

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 12

Наукове фахове видання

Мелітополь – 2018 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 № 14 від 29 травня 2018 р.

Редакційна колегія: Найдиш А.В. (гол. редактор),
Верещага В.М. (заступник гол. редактора), Спірінцев 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., Михайленко В.Є., Пилипака С.Ф.,
Підгорний О.Л., Плоский В.О., Подкоритов А.М., Сазонов К.О.,
Сергейчук О.В., Тулученко Г.Я.

С 91 Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018.– Вип. 12. – 188 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, 2018.

ISSN 2313-125X

УДК 514.18

КОМПОЗИЦІЙНИЙ МЕТОД ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У РОЗВ'ЯЗАННІ БАГАТОФАКТОРНИХ ЗАДАЧ

Адоньєв Є.О., к.т.н.,

Запорізький національний університет

Найдиш А.В., д.т.н.,

Мелітопольська школа прикладної геометрії

Мелітопольський державний педагогічний університет

імені Богдана Хмельницького (Україна)

Показано переваги композиційного методу геометричного моделювання перед традиційними методами геометричного моделювання, що існують у прикладній геометрії. Вказується на те, що переваги композиційного методу геометричного моделювання виникають через використання методів БН-числення.

Ключові слова: композиційний метод геометричного моделювання, точкове числення Балюби-Найдиша (Б-Н числення), методи БН-числення.

Постановка проблеми. Прикладна геометрія, що застосовує методи нарисної, аналітичної, диференціальної, проєктивної, багатовимірної геометрії, має на меті розв'язання широкого кола практичних задач, забезпечуючи, при цьому, наочність та оригінальність розв'язків. Однак, сучасні вимоги, щодо розв'язання багатofакторних задач, потребують нових методів геометричного моделювання. Одним із таких нових методів, що розробляються авторами, є композиційний метод геометричного моделювання (КМГМ), у якому не застосовуються системи алгебраїчних рівнянь для зв'язування параметрів геометричної фігури. КМГМ забезпечує зв'язуваність параметрів через властивості геометричних фігур, які визначаються кількістю вихідних точок, що цю фігуру утворюють. Розвиток цього наукового напрямку дослідження є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Базуючись на інструментарії точкового БН-числення [1, 2], була розроблена нова форма подання поверхонь у точковій формі - Б-поверхні (Балюби поверхні) [3]. В ході подальших досліджень способів формування та властивостей Б-ліній та Б-поверхонь [4,5], сформульовані основні принципи методу композиційного геометричного моделювання [6].

Досліджені особливості та переваги композиційного методу свідчать про доцільність його використання для моделювання багатофакторних складних систем [7]. Це свідчить про необхідність його подальшого розвитку та практичного застосування.

Формулювання цілей статті. Викласти, виходячи з досвіду досліджень, найбільш узагальнений погляд на композиційний метод геометричного моделювання у порівнянні з традиційними методами геометричного моделювання.

Основна частина. Якщо у каркасно-параметричному методі моделювання для виконання вихідних умов, необхідно проводити зв'язування і параметрів форми, і параметрів положення через розв'язання алгебраїчних систем, з метою створення різного роду комбінацій з параметрів, то у композиційному методі геометричного моделювання таке алгебраїчне зв'язування проводити не потрібно, тому що параметри форми геометричної фігури закладено у властивостях цієї фігури, а параметри положення геометричної фігури відносно вихідної системи координат, взагалі виключаються через застосування методів БН-числення.

Зауважимо, що властивості геометричної фігури визначаються кількістю точок, які її створюють, і тому зміна композиції усіх точок для обраної геометричної фігури не тягне за собою порушення її властивостей. І навпаки, у каркасно-параметричному методі, оскільки точки геометричної фігури, її параметри форми і положення відносно вихідної системи координат зв'язані у одне рівняння, зміна положення будь-якої точки геометричної фігури порушує комбінацію у цьому рівнянні і тому його необхідно змінювати. Такі зміни у рівнянні необхідно виконувати кожного разу зі зміною положення, навіть, однієї точки геометричної фігури.

Вказана вище відмінність каркасно-параметричного методу та композиційного методу геометричного моделювання викликала необхідність введення терміну “Методи БН-числення”.

Якщо переміщення усіх, або навіть однієї із точок геометричної фігури назвати якісною її зміною, то у КМГМ, за результатами якісних змін вихідних даних, параметрична БН-матриця геометричної моделі не змінюється. Однак, кількісна зміна вихідних даних призводить до іншого вигляду геометричної фігури, яка потребує, як наслідок, іншої моделі у точковій формі. Це відбувається через те, що іншій геометричній фігурі притаманні інші властивості, що пов'язують параметри її форми, тобто, встановлюються інші взаємозв'язки між елементами геометричної фігури.

Можливість якісних змін вихідних даних, за сталої їхньої кількості, тобто, зміни композиції вихідних даних, і дала назву методу “Композиційний”.

