельницького, листопад 2017 р. Вип 10. С150-154.

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ**

Холковский Ю.Р.

*В работе рассматривается комплексный подход в вопросах построения дискретно-интерполяционных геометрических моделей определенных сред с характерными для них локальными компонентными загрязнениями на основе дискретно-интерполяционного метода и с использованием метода Кунса. При этом важное значение имеет прогнозирование локальных и других загрязнений окружающей среды, атмосферного воздуха, а также прилегающих территорий автотранспортных магистралей, что может помочь в принятии рациональных управленческих решений в области сферы охраны окружающего воздушного пространства, здоровья людей. Очевидно, что с каждым годом происходит увеличение загрязнения атмосферного воздуха прилегающих территорий и окружающей среды в целом благодаря существенному увеличению транспортных потоков.*

*В работе предлагается использовать дискретно-интерполяционный метод, разработанный автором в сочетании с методом Кунса для моделирования отсеков поверхностей. Оригинальность предлагаемого метода состоит в трактовке узлов интерполяции, как более сложных, чем точки, объектов, которые представлены виде некоторых функционалов, как совокупности их свойств и параметров при определенной интерполяционной схеме. Это позволяет формировать функционалы, параметры которых имеют различную структуру и свойства. Получив результаты мониторинга при измерении, например, уровня концентрации определенного компонента среды, можно на основе дискретно-интерполяционного метода получить геометрическую модель его распределения или рассеивания.*

*Предлагаемый метод имеет большую вариативность и, что очень важно, позволяет включить в однопараметрические множества объекты и параметры, имеющие различную структуру и свойства, что практически не сочетается в континуальной модели. Предлагаемый комплексный подход дает возможность моделировать пространственные поля локальных загрязнений придорожных*

территорий, учитывая определенную анизотропность во времени и пространстве компонентов загрязнения, как составляющих многопараметрических сред.

Ключевые слова: однопараметрические множества, интерполяция, дискретно-интерполяционный метод, узлы интерполяции, метод Кунса.

## **COMPLEX APPROACH ON GEOMETRIC MODELING OF LOCAL POLLUTANTS IN AWARENED TERRITORIES OF TRANSPORT WAYS**

Kholkovsky Yu.

*The paper considers an integrated approach in the construction of discrete-interpolation geometric models of certain environments with their characteristic local component contamination based on the discrete-interpolation method and using the Koons method. At the same time, forecasting local and other pollution of the environment, atmospheric air, and the surrounding areas of motorways is important, which can help in making rational management decisions in the field of environmental airspace protection and human health.*

*It is obvious that every year there is an increase in air pollution in the adjacent territories and the environment as a whole due to a significant increase in traffic flows. It is proposed to use a discrete-interpolation method developed by the author in combination with the Koons method for modeling surface compartments.*

*The originality of the proposed method consists in the interpretation of interpolation nodes, as more complex than points, of objects that are represented as some functionals, as a combination of their properties and parameters under a certain interpolation scheme. This allows you to form functionals, the parameters of which have different structure and properties.*

*Having obtained the results of monitoring when measuring, for example, the concentration level of a certain component of the medium, it is possible to obtain a geometric model of its distribution or dispersion on the basis of the discrete-interpolation method.*

*The proposed method has a large variability and, which is very important, allows you to include objects and parameters that have different structure and properties in one-parameter sets, which is practically not combined in the continual model. The proposed comprehensive approach makes it possible to model the spatial fields of local pollution in roadside areas, taking into account a certain anisotropy in time and space of the components of pollution, as components of multiparameter environment.*

*Keywords: one-parameter sets, interpolation, discrete interpolation method, interpolation nodes, Koons method.*

УДК 004.896

## **КЛАСИФІКАЦІЯ ОСНОВНИХ ТРИВИМІРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІМ МОДЕЛІ**

Шаповалова С.І., к.т.н.,

Кунатова О.А.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*При використанні в САЕ-системах ВІМ моделі необхідно, щоб всі її елементи були визначені в специфікації як стандартні будівельні конструкції. В багатьох випадках при проектуванні ВІМ моделі використовуються не тільки стандартні інструменти побудови будівельних компонентів, а й інструменти побудови геометричних примітивів, таких як: паралелепіпед, циліндр, конус та інші. Таким чином, необхідно визначити кожен компонент моделі, який представлено сукупністю геометричних примітивів, як стандартний будівельний елемент. Автоматизація приведення опису компоненту ВІМ моделі до визначення стандартного будівельного елемента є актуальною задачею.*

*В статті проведено аналіз існуючих рішень класифікації будівельних компонентів, а також базових підходів до класифікації 3D об'єктів, до яких ці конструкції відносяться. Обґрунтовано використання градієнтного бустингу, а також засобу його реалізації – бібліотеки LightGBM. Як предмет бустингу обрано дерева рішень. Результатом навчання є послідовність дерев рішень. Виділено чотири класи: стіна, колона, балка, перекриття. Виділено три ознаки для класифікації об'єктів: висота, ширина, довжина. Габаритні характеристики визначаються за орієнтованим обмежуючим прямокутником.*

*Розроблено програмну систему з двома режимами функціонування: навчання та безпосередньо розпізнавання компонентів ВІМ моделі із заповненням полів її специфікації. Відповідно кожному призначенню реалізовано окремий плагін для САД-системи Allplan.*

*Для навчання підготовлено навчальну вибірку, яка сформована на основі 10 ВІМ моделей різного призначення. В статті наведено значення параметрів навчання, з якими вдалося досягти коректного розпізнавання: кількість ітерації бустингу, кількість ітерацій для раннього завершення, максимальна кількість замикаючих вузлів кожного дерева, метрика якості моделі.*

*Результати апробації за 50 ВІМ моделями довели ефективність*

класифікації, оскільки коректне розпізнавання становить 98,5%.

*Ключові слова:* класифікація 3D тіл, BIM модель, градієнтний бустинг, пластинчато-стрижнева модель, машинне навчання.

**Постановка проблеми.** Одним з етапів проектування будівлі є створення архітектурної моделі. Існує багато програмних засобів, які дозволяють створювати BIM модель будівлі (Building Information Model). Такі системи автоматизованого проектування будівлі пропонують архітектору набір інструментів для побудови основних конструктивних елементів будівлі (стіна, перекриття, колона, балка). Проте іноді можливості цих інструментів не дозволяють створити будівельний елемент з необхідною геометрією. У таких випадках архітектор вдається до використання інструментів 3D моделювання геометричними примітивами (паралелепіпед, циліндр, шар та інші). Проблема полягає в тому, що для подальшої роботи, наприклад побудови пластинчато-стрижневої моделі для передачі у розрахункову систему (CAE), кожен елемент моделі має бути описаний як один зі стандартних конструктивних елементів будівлі. Задачу опису кожного 3D об'єкту має розв'язувати експерт, що веде за собою додаткові витрати ресурсів висококваліфікованих спеціалістів. Тому автоматичне розпізнавання тривимірних конструктивних будівельних елементів BIM моделі є актуальним і має практичну значущість.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розв'язання задачі класифікації будівельних конструкцій запропоновано у публікаціях [1, 2]. У роботі [1] вирішено задачу класифікації об'єктів на основі алгоритму машинного навчання SVM (support-vector machines) на такі класи: підлога, стеля, дах, стіна і балка. У роботі [2] наводиться методика класифікації об'єктів вже існуючої будівлі на класи: підлога, стеля, дах, стіна, вікно та двері, виходячи з геометрії компонентів та контекстної інформації.

Конструктивні будівельні компоненти BIM моделі є тривимірними об'єктами. До базових підходів розв'язання задачі класифікації 3D об'єктів можна віднести: 1) застосування об'ємних згорткових нейронних мереж VCNN (Volumetric convolutional neural network); 2) градієнтний бустинг (gradient boosting).

VCNN – це нейронні мережі, призначені для аналізу тривимірних даних. Розпізнавання різноманітних об'єктів у реальному часі представлено у роботі [3].

Робота [4] присвячена вирішенню на основі VCNN проблеми семантичної сегментації інтер'єру приміщень, представлених у вигляді хмар точок на такі класи: стіна, стіл, стілець, людина, полиця,

об'єкт, монітор. Вихідною інформацією є помічена хмара точок, де кожній точці співставлено клас.

Згідно першому підходу, розпізнається безпосередньо 3D об'єкт. Однак для задачі класифікації будівельних компонентів доцільно використовувати класифікацію на основі градієнтного бустингу, тому, що для поточної прикладної задачі габаритні характеристики є визначальними.

Градієнтний бустинг – це алгоритм машинного навчання, призначений для вирішення задач регресії та класифікації, вперше запропонований у роботі [5]. Цей алгоритм полягає у комбінуванні (ансамблі) слабких прогнозуючих моделей (наприклад, дерев рішень) у більш сильну модель. Такі ансамблі методів застосовують у машинному навчанні для отримання більшої ефективності у вирішенні задач, ніж це можуть дати окремі моделі. Одними з основних типів ансамблів методів є беггінг (bagging) та бустинг (boosting). У градієнтному бустингу моделі будуються послідовно.

Виділяють наступні типи алгоритмів на основі ансамблів методів: градієнтний бустинг над деревами рішень [5], випадковий ліс (random forest) [6], DART (Dropouts meet Multiple Additive Regression Trees) [7], GOSS (Gradient-based One-Side Sampling) [8].

В даному дослідженні було обрано метод градієнтного бустингу над деревами рішень тому, що він відноситься до базового підходу. Інші методи пропонують оптимізації для розв'язання специфічних задач.

**Формулювання цілей статті.** Мета роботи – створити програмне забезпечення автоматичного формування специфікації (semantic labeling) тривимірних геометричних об'єктів за BIM моделлю.

**Основна частина.** На даний момент існує багато будівельних CAD-систем, які створюють BIM моделі (Allplan, Revit, ArchiCAD та інші). В цих системах проектується фізична модель будівлі.

Для розрахунків навантажень використовуються такі САЕ-системи: Dlubal, STARK ES, САПФИР. Ці системи проводять розрахунки на основі аналітичної, наприклад, пластинчато-стрижневої, моделі будівлі.

Задача полягає в тому, що на основі опису BIM необхідно створити специфікацію будівельних компонентів. Вхідною інформацією є безпосередньо BIM модель, яка представляє вигляд будівлі зовні та її приміщень. Вихідною інформацією є специфікація компонентів моделі.

Така специфікація містить інформацію про належність кожного компонента моделі будівлі певному класу будівельної конструкції. Визначено такі класи: стіна, колона, балка, перекриття.

Існує декілька основних способів визначення геометрії 3D об'єкту: полігональна сітка, граничне представлення та комбінація декількох тривимірних тіл за допомогою булевих операцій. Такими операціями є перетин, об'єднання та віднімання декількох 3D тіл.

Наприклад, візьмемо двоповерхову житлову будівлю (рис. 1).

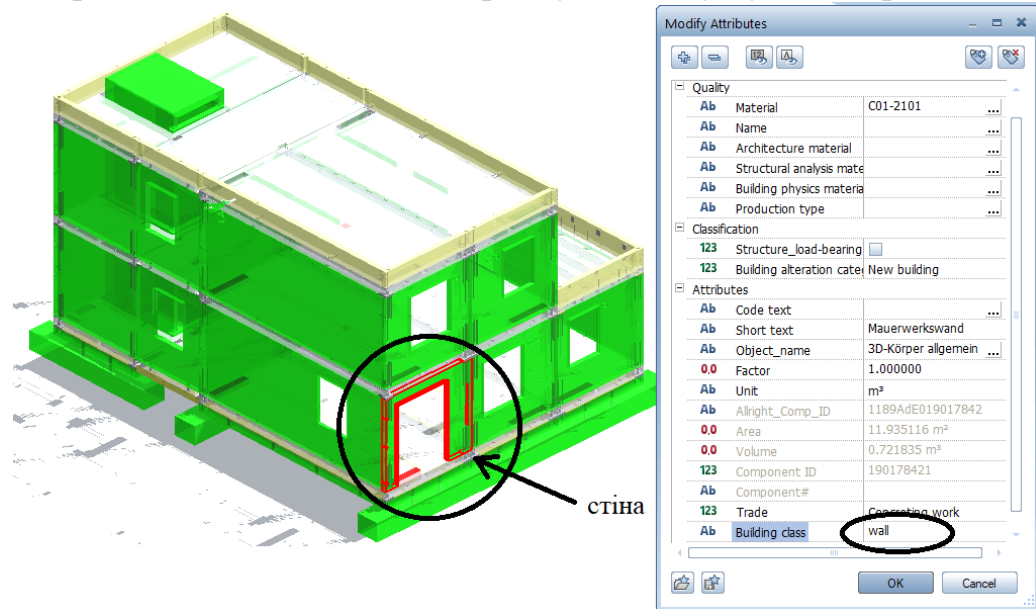


Рис. 1. Розпізнавання компоненту BIM моделі двоповерхової житлової будівлі

На відображенні у вигляді анімації BIM моделі виокремлено об'єкт, який в специфікації має бути описаний як стіна. У BIM моделі він визначається як 3D тіло, його геометрія визначена за допомогою полігональної сітки та складається з 271 грані.

В цьому прикладі задача полягає у визначенні даного 3D тіла як стіни. Це має відобразитись у відповідному атрибуті «Building class». В специфікації тривимірного тіла виокремлено відповідне поле, заповнене значенням класу стіна (wall), що відповідає результату розпізнавання.

Результатом розв'язання поточної задачі є заповнений атрибут «Building class» кожного 3D об'єкту BIM моделі відповідним значенням класу. Після заповнення, специфікація тривимірних об'єктів забезпечує повну інформацію для побудови пластинчато-стрижневої моделі будівлі.

Визначальними характеристиками тривимірних будівельних елементів є: довжина (length), ширина (width), висота (height). Додаткова проблема полягає в тому, що ці характеристики необхідно знайти у випадку, коли грані будівельного компоненту розташовані не паралельно всім координат.

Приблизним розв'язком проблеми знаходження габаритних характеристик є побудова орієнтованого обмежуючого прямокутника

(axis-aligned bounding box), приклад якого для криволінійної стіни зображено пунктирною лінією на рис. 2.

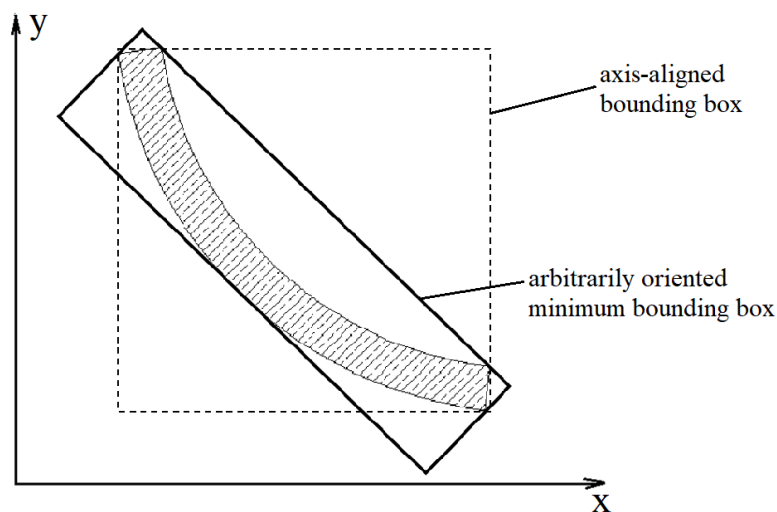


Рис. 2. Обмежуючі прямокутники криволінійної стіни (вид зверху)

Більш точним рішенням є побудова довільно орієнтованого мінімального обмежуючого прямокутника (arbitrarily oriented minimum bounding box) – жирна лінія на рис. 2. Метод побудови такого обмежуючого паралелепіпеду описано у роботі [9].

Метод градієнтного бустингу реалізовано в бібліотеках: LightGBM [10], XGBoost [11], scikit-learn [12] та інших. Найбільш ефективними є перші дві, інші мають нижчу ефективність. В даному дослідженні використовується бібліотека LightGBM.