Складністю у КМГМ є виявлення властивостей геометричної фігури, яку обрано в якості вихідної для моделювання, та встановлення, у вигляді точкових форм, взаємозв'язків між елементами цієї геометричної фігури.

Інколи для розв'язання задачі достатньо вже відомих властивостей обраної, вихідної для розв'язання задачі, геометричної схеми, але, у більшості випадків, треба встановлювати нові взаємозв'язки між елементами та нові властивості вихідної геометричної фігури, застосовуючи методи БН-числення.

Однак, ці складнощі не знижують переваг застосування КМГМ.

Чи не найголовнішою перевагою КМГМ перед каркасно-параметричним методом є відсутність у КМГМ алгебраїчної складової для зв'язування вихідних параметрів щодо створення геометричної моделі.

Як відомо, алгебраїчна складова моделі, висуває обмеження щодо кількості вихідних точок, створює складні умови керування, через зміни параметрів, формою одержаної геометричної фігури-моделі.

І навпаки, у КМГМ, через відсутність алгебраїчної складової щодо зв'язування параметрів, кількість точок вихідної геометричної фігури теоретично не обмежується, складність застосування великої кількості вихідних точок виникає у практичній реалізації.

Якщо у каркасно-параметричному методі аналіз та методи управління формою відбуваються за рахунок зміни параметрів, то у КМГМ, через відсутність алгебраїчної складової щодо зв'язування параметрів вихідної геометричної фігури та завдяки застосування методів БН-числення, управління формою відбувається шляхом пересування вихідних точок геометричної фігури.

У результаті наявності цих відмінностей, каркасно-параметричний метод завжди супроводжує осциляція, позбавляються якої шляхом сегментування або зниження степеня інтерполяційного рівняння; і, навпаки, у КМГМ кожна поточна точка формується як сума добутків кожної з вихідних точок геометричної фігури на частину її участі у формуванні. Осциляції у КМГМ можуть виникнути тільки через некоректність вихідних даних. Такі осциляції усуваються шляхом локального корегування вихідних даних з використанням методів ВДГМ.

Через застосування простого відношення трьох точок просторовий розв'язок проектується на осі відповідних параметрів зі збереженням визначених БН-координат. Просторове розв'язання задачі для сегменту Б-поверхні в цілому подається параметричною точковою формою, для сегменту Б-поверхні в цілому, не поділяючи його на окремі чарунки. Модель геометричної фігури зі сталою кількістю

вихідних точок є сталою через те, що побудована на властивостях геометричної фігури і взаємозв'язках між точками, що її утворюють.

Підсумовуючи наведене вище, можна сформулювати кардинальні відмінності композиційного методу геометричного моделювання від існуючих традиційних методів. Порівняння композиційного методу геометричного моделювання і каркасно-параметричного методу моделювання наведено у таблиці 1.

Отже, у каркасно-параметричному методі розрізняють параметри форми та параметри положення. Однак, побудова моделі виконується без їхнього роз'єднання. Тобто геометрична модель з'єднує у єдине ціле і параметри форми, і параметри положення, і вузлові точки вихідної геометричної фігури. Зміна хоча б одного параметру або однієї точки потребує перебудови моделі або її налаштування у відповідності до змін.

І навпаки. Композиційний метод геометричного моделювання повністю виключає параметри положення геометричної фігури відносно вихідної системи координат.

Параметри форми та точки роз'єднуються та упорядковуються у окремі параметричні та точкові БН-матриці.

Параметрична БН-матриця є моделлю геометричної фігури, яка є сталою і не змінюється зі зміною точок геометричної фігури. Цей факт набагато спрощує проведення комп'ютерних експериментів з метою підвищення адекватності композиційної геометричної моделі.

Таблиця 1

Порівняння методів
за однакової кількості точок вихідних геометричних фігур

Каркасно-параметричний метод геометричного моделювання	Композиційний метод геометричного моделювання
Метод задання поверхні у тривимірному просторі, який полягає у зв'язуванні параметрів множини ліній, що заповнюють простір	Метод, у якому кількість вузлових точок вихідної геометричної фігури визначає параметричну геометричну модель, що враховує тільки параметри форми, і, яка не змінюється за якісної зміни вихідних точок
1. Визначають параметричне число P_{II} = параметри форми + параметри положення	1. Параметричне число – тільки параметри форми геометричної фігури
2. $M\{A_i; p_i; \dots p_{n-1}\}$ – модель, включає вихідні	2. $A_{II} = ((a_{ij}))$, $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$ - модель, що сформована із

точки, $(n-1)$ параметри, зв'язування відбувається алгебраїчним шляхом	параметрів форми, і кожний елемент a_{ij} є простим відношенням трьох точок прямої, тобто $\sum_{i,j=1}^{m,n} a_{ij} = 1$
3. $\Phi\{M + f(p_n)\}$ – каркас поверхні	3. $M_B = A_{II} \cdot A_T$ – точкова модель каркасу Б-поверхні
4. Якісна зміна вихідних умов – змінює модель M і потребує перерахунку каркасу поверхні	4. Якісна зміна вихідних точок геометричної фігури не змінює модель A_{II} – параметричну БН-матрицю
За тлумаченням Михайленка В.Є. та Найдиша В.М.	За тлумаченням Верещаги В.М., Найдиша А.В.