Як предмет бустингу обрано дерева рішень. Результатом навчання є послідовність дерев рішень. Виділено чотири класи: стіна, колона, балка, перекриття. Виділено три ознаки для класифікації об'єктів: висота, ширина, довжина.

Бібліотека LightGBM дозволяє обрати одну або декілька з наступних метрик: площа під кривою помилок (Area Under Curve), функції втрат: absolute loss, square loss, logarithmic loss, Huber loss та інші.

Коректного розпізнавання вдалося досягти в результаті моделювання з такими значеннями параметрів:

- кількість ітерацій бустингу – 5000;
- кількість ітерацій для раннього завершення – 100;
- максимальна кількість замикаючих вузлів кожного дерева – 31;
- метрика якості – логістична функція помилки.

Для створення навчальної вибірки було проаналізовано 10 BIM моделей будівель різного призначення із заздалегідь визначеними класами будівельних компонентів: 6 житлових багатоповерхівок, 3 офісні будівлі, 1 торговельний центр.



Навчальна вибірка (табл. 1) формувалася з BIM моделей системи Allplan [13], у яких всі об'єкти будівлі були визначені специфікацією як стандартні будівельні конструкції.

Таблиця 1

Характеристики навчальної вибірки

Клас	Кількість прикладів	
	Навчальна вибірка	Тестова вибірка
Стіна	1413	353
Колона	562	140
Перекриття	182	45
Балка	517	129

Навчання було зупинено при досягненні значення логістичної функції у 0,0177651 на 362 ітерації.

Результатом навчання є модель, яка складається з 1448 дерев рішень, фрагмент одного з яких зображено на рис. 3.

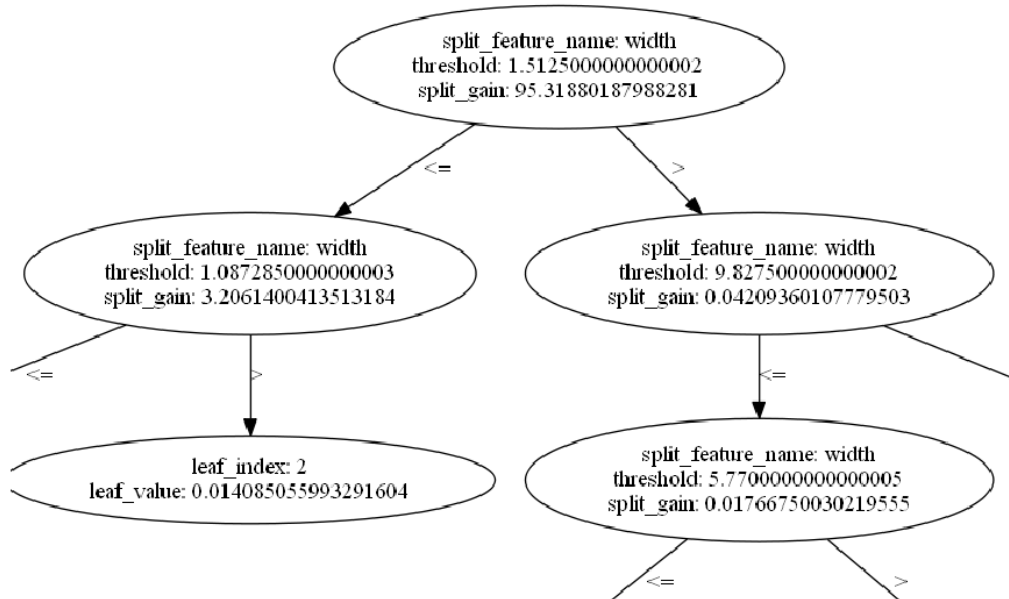


Рис. 3. Фрагмент одного з дерев рішень щодо оцінювання ширини 3D об'єкта

Програмна система має працювати у двох режимах: навчання та безпосередньо розпізнавання компонентів BIM моделі з визначенням її специфікації. Відповідно кожному призначенню реалізовано окремий плагін для системи Allplan.

Діаграму компонентів розробленої системи представлено на рис. 4.

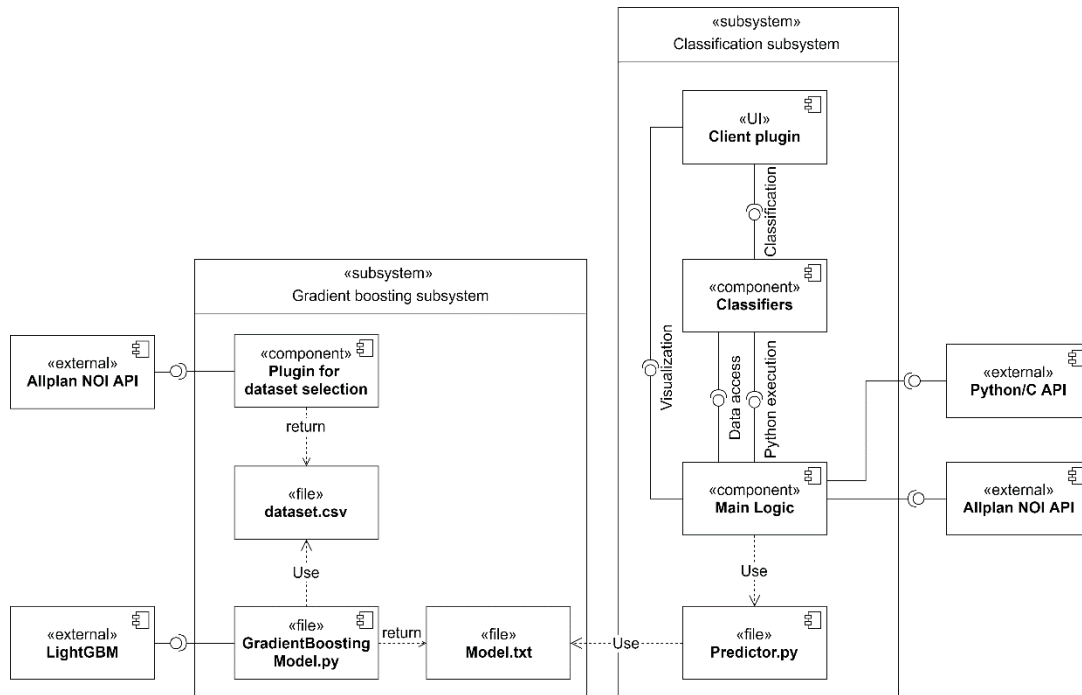


Рис. 4. Діаграма компонентів програмної системи

Перша підсистема (Gradient boosting subsystem) використовується для формування навчальних прикладів та побудови моделі на основі градієнтного бустингу. У склад цієї підсистеми входить плагін для формування файлу навчальних прикладів (Plugin for dataset selection). Цей плагін реалізовано мовою C++. За допомогою засобів Allplan NOI API він отримує всі будівельні компоненти активної в Allplan BIM моделі та формує файл-таблицю з габаритними характеристиками кожного об'єкту та його класу. Другою задачею цієї підсистеми є безпосередньо навчання. В роботі використовується алгоритм градієнтного бустингу з бібліотеки LightGBM для Python [10]. Результуюча модель записується у файл, який використовується другою підсистемою.

Друга підсистема (Classification subsystem) є оболонкою класифікатору, містить плагін для CAD-системи Allplan із графічним інтерфейсом користувача для класифікації 3D об'єктів та формування для них специфікації. Інтерфейс користувача створено за допомогою технології WPF із застосуванням MVVM патерну. Допоміжна бібліотека з головною логікою системи (Main Logic) реалізована мовою C++ з використанням Allplan NOI API для реалізації взаємодії з Allplan. Вона дозволяє отримувати 3D об'єкти поточної моделі Allplan, візуально активувати об'єкти та керувати їх видимістю. Взаємодія оболонки зі скриптами на Python (Predictor.py) реалізована за допомогою Python/C API [14]. Бібліотека Classifiers другої підсистеми надає зручний інтерфейс (Classification) для використання з боку плагіна.

Результати апробації для трьох BIM моделей зведені у таблицю 2.

Таблиця 2

## Апробація системи

№	Назва будівлі	Кількість будівельних конструкцій				Частка коректного розпізнавання, %
		Стіни	Колони	Балки	Перекриття	
1	Промислова будівля	15 100	51 96	35 97	4 100	
2	Житлова двоповерхова будівля	16 100	- -	2 100	15 100	
3	Житлова триповерхова будівля	40 98	10 100	34 97	24 96	

Всього в апробації було задіяно 50 BIM моделей, для яких визначено частку коректного розпізнавання компонентів 98,5%.

**Висновки.** На основі проведеного аналізу існуючих підходів і методів класифікації тривимірних об'єктів обґрунтовано використання градієнтного бустингу для класифікації основних тривимірних будівельних елементів BIM моделі.

Підготовлено навчальну вибірку за десятьма BIM моделями різного призначення: 6 житлових багатоповерхівок, 3 офісні будівлі, 1 торговельний центр.

Запропоновано програмне рішення автоматичного формування специфікації тривимірних геометричних об'єктів за BIM моделлю у вигляді двох плагінів для САД-системи Allplan. Плагіни призначені відповідно: для навчання та безпосередньо формування специфікації будівельних компонентів BIM моделі.

Програмна система апробована для 50 BIM моделей. Результати випробовування становлять 98,5% коректного розпізнавання.

### Література

1. Bassier M., Vergauwen M., Van Genechten B. Automated classification of heritage buildings for as-built BIM using machine learning techniques // ISPRS Annals of the PRSSIS. 2017. IV-2/W2. P. 25–30.

2. Bassier M., Vergauwen M., Van Genechten B. Automated Semantic Labelling of 3D Vector Models for Scan-to-BIM. Proceedings of the 4th Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering. 2016. P. 93–100.
3. Maturana D., Scherer S. Voxnet: A 3d convolutional neural network for real-time object recognition. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2015.
4. Babacan K., Chen L., Sohn G. (2017, 11). Semantic Segmentation of Indoor Point Clouds Using Convolutional Neural Network. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(4W4). 2017. P. 101–108.
5. Breinman L. Arcing the edge. University of California, Berkeley. (Technical Report 486). 1997.
6. Breiman L. Random forests. Machine learning. Volume 45(1). 2001. P. 5–32
7. Rashmi K. V., Gilad-Bachrach R. DART: Dropouts meet Multiple Additive Regression Trees. Artificial Intelligence and Statistics. 2015. P. 489–497.
8. Ke G., Meng Q., Finley T., Wang T., Chen W., Ma W., Ye Q., Liu T.Y. Lightgbm: a highly efficient gradient boosting decision tree. Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. P. 3149–3157.
9. O'Rourke J. Finding minimal enclosing boxes. *International Journal of Computer and Information Sciences*. 1985. P. 183–199
10. Microsoft/LightGBM. URL: <https://github.com/Microsoft/LightGBM>
11. XGBoosting eXtreme Gradient Boosting. URL: <https://github.com/dmlc/xgboost>
12. scikit-learn Machine Learning in Python. URL: <https://scikit-learn.org/>
13. Allplan. BIM solutions for the AEC. URL: <https://www.allplan.com/en/>
14. Python/C API Reference Manual. URL: <https://docs.python.org/3.6/c-api>.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ BIM МОДЕЛИ**

Шаповалова С.И., Кунатова А.А.

*При использовании в САЕ-системах BIM модели необходимо, чтобы все её элементы были определены в спецификации как стандартные строительные конструкции. Во многих случаях при проектировании BIM модели используется не только стандартные инструменты построения строительных компонентов, но и инструменты построения геометрических примитивов, таких как:*

параллелепипед, цилиндр, конус и другие. Таким образом, необходимо определить каждый компонент модели, представленный совокупностью геометрических примитивов, как стандартный строительный элемент. Автоматизация приведения описания компонента BIM модели к определению стандартного строительного элемента является актуальной задачей.

В статье проведен анализ существующих решений классификации строительных компонентов, а также базовых подходов к классификации 3D объектов, к которым эти конструкции относятся. Обосновано использование градиентного бустинга, а также средства его реализации - библиотеки LightGBM. Как предмет бустинга выбраны деревья решений. Результатом обучения является последовательность деревьев решений. Выделены четыре класса: стена, колонна, балка, перекрытие. Выделены три признака для классификации объектов: высота, ширина, длина. Габаритные характеристики определяются по ориентированному ограничивающему прямоугольнику.

Разработана программная система с двумя режимами функционирования: обучение и непосредственно распознавание компонентов BIM модели с заполнением полей её спецификации. Для каждого режима функционирования реализован отдельный плагин для CAD-системы Allplan.

Для обучения подготовлено обучающую выборку, которая сформирована на основе 10 BIM моделей различного назначения. В статье приведены значения параметров обучения, с которыми удалось достичь корректного распознавания: количество итераций бустинга, количество итераций для раннего завершения, максимальное количество замыкающих узлов каждого дерева, метрика качества модели.

Результаты апробации 50 BIM моделей доказали эффективность классификации, поскольку корректное распознавание составляет 98,5%.

Ключевые слова: классификация 3D тел, BIM модель, градиентный бустинг, пластинчато-стержневая модель, машинное обучение.

## **CLASSIFICATION OF BASIC THREE-DIMENSIONAL BUILDING ELEMENTS IN BIM MODEL**

Shapovalova S., Kunatova O.

*Using the BIM models in CAE systems, it is necessary that all of its elements have been defined in the specification as standard building*

*constructions. In many cases, when designing a BIM model, not only standard construction tools for building components are used, but also tools for constructing geometric primitives, such as: a parallelepiped, a cylinder, a cone, and others. Thus, it is necessary to identify each component of the model, which is represented by a set of geometric primitives, as a standard building element. The automation of describing the component of the BIM model to the definition of a standard building element is an urgent task.*

*The article analyzes the existing solutions on the classification of construction components and basic approaches to classification of 3D objects to which these constructions are related. The use of gradient boosting and its realization (LightGBM library) is grounded. As a boosting subject selected decision trees.*

*The result of learning is the sequence of decision trees. Identified four classes: walls, columns, beams, slabs. Three features for object classification: height, width, length. Overall dimensions are determined by the axis-aligned bounding box.*

*Developed software system works in two modes of operation: training and recognition of components directly from the BIM model with filling of the fields of its specification. According to each purpose, a separate plug-in for the Allplan CAD system is implemented.*

*For training prepared dataset, which is formed based on ten BIM models for various purposes. The article presents the value of the learning parameters that have been able to achieve the correct recognition: the number of boosting iterations, the number of iterations for early stopping, the maximum number of leaves in one tree, the metric of the model.*

*The results of the testing on 50 BIM models proved the effectiveness of the classification, since the correct recognition is 98.5%.*

*Keywords: classification of 3D shapes, BIM model, gradient boosting, plate-beam model, machine learning.*

УДК 514.18:658.512.2

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СФЕРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ДИЗАЙНУ ЗА ЕЛЕМЕНТАМИ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ЛІНІЇ ОБРИСУ**

Янковська Л.Є., к.т.н.