Таким чином, композиційна геометрична модель докорінно відрізняється від геометричних моделей, побудованих традиційними методами прикладної геометрії.

Висновки. Можливість варіювання вузловими точками вихідної геометричної фігури, не змінюючи, при цьому, її параметричну модель, надає значні переваги у проведенні комп'ютерних експериментів з використанням композиційних геометричних моделей. Можливість включення значної кількості вихідних точок для БН-інтерполяції, дозволяє застосовувати композиційні геометричні моделі для розв'язання багатofакторних задач.

Література

1. Балюба И.Г. Конструктивная геометрия многообразий на основе точечного исчисления: автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук. / И.Г. Балюба. – К.: КГТУСА, 1995. – 36 с.
2. Балюба И.Г. Точковое числення: навчальний посібник [під ред. Верещаги В.М.] / И.Г. Балюба, В.М. Найдиш. – Мелітополь: вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. – 234 с.
3. Адоньев Є.О. Визначення та аналіз параболічної поверхні Балюби (БПП) / Є.О. Адоньев, В.О. Верещага // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (108). – Дніпро, 2017. – С. 3-11.
4. Верещага В.М. Композиційний метод утворення Б-поверхонь / В.М. Верещага, Є.О. Адоньев // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – Луцьк.: Луцький національний технічний університет. – 2017. – №26. – С. 36-41.

5. Адоньев Є.О. Особливості Б-ліній, Б-поверхонь, визначення, переваги та можливості застосування у композиційному методі геометричного моделювання / Є.О. Адоньев, В.М. Верещага // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип.3(62). – Т.2. – С. 249-255.
6. Адоньев Є.О. Композиційний метод геометричного моделювання: суть, особливості та перспективи застосування / Є.О. Адоньев // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ імені Богдана Хмельницького. – Мелітополь, 2017. – Вип. 8. – С. 3-14.
7. Адоньев Є.О. Алгоритм формування моделей багатофакторних процесів композиційного методу / Є.О. Адоньев, В.М. Верещага, А.В. Найдиш // Збірник доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених». – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – Випуск 6. – С. 12 – 18.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МЕТОД ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ МНОГОФАКТОРНЫХ ЗАДАЧ

Адоньев Е.А., Найдыш А.В.

Показаны преимущества композиционного метода геометрического моделирования перед традиционными методами геометрического моделирования, существующими в прикладной геометрии. Указывается на то, что преимущества композиционного метода геометрического моделирования возникают благодаря использованию методов БН-исчисления.

Ключевые слова: композиционный метод геометрического моделирования, точечное исчисление Балюбы-Найдыша (БН-исчисление), методы БН-исчисления.

COMPOSITE METHOD OF GEOMETRICAL MODELING IN THE SOLUTION OF MULTIFACTORY PROBLEMS

Adoniev Y., Naidysh A.

The advantages of composite method of geometric modeling over the traditional methods of geometric modeling existing in applied geometry are shown. It is pointed out that the advantages of compositional method of geometric modeling arise through the use of methods of BN-calculus.

Key words: composite method of geometric modeling, methods of BN-calculus.

УДК 514.74

РАЦІОНАЛЬНА КРИВА БЕЗЬЄ 7-ГО СТЕПЕНЯ ЗА ЗАДАНИМИ ДВОМА ТОЧКАМИ І КРИВИНАМИ ТА СКРУТОМ В НИХ

Бадаєв Ю.І., д.т.н.,

Ганношина І.М.

Державний університет інфраструктури та технологій
(м. Київ, Україна)

Розглянуто побудову просторової раціональної кривої Безьє 7-го степеня за заданими двома точками і кривинами та скрутом в них.

Ключові слова: кривина, скрут, просторова раціональна крива Безьє.

Постановка проблеми. Проблема полягає в тому, що при проектуванні обводів машин і агрегатів, які працюють у рухомому середовищі, виникає необхідність задання конкретних значень кривини уздовж обводу, а також значень скруту для обводів шляхопроводів, які призначені для переміщення рідини або сипучих матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючої літератури дає змогу вважати, що ця задача зовсім або недостатньо досліджена. Ця задача частково розглянута в роботах [3,4], але тільки для кривих Безьє 5-го степеня, що звужує її застосування.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналітичний вивід рівняння просторової кривої за заданими точками і кривинами та скрутом в них, що дає змогу проектувати просторову криву за заданими графіками кривини та скруту.

Основна частина. Раціональна крива Безьє 7-го степеня задається формулою [2]:

$$r(t) = \frac{\sum_{i=0}^7 B_i^7 r_i w_i t^i (1-t)^{(n-i)}}{\sum_{i=0}^7 B_i^7 w_i t^i (1-t)^{(n-i)}}, \quad (1)$$

де r_i - вузлові точки;

w_i - вага вузлової точки;

t - параметр $0 < t < 1.0$;

$B_i^7 = \frac{7!}{i!(n-i)!}$ - біноміальний коефіцієнт Ньютона.