*Дніпровський національний університет  
Імені Олеся Гончара (Україна)*

*В роботі представлено приклад моделювання сферичних об'єктів за елементами перспективної лінії обрису з використанням двох точок зору. Відомо, що контур, обрис є суттєвими характеристиками об'єкта та джерелами інформації про нього у візуальному сприйнятті, академічному мистецтві, дизайні. Отже дані характеристики бажано враховувати при розробці комп'ютерних систем тривимірного моделювання. Включення лінії обрису до складу визначника формованої поверхні дозволяє дизайнеру безпосередньо на комп'ютерному перспективному зображенні створювати об'єкт таким, яким він хоче бачити його і саму просторову сцену з даної точки зору в дійсності. Аналіз способів формоутворення сферичних поверхонь в відомих системах комп'ютерного тривимірного моделювання виявив відсутність в них можливостей формоутворення сферичних поверхонь на основі перспективної лінії обрису або елементів, що її визначають. Розроблено основні конструктивні способи комп'ютерного графічного просторового формоутворення сфери завданням на перспективному зображенні елементів її лінії обрису, залежно від типу проектної ситуації. Методика графічного просторового формоутворення сферичних поверхонь із декількох точок зору складається з двох етапів: на першому визначається просторове положення центру сфери, на другому – одним із способів визначається її радіус. Запропонована комп'ютерна технологія реалізує можливість проектування сферичних об'єктів та сукупності їх відсіків на основі елементів перспективної лінії обрису. Перспективи подальших досліджень полягають в розробці алгоритмів проектування поверхонь обертання на основі перспективних ліній обрису.*

*Ключові слова: тривимірне комп'ютерне проектування, сферичні поверхні, перспектива, контур, обрис, зорове сприйняття, геометричне моделювання.*

**Постановка проблеми.** Проблематика, що визначила напрямок дослідження – недостатня відповідність сучасних систем комп'ютерного проектування особливостям перцептивної системи людини та сучасним вимогам дизайну. Відомо, що контур, обрис є суттєвими характеристиками об'єкта та джерелами інформації про нього у візуальному сприйнятті, академічному мистецтві, дизайні. Отже дані характеристики бажано враховувати при розробці комп'ютерних систем тривимірного моделювання.

Аналіз методів і способів формоутворення сферичних поверхонь в найбільш відомих системах комп'ютерного тривимірного моделювання виявив відсутність в даних системах можливостей формоутворення сферичних поверхонь на основі перспективної лінії обрису або елементів, що її визначають.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Підвищення реалістичності комп'ютерних зображень – одне із ключових завдань комп'ютерної графіки. Роботи з цього питання ведуться в таких напрямках: удосконаленню методів рендерінга, другим напрямом є удосконалення геометричного апарату побудови просторових сцен. Пошук можливостей використання перспективних зображень як інструменту для графічного синтезу тривимірних об'єктів визначив напрямок наукових досліджень професора Сазонова К.О. Серед запропонованих ним підходів можна виділити методику комп'ютерного моделювання об'єктів на перспективних зображеннях за лініями обрису.

**Формулювання цілей статті.** Розробити теоретичні основи моделювання сферичних об'єктів дизайну та архітектури на основі перспективної лінії обрису. Показати можливості технології, що пропонується на прикладах засобами комп'ютерної графіки. Предметом дослідження є способи та алгоритми комп'ютерного формоутворення сферичних об'єктів дизайну та архітектури з використанням перспективної лінії обрису.

**Основна частина.** Включення лінії обрису до складу визначника формованої поверхні дозволяє дизайнерові безпосередньо на комп'ютерному перспективному зображенні створювати об'єкт таким, яким він хоче бачити його і саму просторову сцену з даної точки зору в дійсності. Розроблено основні конструктивні способи комп'ютерного графічного просторового формоутворення сфери завданням на перспективному зображенні елементів її лінії обрису, залежно від типу проектної ситуації.

У процесі проектування доводиться стикатися з різноманітністю візуально значущих завдань, вирішення яких має велике значення у формуванні естетичних якостей об'єктів середовищного дизайну та архітектури, а критеріями як синтезу, так і оцінки виступають



категорії, якості та засоби композиції. До кожного способу пропонується можлива формалізована схема типів завдань, вирішення яких даний спосіб забезпечує.

Методика графічного просторового формоутворення сферичних поверхонь із декількох точок зору складається з двох етапів: на першому визначається просторове положення центру сфери, на другому – одним із способів визначається її радіус. Геометричні алгоритми та математичний апарат наведені в роботах [1, 2].

На рис. 1(а-к) представлені фото двох ракурсів окремої просторової сцени з розміщеною в ній групою сферичних світильників. У випадку, якщо об'єкти сприймаються не кращим чином з різних точок зору, користувач редагує їх параметри (форму, положення). На кадрах *а-к* показано, як за допомогою запропонованої технології уникнути подібних композиційних помилок.

Безпосередньо на перспективному зображенні користувач на проєкціях кріплень світильників задає бажані положення центрів майбутніх сфер, розглядаючи композицію з двох точок зору. На наступному етапі вказуються точки, через які проходять контурні лінії проєкцій сфер одним з розроблених способів.

Аналізуючи, як будуть проєктовані об'єкти сприйматися з різних точок зору, користувач одразу редагує їх позиціонуванням нових точок, що будуть інцидентними перспективним лініям обрисів нових сфер, поки не отримає бажаного результату (рис. 2), використовуючи в якості критеріїв арсенал композиційних засобів виразності. Слід зазначити, що в наведеному прикладі не визначалося просторове положення центрів сфер, оскільки в даному випадку вони інцидентні кріпильним елементам, положення яких задане проектними умовами. Користувач використовує тільки опцію «вище – нижче», регулюючи таким чином довжину кріплення.

**Висновки.** Запропонована комп'ютерна технологія реалізує можливість формоутворення сферичних об'єктів та сукупності їх відсіків на основі елементів перспективної лінії обрису. Перспективи подальших досліджень полягають в розробці алгоритмів проектування поверхонь обертання на основі перспективних ліній обрису.



а



б



в

Рис. 1. Моделювання сферичних світильників з двох точок зору



Г



Д



е

Рис. 1. Моделювання сферичних світильників з двох точок зору



Ж



З



К

Рис. 1. Моделювання сферичних світильників з двох точок зору



а



б

Рис. 2. Фінальний рендер

### *Література*

1. Янковская Л.Е. Алгоритмы формообразования сферических поверхностей объектов дизайна на перспективных изображениях *Наукові нотатки*. Луцьк, 2008. Вип. 22, Ч. 1. С. 385-391.
2. Янковская Л.Е. Моделирование сферических поверхностей объектов дизайна с использованием нескольких точек зрения *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. К.: КНУБА, 2008. Вип. 80. С. 189–194.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДИЗАЙНА ПО ЭЛЕМЕНТАМ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЛИНИИ ОЧЕРТАНИЯ

Янковская Л.Е.

*В работе представлен пример моделирования сферических объектов по элементам перспективной линии очертания с использованием двух точек зрения. Известно, что контур, очертание являются важными характеристиками объекта и источниками информации о нем в визуальном восприятии, искусстве, дизайне. Данные характеристики желательно учитывать при разработке компьютерных систем трехмерного моделирования. Включение линии очертания в состав определителя формируемой поверхности позволяет дизайнеру непосредственно на компьютерном перспективном изображении создавать объект таким, каким он хочет видеть его и саму пространственную сцену из данной точки зрения в действительности. Анализ способов формирования сферических поверхностей в известных системах компьютерного трехмерного моделирования показал отсутствие в них возможностей моделирования на основе перспективной линии очертания или элементов, ее определяющих. Разработаны основные способы компьютерного графического моделирования сферы заданием на перспективном изображении элементов ее линии очертания в зависимости от типа проектной ситуации. Методика графического пространственного моделирования сферических поверхностей из двух точек зрения состоит из таких этапов: на первом определяется пространственное положение центра сферы, на втором - одним из способов определяется ее радиус. Предложенная технология реализует возможность проектирования сферических объектов и совокупности их отсеков на основе элементов перспективной линии очертания. Перспективы дальнейших исследований заключаются в разработке алгоритмов проектирования поверхностей вращения на основе перспективных линий очертания.*

*Ключевые слова: трехмерное компьютерное проектирование, сферические поверхности, перспектива, контур, очертание, зрительное восприятие, геометрическое моделирование.*

## COMPUTER GRAPHIC FORM SHAPING OF SPHERICAL OBJECTS IN DESIGN BASED ON THE PERSPECTIVE CONTOUR LINE

Yankovskaya L.