Перебудуємо (1) у вигляді:

$$r(t) = \frac{\sum_{i=0}^7 A_i t^i}{\sum_{i=0}^7 W_i t^i}, \quad (2)$$

де

$$A_0 = r_0 w_0,$$

$$A_1 = 7(r_1 w_1 - r_0 w_0),$$

$$A_2 = 21(r_0 w_0 - 2r_1 w_1 + r_2 w_2),$$

$$A_3 = 35(-r_0 w_0 + 3r_1 w_1 - 3r_2 w_2 + r_3 w_3),$$

$$A_4 = 35(r_0 w_0 - 4r_1 w_1 + 6r_2 w_2 - 4r_3 w_3 + r_4 w_4),$$

$$A_5 = 21(-r_0 w_0 + 5r_1 w_1 - 10r_2 w_2 + 10r_3 w_3 - 5r_4 w_4 + r_5 w_5),$$

$$A_6 = 7(r_0 w_0 - 6r_1 w_1 - 15r_2 w_2 - 20r_3 w_3 + 15r_4 w_4 - 6r_5 w_5 + r_6 w_6),$$

$$A_7 = (-r_0 w_0 + 7r_1 w_1 - 21r_2 w_2 + 35r_3 w_3 - 35r_4 w_4 + 21r_5 w_5 - 7r_6 w_6 + r_7 w_7).$$

$$W_0 = w_0,$$

$$W_1 = 7(w_1 - w_0),$$

$$W_2 = 21(w_0 - 2w_1 + w_2),$$

$$W_3 = 35(-w_0 + 3w_1 - 3w_2 + w_3),$$

$$W_4 = 35(w_0 - 4w_1 + 6w_2 - 4w_3 + w_4),$$

$$W_5 = 21(-w_0 + 5w_1 - 10w_2 + 10w_3 - 5w_4 + w_5),$$

$$W_6 = 7(w_0 - 6w_1 - 15w_2 - 20w_3 + 15w_4 - 6w_5 + w_6)$$

$$W_7 = (-w_0 + 7w_1 - 21w_2 + 35w_3 - 35w_4 + 21w_5 - 7w_6 + w_7).$$

Прийmemo

$$\sum_{i=0}^5 A_i t^i = A;$$

$$\sum_{i=0}^5 W_i t^i = B.$$

Тоді (2) перепишеться у вигляді:

$$r(t) = \frac{A}{B}. \quad (3)$$

Розрахуємо похідні від (2):

$$r'(t) = \frac{A'B - AB'}{B^2} . \quad (4)$$

$$\begin{aligned} r''(t) &= \frac{(A'B - AB')'B^2 - (A'B - AB')2BB'}{B^4} = \\ &= \frac{(A'B - AB')'B^2}{B^4} - \frac{(A'B - AB')2BB'}{B^4} = \\ &= \frac{(A''B - AB'')}{B^2} - \frac{(A'B - AB')2BB'}{B^4} = \\ &= \frac{(A''B - AB'')B^2 - 2A'B^2B' + 2AB'^2B}{B^4} = \\ &= \frac{(A''B - AB'' - 2A'B')}{B^2} + 2\frac{AB'^2}{B^3} . \end{aligned} \quad (5)$$

Для розрахунку третьої похідної візьмемо похідну від (5):

$$\begin{aligned} r'''(t) &= \frac{(A''B - AB'' - 2A'B')'B^2 - (A''B - AB'' - 2A'B')2BB'}{B^4} + \\ &+ 2\frac{(A'B'^2 + AB'^3)B^3 - AB'^2 3B^2B'}{B^6} = \\ &\frac{A'''B - AB''' - 3A''B'}{B^2} + \frac{2AB''B' + 5A'B'^2 + AB'^3}{B^3} - 3\frac{AB'^3}{B^4} . \end{aligned} \quad (6)$$

Враховуючи, що $B' = 7(w_1 - w_0)$, прийmemo $w_1 = w_0 = 1.0$. Тоді $B' = 0$, і рівняння (4), (5) і (6) спростяться:

$$r'(t) = \frac{A'}{B} = \frac{7(r_1 - r_0)}{B} . \quad (4a)$$

$$\begin{aligned} r''(t) &= \frac{(A'B - AB')'B^2 - (A'B - AB')2BB'}{B^4} = \\ &= \frac{(A'B - AB')'B^2}{B^4} - \frac{(A'B - AB')2BB'}{B^4} = \\ &= \frac{(A''B - AB'')}{B^2} - \frac{(A'B - AB')2BB'}{B^4} = \\ &= \frac{(A''B - AB'')B^2 - 2A'B^2B' + 2AB'^2B}{B^4} = \\ &= \frac{(A''B - AB'')}{B^2} . \end{aligned} \quad (5a)$$

$$r'''(t) = \frac{(A''B - AB'' - 2A'B')'B^2 - (A''B - AB'' - 2A'B')2BB'}{B^4} +$$

$$+ 2 \frac{(A'B'^2 + AB'^3)B^3 - AB'^2 3B^2 B'}{B^6} =$$

$$\frac{A'''B - AB'''}{B^2}.$$
(6a)

При $t=0$ буде:

$$A(0) = r_0 w_0 = r_0,$$

$$A'(0) = A_1 = 7(r_1 w_1 - r_0 w_0) = 7(r_1 - r_0),$$

$$A''(0) = 2A_2 = 42(r_0 w_0 - 2r_1 w_1 + r_2 w_2) = 42(r_0 - 2r_1 + r_2 w_2),$$

$$A'''(0) = 6A_3 = 210(r_3 w_3 - 3r_2 w_2 + 3r_1 w_1 - r_0 w_0) = 210(r_3 w_3 - 3r_2 w_2 + 3r_1 - r_0),$$
(7)

$$B(0) = w_0 = 1.0,$$

$$B'(0) = W_1 = 7(w_1 - w_0) = 0,$$

$$B''(0) = 2W_2 = 42(w_0 - 2w_1 + w_2) = 42(w_2 - 1),$$

$$B'''(0) = 6W_3 = 210(w_3 - 3w_2 + 3w_1 - w_0) = 210(w_3 - 3w_2 + 2).$$

Кривизна кривої дорівнює [1]:

$$k_1^2 = \frac{\left| \frac{x''}{x'} \frac{y''}{y'} \right|^2 + \left| \frac{y''}{y'} \frac{z''}{z'} \right|^2 + \left| \frac{z''}{z'} \frac{x''}{x'} \right|^2}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^3} = \frac{|r''|^2}{|r'|^6}.$$
(8)

$$k_1 = \frac{|r''|}{|r'|^3} = \frac{\sqrt{x''^2 + y''^2 + z''^2}}{[\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}]^3}.$$

Скрут кривої дорівнює [1]:

$$k_2 = -\frac{(r' \wedge r'')}{(r' \wedge r'')^2} = -\frac{\left| \begin{array}{c} x' y' z' \\ x'' y'' z'' \\ x''' y''' z''' \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{cc} x' y' & x'' y'' \\ x'' y'' & x''' y''' \end{array} \right|^2 + \left| \begin{array}{cc} y' z' & y'' z'' \\ y'' z'' & y''' z''' \end{array} \right|^2 + \left| \begin{array}{cc} z' x' & z'' x'' \\ z'' x'' & z''' x''' \end{array} \right|^2} = \frac{|r'''}{|(r' \wedge r'')|} = \frac{\sqrt{x'''^2 + y'''^2 + z'''^2}}{\sqrt{\left| \begin{array}{cc} x' y' & x'' y'' \\ x'' y'' & x''' y''' \end{array} \right|^2 + \left| \begin{array}{cc} y' z' & y'' z'' \\ y'' z'' & y''' z''' \end{array} \right|^2 + \left| \begin{array}{cc} z' x' & z'' x'' \\ z'' x'' & z''' x''' \end{array} \right|^2}}.$$
(9)

Таким чином, якщо задати дві точки r_0 і r_7 а також кривизну і скрут в цих точках $k_{1(0)}, k_{2(0)}, k_{1(7)}, k_{2(7)}$, то інші точки кривої (1) можна знайти наступним чином.

В точці r_0 $t=0$. Тоді $B(0)=W_0=w_0=1.0$. Точка r_1 визначиться із формули (4a):

$$r'(0) = \frac{A'(0)}{B(0)} = \frac{7(r_1 - r_0)}{B(0)} = A' = 7(r_1 - r_0).$$

Задамо першу похідну $r'(0)$ в точці r_0 . Тобто задамо $x'(0), y'(0), z'(0)$. Звідси:

$$r_1 = r_0 + \frac{r'(0)}{7}. \quad (10)$$

Точку r_2 знайдемо за заданою кривою $k_1(0)$. Із формули (8) маємо:

$$x''^2 + y''^2 + z''^2 = k_1(x'^2 + y'^2 + z'^2) = |r''|^2. \quad (11)$$

Із формули (11) бачимо, що для задання повного вектора r'' необхідно задати будь-які дві його координати із трьох: x'', y'', z'' . Тоді третя координата знайдеться із формули (11).