*The paper addresses a development of new methods for the computer graphic shape forming of spherical objects in design and architecture based on the perspective contour line. It is shown that contour and silhouette are essential characteristics of an object providing information about it in visual perception, fine art, geometry and design. It is noted that aforementioned characteristics should be considered in designing software for 3D modeling. Including perspective contour line in the determinant of the shape being formed allows a user to model objects and the spatial scene itself in such a way that yields a desired appearance of the objects from the specified location of the viewer. This proposition is a basis for the described method. Shape forming methods for a sphere applied in various software packages are evaluated. Their analysis reveals that none of them allows a modeling of spherical objects derived from their perspective contour lines. It is further shown that spherical objects and their segments are often utilized as a shape-forming basis in the architecture and design. New methods for the graphic shape forming of spherical objects derived from their contour lines on perspective images are proposed. Formalism for specifying initial conditions of the project is developed. These initial conditions affect a spatial orientation of the perspective contour line of a sphere. Major approaches for the shape forming of the sphere utilizing elements of its perspective contour line are developed. Such elements may include points, incidental contour lines and their tangential lines as well as their combination. A new method for the spherical surface modeling based on two or more viewpoints is developed. Several routines and algorithms are implemented for possible examples in design where the proposed technique can be used in the modeling of spherical objects.*

*Key words: 3D computer design, spherical surface, perspective, contour, contour line, visual perception, geometric modeling.*

УДК 514.8:631.31

## **ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОНИ АКТИВНОЇ ДІЇ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ**

Яблонський П.М., к.т.н. <sup>\*</sup>,

Ванін В.В., д.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*Дану публікацію присвячено геометричному моделюванню зони активної дії (активної зони) гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь шляхом використання евольвентно-еволютних моделей.*

*Традиційно конструювання робочих органів ґрунтообробних машин пов'язано з використанням раніше відомих методів, які використовують у машинобудуванні. Такий підхід, як правило, базується на експериментальному підборі, виготовленні великої кількості дослідних зразків та подальшого їх випробування у різних технологічних режимах, що є його суттєвим недоліком. Зокрема, задача визначення зони активної дії гвинтового робочого органу ґрунтообробного знаряддя також, як правило, значною мірою вирішується експериментально.*

*Таким чином, актуальним є пошук нових або адаптація (удосконалення, узагальнення тощо) відомих методів проектування робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь.*

*Зокрема, у даній статті пропонується розглянути на базі існуючих моделей переміщення частинок потоку можливість геометричного моделювання зони активної дії гвинтоподібних ґрунтообробних знарядь. Для спрощення розрахунків моделюємо знаряддя гвинтовим коноїдом, який вважатимемо спрощеною моделлю знаряддя.*

*Крім цього, з'ясовано, що шукана зона активної дії гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь буде обмежена еволютною поверхнею, а існування поверхонь поділу як еволютних поверхонь зумовлене взаємодією частинок ґрунту, що переміщуються, з поверхнею робочого органу. Отримана еволютна поверхня є класичною геометричною моделлю.*

*Також у статті визначено перспективні напрямки проведення подальших наукових досліджень, а саме геометричне моделювання зони активної дії робочих органів ґрунтообробних знарядь з врахуванням таких технологічних факторів, як вага ґрунту, що переміщується, швидкість обертання рушія (робочого органу), кут*

---

<sup>\*</sup> Науковий консультант – д.т.н., проф. Ванін В.В.



атаки тощо.

*Окремий інтерес становить обернена задача геометричного моделювання робочого органу ґрунтообробного знаряддя за наперед визначеною активною зоною.*

*Ключові слова: геометричне моделювання, зона активної дії, евольвента, еволюта, евольвентно-еволютна модель, еволютна поверхня, гвинтовий робочий орган, ґрунтообробні знаряддя, відбивні потоки.*

**Постановка проблеми.** Традиційно конструювання робочих органів ґрунтообробних машин пов'язано з використанням раніше відомих методів, які використовують у машинобудуванні. Такий підхід, як правило, базується на експериментальному підборі, виготовленні великої кількості дослідних зразків та подальшого їх випробування у різних технологічних режимах, що є його суттєвим недоліком. Таким чином, актуальним є пошук нових або адаптація (удосконалення, узагальнення тощо) відомих методів проектування робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Із великої кількості методів проектування лише незначна їх частина базується на графоаналітичних та аналітичних залежностях робочих поверхонь від агротехнічних вимог, які є основою алгоритмів конструювання даних поверхонь в графічному та аналітичному виглядах [1-2].

Враховуючи однозначність функціональних залежностей геометричної форми поверхонь робочих органів ґрунтообробних знарядь від кінематичних чинників та параметрів створюваного у ґрунті напружено-деформованого стану, необхідним є подальший розвиток досліджень, щодо пошуку методів оптимізації конструкційних параметрів робочих органів у відповідності до агротехнологічних вимог [2].

**Формулювання цілей статті.** Ціль даної статті полягає у викладенні методики використання евольвентно-еволютних моделей при геометричному моделюванні активної зони (зони активної дії) гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь.

**Основна частина.** Гаспар Монж запропонував модель технологічного процесу переміщення частинок ґрунту з виїмки на насип як евольвентно-еволютну модель, на основі якої ним була створена теорія конгруенції [3].

Розвиток евольвентно-еволютної моделі Монжа для відбивних потоків різної природи розглянуто в роботах проф. В.В. Ваніна [4]. Поверхня поділу визначається автором для потоків, які відбиваються по нормалях як еволютна, за іншими траєкторіями – як еволютоїдна.

Еволютна поверхня  $\Sigma'$  може бути визначена як обвід сім'ї

еволют, які побудовані у напрямку нормалі поверхні рушія  $\Sigma$  для ліній кривини. Кожній лінії кривини – евольвенті у заданому напрямку евольвентно-еволютної відповідності відповідає просторова гвинтова лінія – еволюта. Кожна з двох сімей ліній кривини поверхні  $\Sigma$  має сім'ю еволют, що в сукупності, у загальному випадку, створює одну порожнину еволютної поверхні  $\Sigma'$  [4].

Відомо, що гвинтові поверхні, чи їх певні геометричні характеристики, досить часто використовуються в сільськогосподарському машинобудуванні. Так гвинтову форму мають робочі поверхні землерийних машин, викопувальні, сепаруючі і транспортуючі органи коренезбиральних машин, поверхні дискових фрезерних та багато інших ґрунтообробних знарядь.

Такі поверхні при своєму переміщенні створюють гвинтову дію на шар ґрунту, яка є найбільш ефективною за словами засновника землеробської механіки акад. В.П. Горячкіна – гвинтова поверхня є найбільш раціональною формою ґрунтообробного знаряддя [5].

Задача визначення зони активної дії гвинтового робочого органу ґрунтообробного знаряддя, як правило, значною мірою вирішується експериментальним шляхом. Розглянемо на базі існуючих моделей переміщення частинок потоку можливість геометричного моделювання зони активної дії гвинтоподібних знарядь.

Така зона буде обмежена еволютною поверхнею. Для спрощення розрахунків моделюємо знаряддя гвинтовим коноїдом, який вважатимемо спрощеною моделлю знаряддя. Проілюструємо утворення еволютної поверхні на прикладі гелікоїда (рис. 1).

Нехай поверхню гелікоїда задано рівняннями:

$$X = u \cdot \cos v, Y = u \cdot \sin v, Z = b \cdot v. \quad (1)$$

Лінії кривини визначаються з рівняння:

$$\begin{vmatrix} dv^2 & -dudv & du^2 \\ E & F & G \\ L & M & N \end{vmatrix} = 0, \quad (2)$$

де  $E, F, G$  – коефіцієнти першої квадратичної форми, а  $L, M, N$  – другої квадратичної форми.