Точка r_2 визначиться формулою (5а):

$$\begin{aligned} r''(0) &= \frac{(A''(0)B(0) - A(0)B''(0))}{B^2(0)} = \frac{(42(r_0 - 2r_1 + r_2 w_2) - 42r_0(w_2 - 1.0))}{1.0} = \\ &= 42r_0 - 84r_1 + 42r_2 w_2 - 42r_0 w_2 + 42r_0 = \\ &= 84r_0 - 84r_1 + 42w_2(r_2 - r_0). \end{aligned} \quad (12)$$

За формулою (12) можна визначити вектор r_2 при заданні ваги w_2 :

$$r_2 = \frac{r''(0)}{42w_2} + 2r_1 - r_0 \quad (13)$$

або вагу w_2 при заданні вектора r_2 :

$$w_2 = \frac{r''(0)}{42(r_2 - r_0)} + 2(r_1 - r_0). \quad (14)$$

Точку r_3 знайдемо за допомогою заданого скруту $k_2(0)$. Із формули (9) випливає:

$$\sqrt{x'''^2 + y'''^2 + z'''^2} = k_2 \sqrt{\left| \begin{matrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{matrix} \right|^2 + \left| \begin{matrix} y' & z' \\ y'' & z'' \end{matrix} \right|^2 + \left| \begin{matrix} z' & x' \\ z'' & x'' \end{matrix} \right|^2}. \quad (15)$$

Із формули (15) бачимо, що для задання повного вектора r''' необхідно задати будь-які дві його координати із трьох: x''', y''', z''' . Тоді третя координата знайдеться із формули (15)

Точка r_3 визначиться формулою (6а):

$$\begin{aligned} r'''(0) &= \frac{[A'''(0)B(0) - A(0)B'''(0)]}{B^2(0)} = \frac{(210(r_3 w_3 + 3r_1 - 3r_2 w_2 - r_0) - 210r_0(w_3 + 3w_1 - 3w_2 - w_0))}{1.0} = \\ &= 210r_3 w_3 + 630r_1 - 630r_2 w_2 - 210r_0 - 210r_0 w_3 - 630r_0 w_1 + 630r_0 w_2 + 210r_0 w_0 = \\ &= 210w_3(r_3 - r_0) + 630r_1 - 630r_2 w_2 + 630r_0 w_2 - 630r_0. \end{aligned} \quad (16)$$

За формулою (16) можна визначити вектор r_3 при заданні ваги w_3 :

$$r_3 = \frac{r'''(0)}{210w_3} + r_0 - \frac{3[r_1 + w_2(r_2 - r_0) + r_0]}{w_3} \quad (17)$$

або вагу w_3 при заданні вектора r_3 :

$$w_3 = \frac{r'''(0)}{210(r_3 - r_0)} - 3 \frac{[r_1 + w_2(r_0 - r_2) - r_0]}{(r_3 - r_0)}. \quad (18)$$

Якщо в (1) замість t підставити $(1-u)$, то (1) можна переписати наступним чином:

$$r(u) = \frac{\sum_{i=7}^0 B_i^7 r_i w_i u^i (1-u)^{(n-i)}}{\sum_{i=7}^0 B_i^7 w_i u^i (1-u)^{(n-i)}}, \quad (19)$$

тобто контрольні точки поміняються місцями:

$$r_0 = r_7, r_1 = r_6, r_2 = r_5, r_3 = r_4, r_4 = r_3, r_5 = r_2, r_6 = r_1, r_7 = r_0.$$

Тому, на основі (10)-(14), (17)-(18) можна написати:

$$r_6 = r_7 + \frac{r'(1)}{7}. \quad (20)$$

$$r_5 = \frac{r'''(1)}{42w_5} + 2r_6 - r_7. \quad (21)$$

$$w_5 = \frac{r''(1)}{42(r_5 - r_7)} + 2(r_6 - r_7). \quad (22)$$

$$r_4 = \frac{r'''(0)}{210w_4} + r_0 - \frac{3[r_6 + w_5(r_5 - r_7) + r_7]}{w_4}. \quad (23)$$

$$w_4 = \frac{r'''(1)}{210(r_4 - r_7)} - 3 \frac{[r_6 + w_5(r_7 - r_5) - r_7]}{(r_4 - r_7)}. \quad (24)$$

Таким чином всі точки кривої (1) за заданими умовами знайдені.

Висновки. В роботі отримані формули для побудови кривих із заданим графіком кривини та скруту на основі застосування раціональної кривої Безьє 7-го степеня, що актуально при проектуванні обводів машин і агрегатів, які працюють в рухомому середовищі.

Література

1. Погорелов А.В. Геометрия / А.В. Погорелов. – М.:Наука. – 1983. – 288с.
2. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование / Н.Н. Голованов – М.: Физматлит, 2002. – 472 с.

3. Бадаєв Ю.І. Моделювання плоскої кривої із заданим законом кривини / Ю.І. Бадаєв, І.М. Ганношина // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць міжн. конф. – Мелітополь: МДПУ, 2015. – Вип.4. – С. 14-17.
4. Бадаєв Ю.І. Проектування просторової кривої із заданими законами кривини та скруту / Ю.І. Бадаєв, І.М. Ганношина // Вісник Вінницького політехнічного інституту: збірник наукових праць міжн. конф. –Вінниця: ВНТУ, 2016. – Вип. №4. – С. 44-51.

РАЦИОНАЛЬНАЯ КРИВАЯ БЕЗЬЕ 7-й СТЕПЕНИ ПО ЗАДАНЫМ ДВУМ ТОЧКАМ, А ТАКЖЕ КРИВИЗНАМ И КРУЧЕНИЕМ В НИХ

Бадаєв Ю.І., Ганношина І.Н.