У випадку з гелікоїдом маємо:

$$E = 1, F = 0, G = u^2 + b^2, L = 0, M = -\frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}}, N = 0. \quad (3)$$

На основі (2) та (3) отримуємо:

$$\frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} - dv = 0, \quad \frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} + dv = 0. \quad (4)$$

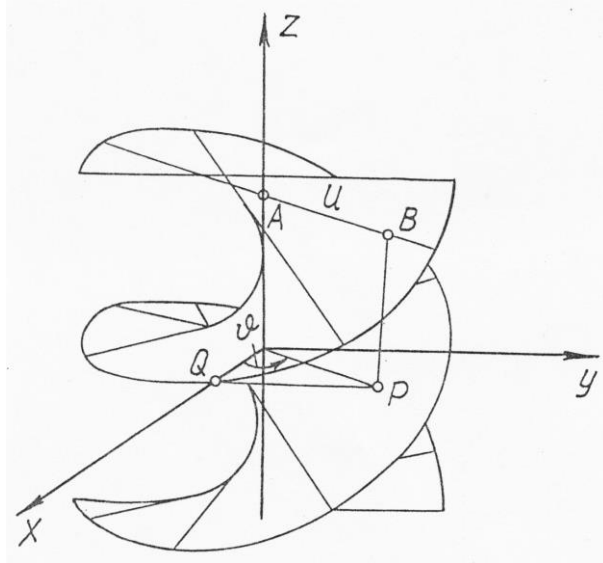


Рис. 1. Утворення еволютної поверхні на прикладі гелікоїда

На основі (2) та (3) отримуємо:

$$\frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} - dv = 0, \quad \frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} + dv = 0. \quad (4)$$

Інтегруючи знаходимо рівняння ліній кривини:

$$\text{Arsh} \frac{u}{b} = \pm(v - v_0), \quad u = \pm b \cdot \text{sh}(v - v_0). \quad (5)$$

Кут напрямів ліній кривини з твірними визначимо з наступного виразу:

$$\cos \varphi = \frac{Edu + Fdv}{\sqrt{Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2}}. \quad (6)$$

Враховуючи (3) і (4) отримаємо  $\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ,  $\varphi = \pm 45^\circ$ , тобто основні напрямки ділять навпіл кути між напрямками твірної і гвинтової лінії.

Основні кривини знайдемо з виразу:

$$\frac{1}{R} = \frac{Ldu + Mdv}{Edu + Fdv}. \quad (7)$$

Підставивши (3) і (4) отримаємо:

$$\frac{1}{R_1} = -\frac{b}{u^2 + b^2}, \quad \frac{1}{R_2} = \frac{b}{u^2 + b^2}. \quad (8)$$

Рівняння порожнин еволютної поверхні мають наступний вигляд:

$$r_1 = r + R_1 m, \quad r_2 = r + R_2 m, \quad (9)$$

де  $r_1$  і  $r_2$  вектори першого і другого центра.

Координати орта нормалі  $m$ :

$$X = \frac{b \sin v}{\sqrt{u^2 + b^2}}, \quad Y = -\frac{b \cos v}{\sqrt{u^2 + b^2}}, \quad Z = \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}}. \quad (10)$$

Враховуючи вище викладене знаходимо рівняння еволютних поверхонь:

$$\begin{aligned} X_1 &= u \cos v - \sqrt{u^2 + b^2} \sin v; & X_2 &= u \cos v + \sqrt{u^2 + b^2} \sin v; \\ Y_1 &= u \sin v + \sqrt{u^2 + b^2} \cos v; & Y_2 &= u \sin v - \sqrt{u^2 + b^2} \cos v; \\ Z_1 &= bv - \sqrt{u^2 + b^2} \frac{u}{b}; & Z_2 &= bv + \sqrt{u^2 + b^2} \frac{u}{b}. \end{aligned} \quad (11)$$

Очевидно, що обидві порожнини еволютної поверхні (рис. 2) – зони активної дії гвинтового робочого органу – накладаються на одну і ту ж поверхню обертання та мають гвинтоподібний характер. Зазначимо, що ці поверхні є фокальними нормальної конгруенції поверхні гелікоїда [4].

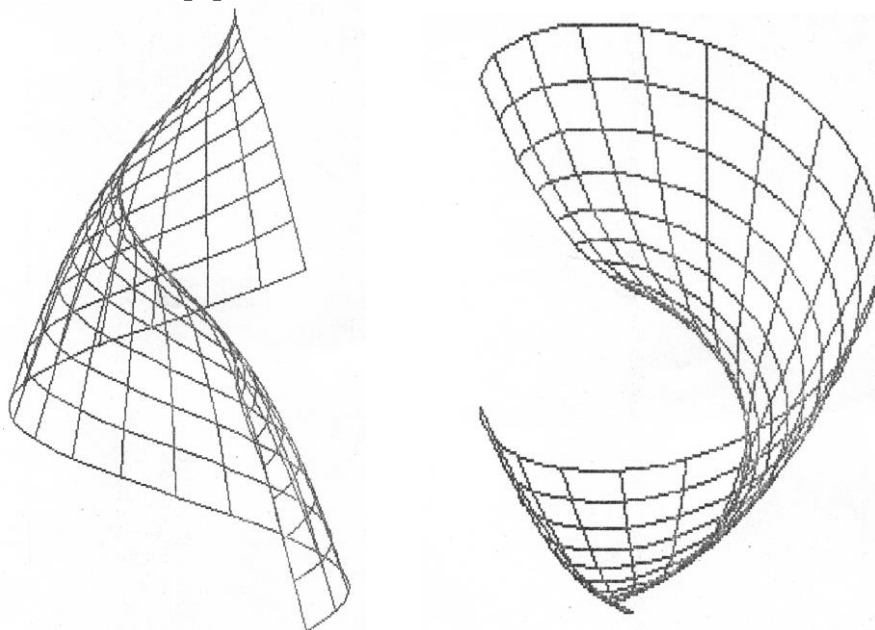


Рис. 2. Порожнини еволютної поверхні – зони активної дії гвинтового робочого органу

Існування поверхонь поділу як еволютних поверхонь  $\Sigma'$  зумовлене взаємодією частинок ґрунту, що переміщуються, з поверхнею. Отримана еволютна поверхня є класичною геометричною моделлю.

**Висновки.** У статті запропоновано вирішення задачі визначення зони активної дії гвинтового робочого органу ґрунтообробного знаряддя шляхом її геометричного моделювання на базі існуючих моделей переміщення частинок потоку. Зокрема, визначено, що така зона буде обмежена еволютною поверхнею.

Перспективним напрямком подальших досліджень є геометричне моделювання зони активної дії робочих органів ґрунтообробних знарядь з врахуванням таких технологічних факторів, як вага ґрунту, що переміщується, швидкість обертання рушія (робочого органу), кут атаки тощо.

Окремий інтерес становить обернена задача геометричного моделювання робочого органу ґрунтообробного знаряддя за наперед визначеною активною зоною.

### *Література*

1. Яблонський П.М., Подкоритов А.М., Юрчук В.П. Використання теорії спряжених поверхонь при конструюванні сільсько-господарських знарядь / П.М. Яблонський, А.М. Подкоритов, В.П. Юрчук // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. Вип. 8. С. 159-164.
2. Кухарець С.М. Обґрунтування процесу роботи та параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу ґрунтообробного знаряддя [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / С.М. Кухарець. – Глеваха, 2004. - 20 с.
3. Monge G. Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais. Paris, 1781.
4. Ванін В.В. Евольвентно-еволютні моделі в упорядкованих потоках [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 / В.В. Ванін. – К., 1996. 39 с.
5. Горячкин В.П. О движении почвы по отвалу: собр. соч. в 3 т. / В.П. Горячкин. М.: Колос, 1965. Т. 2. 1965.

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ВИНТОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ**

Яблонский П.Н., Ванин В.В.

*Данную публикацию посвящено геометрическому моделированию зоны активного действия (активной зоны) винтовых*

*рабочих органов почвообрабатывающих орудий путем использования эвольвентно-эволютных моделей.*

*Традиционно конструирование рабочих органов почвообрабатывающих машин связано с использованием ранее известных методов, используемых в машиностроении. Такой подход, как правило, базируется на экспериментальном подборе, изготовлении большого количества опытных образцов и дальнейшего их испытания в различных технологических режимах, что является его существенным недостатком. В частности, задача определения зоны активного действия винтового рабочего органа почвообрабатывающего орудия также, как правило, в значительной степени решается экспериментально.*

*Таким образом, актуальным является поиск новых или адаптация (усовершенствование, обобщение и т.д.) известных методов проектирования рабочих поверхностей почвообрабатывающих орудий.*

*В частности, в данной статье предлагается рассмотреть на базе существующих моделей перемещения частиц потока возможность геометрического моделирования зоны активного действия винтовых почвообрабатывающих орудий. Для упрощения расчетов моделируем орудие винтовым коноидом, который будем считать упрощенной моделью орудия.*

*Кроме этого, установлено, что искомая зона активного действия винтовых рабочих органов почвообрабатывающих орудий будет ограничена эволютной поверхностью, а существование поверхностей раздела как эволютных поверхностей обусловлено взаимодействием перемещаемых частиц почвы с поверхностью рабочего органа. Полученная эволютная поверхность является классической геометрической моделью.*

*Также в статье определены перспективные направления проведения дальнейших научных исследований, а именно геометрическое моделирование зоны активного действия рабочих органов почвообрабатывающих орудий с учетом таких технологических факторов, как вес перемещаемой почвы, скорость вращения движителя (рабочего органа), угол атаки и тому подобное.*

*Отдельный интерес представляет обратная задача геометрического моделирования рабочего органа почвообрабатывающего орудия по заранее известной активной зоне.*

*Ключевые слова: геометрическое моделирование, зона активного действия, эвольвента, эволюта, эвольвентно-эволютная модель, эволютная поверхность, винтовой рабочий орган, почвообрабатывающие орудия, отраженные потоки.*

## GEOMETRICAL MODELING OF THE ZONE ACTIVE ACTION OF SCREW WORKING AUTHORITIES OF SOIL-PROCESSING TOOLS

Yablonskyi P., Vanin V.

*The present paper describes the geometric modeling of the active zone (core) of tillage tools screw working parts using involute-evolute models.*

*As a rule, the design of working parts of tillage machines is associated with the use of previously known mechanical engineering methods. This approach is based on experimental selection, the manufacture of a large number of prototypes and their further testing in various technological regimes. This is a significant disadvantage. In particular, the task of determining the zone of active action of a screw working part of a tillage implement is solved experimentally.*

*Thus, the search for new or adaptation (improvement, synthesis, etc.) of the known methods of designing working surfaces of tillage implements is relevant.*

*In particular, this article discusses the possibility of geometrical modeling of the screw tillage implements active action zone based on existing models of the motion of flow particles. To simplify the calculation, a tool with a screw conoid will be calculated by a simplified model of the tool.*

*It was found that the desired area of active action of screw working parts of tillage tools is limited to the evolving surface and the presence of the interface as evolutionary surfaces due to the interaction of transported soil particles with the surface of the working body. The evolutionary surface that results is a classic geometric model.*

*The article identifies promising areas for further scientific research, namely, geometric modeling of the zone of active action of working parts of tillage tools, taking into account such technological factors as the mass of soil being moved, the speed of rotation of the propeller. (working part), angle of attack and etc.*

*Of particular interest is the inverse problem of geometric modeling of the working body of a tillage implement on a previously known active zone.*

*Key words: geometric modeling, active zone, involute, evolute, evolvent-evolutionary model, involute surface, screw working detail, tillage tools, reflected flows.*

## ЗМІСТ

№ п.п	ПБ, назва статті	Стр.
1.	<i>Аушева Н.М., Кремець Я.С., Несвідоміна О.В.</i> Аналіз спотворень при нанесенні растрових зображень на криволінійні сітки.....	3
2.	<i>Badayev Yu.I., Gannoshina I.M., Lagodina L.P.</i> Interpolation and approximation by rational curves of Bezier and NURBS-curves.....	10
3.	<i>Баранецька О.Р., Шевчук А.О., Свідрак І.Г.</i> Геометричні аспекти технології обробки діамантів.....	21
4.	<i>Баранюк О.В., Рачинський А.Ю.</i> CFD-моделювання характеристик міцності пластинчастого теплообмінного апарату з прямою схемою руху теплоносіїв.....	28
5.	<i>Білицька Н.В., Гетьман О.Г.</i> Ітеративний алгоритм визначення нормалі до кривої .....	36
6.	<i>Ванін В.В., Залевська О.В., Чередніченко В.О.</i> Структура тривимірного клітинного автомату для побудови зображення динамічних систем.....	43
7.	<i>Верещага В.М., Лисенко К.Ю., Найдиш А.В., Балюба І.Г.</i> Параметризація багатовимірних геометричних об'єктів методами точкового числення Балюби-Найдиша.....	51
8.	<i>Верещага В.М., Павленко О.М., Еремєєв В.С.</i> Обливості інтеграції платформи Open Conference Systems у наукову діяльність закладів вищої освіти.....	58
9.	<i>Гумен О.М., Лясковська С.Є., Мартин Є.В.</i> Гіперповерхні траєкторій фазових $n$ -просторів.....	66
10.	<i>Дашкевич А.О., Шоман О.В.</i> Зіставлення зображень на основі пошуку найближчих сусідів в просторі параметрів... ..	73
11.	<i>Залевський С.В., Пелеванюк І.Д.</i> До питання застосування способів дистанційного навчання для проведення контролю графічних робіт студентів.....	80
12.	<i>Запольський Л.Л., Шевченко С.М.</i> Моделювання розкриття у невагомості каркасу параболічної антени з наперед заданою фокусною відстанню.....	86



13. *Ковальов Ю.М., Шмельова Т.Ф.* Системно-психологічне обґрунтування фокус-груп у дизайні..... 93
14. *Ковбашин В.І., Пік А.І., Скиба О.П.* Вивчення розділу “Векторна графіка засобами пакету Corel Draw” у курсі дистанційного навчання „Комп’ютерна графіка”..... 103
15. *Кресан Т.А., Пилипака С.Ф., Несвідомін В.М., Бабка В.М., Федорина Т.П.* Просторові криві, у яких рухомим аксоїдом супровідного тригранника є плоский пучок..... 110
16. *Ладогубець Т.С., Литвиненко П.Л., Сегол Р.И., Финогенов А.Д.* Особенности автоматического определения среднего балла аттестата абитуриента при обработке изображений аттестатов..... 118
17. *Літвінов А.І., Пахаренко В.О., Лебедев В.О., Спирінцев Д.В.* Геометричне моделювання торсових поверхонь з ребром звороту апаратом БН–числення..... 128
18. *Ницын А.Ю.* Разгадка тайны гравюры М. К. Эшера «Всадники»..... 135
19. *Подригало Н.М.* Алгоритм побудови проєкцій поверхонь та лінії їхнього перетину у тривимірному просторі комп’ютерного пакету AUTODESK INVENTOR..... 144
20. *Сидоренко Ю.В., Шалденко О.В.* Вагові політочкові перетворення при моделюванні можливих результатів пластичної хірургії..... 151
21. *Скочко В. І.* Алгоритм прискорення моделювання регулярних дискретних каркасів кривих та поверхонь, заданих у параметричній формі..... 161
22. *Холковський Ю.Р.* Комплексний підхід щодо геометричного моделювання локальних забруднень прилеглих територій транспортних шляхів..... 173
23. *Шаповалова С.І., Кунатова О.А.* Класифікація основних тривимірних будівельних елементів ВІМ моделі..... 180
24. *Янковська Л.Є.* Комп’ютерне моделювання сферичних об’єктів дизайну за елементами перспективної лінії обрису..... 191
25. *Яблонський П.М., Ванін В.В.* Геометричне моделювання зони активної дії гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь..... 200

Наукове фахове видання

## СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Збірник наукових праць

Випуск 15

Матеріали подано мовою оригіналу.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: Серія КВ № 21030-10830Р від 29.09.2014 р.

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України № 241 від 09.03.2016)

Підписано до друку 20.05.2019 р. Формат 60x84 1/16  
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Суг.  
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 12.2.  
Наклад 100 прим. Зам. № 2738

Видавець

Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького

Адреса: 72312, м. Мелітополь, вул. Гетьманська, 20  
Тел. (0619) 44 04 64

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів  
видавничої продукції від 16.05.2012 р. серія ДК № 4324

Надруковано ФО-П Однорог Т.В.

72313, м. Мелітополь, вул. Героїв Сталінграду, 3а  
Тел. (067) 61 20 700

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів  
видавничої продукції від 29.01.2013 р. серія ДК № 4477