Рассмотрены построение пространственной рациональной кривой Безье 7-й степени по заданным двум точкам и кривизнам и кручениям в них.

Ключевые слова: кривизна, кручение, пространственная рациональная кривая Безье.

RATIONAL CURVES BY BEZIER SEVEN STEPPING FOR TWO POINTS AND CURVILINEAR AND SCREWS IN THESE

Badayev Y., Gannoshina I.

The construction of the spatial rational Bezier curve of the 7th degree for the given two points and curvilinear and difficulty in them is considered.

Keywords: curvature, difficulty, Bezier spatial rational curve.

УДК 514.18

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКЛАДАННЯ ГРАФІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САПР

Башта О.Т., к.т.н.,

Джурик О.В.,

Романенко В.Г., к.т.н.,

Сабірова І.М.

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)

В роботі розглядаються розробка та використання «Навчально-методичних комплексів» з графічних дисциплін для забезпечення умов формування системного підходу до процесу навчання.

Ключові слова: процес навчання, графічна підготовка, особистісно-орієнтоване навчання, успішність, самонавчання, інформаційні технології, дидактичний матеріал.

Постановка проблеми. Аналіз багаторічної роботи кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки Національного авіаційного університету свідчить про недостатньо високу успішність студентів перших курсів з графічних дисциплін. Тому існує необхідність пошуку способів і прийомів вдосконалення змісту дидактичних матеріалів і методики викладання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із набуттям України незалежності почали створюватися навчально-методичні комплекси з дисциплін, які орієнтовані на Болонську систему навчання. НМК розробляються на базі державних стандартів вищої освіти. Проблемами науково-методичного забезпечення займалися, зокрема: А.Архіпова, А.Беляєва, Є.Вишнякова, Л.Солянкін та ін. Але незважаючи на достатньо велику кількість публікацій стосовно НМК, матеріали з розробок НМК з графічних дисциплін практично відсутні.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розробка нових науково-обґрунтованих форм організації процесу навчання нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки у вищому навчальному закладі.

Основна частина. Основною причиною недостатньо високої успішності студентів з графічних дисциплін в першому семестрі є низький рівень або повна відсутність (не вивчалось в школі) шкільної графічної підготовки з креслення. Про це свідчить аналіз результатів проведеного анкетування.

За результатами анкетування, яке проводилось на першому занятті з відповідного предмету в університеті, виявлено, що 88% опитаних не вивчали креслення в школі, 5% не працювали з комп'ютером, а якщо працювали, то дуже мало.

Пояснити ситуацію, що склалася, можна наступними причинами:

- відсутність обов'язкового предмета «Креслення» в шкільних програмах в Україні;
- слабка технічна оснащеність сільських шкіл, брак комп'ютерної техніки;
- відношення до креслення як до другорядного предмету.

Пошук необхідних способів і прийомів, що підвищують успішність, повинен бути спрямований в першу чергу на вдосконалення змісту дидактичних матеріалів і методики викладання.

Зупинимось на науково-методичних проблемах.

Проведений аналіз показав, що в даний час є ряд суперечностей, а саме:

- між наявними резервами (педагогічними, методичними, технічними) в плані активізації підготовки студентів, пов'язаними з комп'ютеризацією освіти, і недостатнім використанням цих резервів в навчальному процесі.

Активізація процесу підготовки студентів при вивченні нарисної геометрії та інженерної графіки з використанням нових інформаційних технологій можлива при дотриманні наступних умов: удосконаленні методики процесу активізації підготовки студентів; реалізації дидактичного забезпечення процесу.

Якщо в процесі викладання нарисної геометрії та інженерної графіки на першому і другому курсах ВНЗ будуть створені сприятливі умови для поглиблення зв'язків з іншими предметами програми, то це буде сприяти підвищенню інтересу студентів до обраної спеціальності, поліпшенню якості підготовки.

При вивченні графічних дисциплін студенту необхідно мати уявлення про ті технологічні процеси, за допомогою яких здійснюється виготовлення виробів різної складності. Саме тому курс інженерної графіки тісно пов'язаний з багатьма технічними дисциплінами. Тому необхідне проведення аналізу форм і способів здійснення зв'язків між нарисною геометрією, інженерною графікою і предметами навчальної програми, що містять графічну частину.

Нарисна геометрія та інженерна графіка, як одна з дисциплін загальнотехнічного циклу, є фундаментальною дисципліною в підготовці інженерних кадрів. У кожному її розділі є матеріал, який пов'язаний зі змістом інших предметів і залучається при їх вивченні. Тому особливо важливо в процесі вивчення нарисної геометрії та

інженерної графіки забезпечити наочний зв'язок цього предмета з дисциплінами старших курсів ВНЗ та з майбутньою професійною діяльністю. Така координація підніме значимість нарисної геометрії та інженерної та комп'ютерної графіки, буде стимулювати інтерес до навчання та обраної професії. Найважливішою особливістю професійного становлення майбутнього інженера, в період його навчання у вузі, є якість графічної підготовки. Це вимагає створення таких педагогічних умов, які можуть забезпечити ефективність графічної діяльності студентів з урахуванням сучасних вимог.

При проектуванні і реалізації процесу вивчення дисциплін «Нарисна геометрія та інженерна графіка», «Інженерна та комп'ютерна графіка» важливу роль відіграє взаємозв'язок опрацьованого матеріалу. Це особливо актуально в зв'язку з тим, що всі теми, які вивчаються студентами в нарисній геометрії та інженерній графіці, взаємозв'язані: недоліки в підготовці попередніх тем курсу, дають негативні результати на наступних етапах навчання.

Розробка нових науково-обґрунтованих форм організації процесу навчання нарисної геометрії та інженерної графіки у вищому навчальному закладі заснована на аналізі мети, структури і зв'язків у процесі навчання. Останнім часом складаються такі тенденції: зменшення аудиторних занять, зростання обсягу навчальної інформації; значна обмеженість часу, відведеного для її вивчення, - і, як наслідок, ускладнення змісту освіти.

Корінна реконструкція освітньої діяльності орієнтована на формування модульної основи організації навчального процесу на базі кредитної системи. Основною метою навчального процесу стає оволодіння студентами способами набуття нових знань, розвиток пізнавальних потреб і творчого потенціалу. Досягнення особистих результатів навчання, розвиток мотиваційних ресурсів студентів вимагають побудови індивідуальних освітніх програм.

У вузах США і Європи широке поширення набуло особистісно-орієнтоване навчання, яке передбачає принципову зміну ролевих функцій студента і викладача. Студент з пасивного об'єкту навчання, що приймає інформацію від викладача, стає активним суб'єктом навчального процесу, здатним до самоосвіти та самовдосконалення. Він бере участь у формуванні власної «траєкторії» освіти. Сенсом навчання стає не оцінка, поставлена викладачем, а самооцінка студентом досягнутих особистих результатів. Зміна освітнього процесу надає значущий вплив і на роль викладача. З «транслятора» готових знань він стає партнером студента в спільній діяльності навчання. При цьому нова роль не применшує значення викладача як педагога. Викладач - лектор, методист, дослідник - набуває нових якостей - консультанта (тьютора), так як процес самонавчання

студента не виключає дії керівника, що консультує і контролює виконання завдань. У нових умовах викладач створює необхідне навчальне середовище і здійснює управління діяльністю студента. Загальносвітова тенденція навчання включає передачу студентам «підтримуючих» матеріалів, що полегшують їм можливість самостійної роботи.

На кафедрі комп'ютерних технологій дизайну і графіки Національного авіаційного університету першим кроком нової організації роботи послужило створення навчальної лабораторії на базі креслярських класів, що задовольняє сучасним вимогам мультимедійного оснащення та зміні технологій викладання графічних дисциплін із застосуванням графічних програм AutoCAD, ArchiCAD, КОМПАС.

Відповідно до аналізу прогнозованих цілей навчання колективом кафедри були підготовлені і впроваджені в навчальний процес методичні розробки, які розглядалися як один із сучасних інструментів навчання. Впровадження дидактичного матеріалу дозволило вирішити кілька задач по інтенсифікації навчального процесу, але разом з тим виявило ряд проблем. Стала прослідковуватись залежність студента від викладача в питаннях отримання завдання, вибору варіанта, оформлення робіт та ін. Відсутність знань термінів, визначень і навичок пошуку необхідної інформації приводило до зниження мотивації студентів до вивчення дисципліни. Відсутність різних рівнів складності завдань не дозволяла першокурснику в повній мірі оцінити свою базову підготовку і вибрати власну траєкторію навчання, яка б не зрівнювала як сильно, так і слабо підготовлених студентів. Розмиті тимчасові критерії здачі домашніх завдань приводили до зриву навчального графіка, зниження якості робіт і фізичному навантаженні як на студентів, так і на викладачів в кінці семестру.

У зв'язку з цим авторами був розроблений «Навчально-методичний комплекс» матеріалів для супроводу студентів при вивченні курсів графічних дисциплін, які читаються на кафедрі. «Навчально-методичний комплекс» призначений для організації роботи студентів першого та другого курсів. Мета «Навчально-методичний комплексу» полягає в забезпеченні умов формування системного підходу до процесу навчання студентів і досягнення ними необхідних результатів навчання. Основні завдання, які вирішуються шляхом впровадження даного дидактичного матеріалу: покращення організації самостійної аудиторної та позааудиторної роботи студента; підвищення мотивації студента для отримання нових знань з дисципліни, незалежно від рівня його початкової підготовленості; стимулювання усвідомленої необхідності самостійних дій студента

через самоорганізацію, самооцінку, самоконтроль; забезпечення можливості демонстрування особистих досягнень студента при виборі власної траєкторії навчання та здійснення коригування подальших дій. Ступінь початкової підготовленості студента до освоєння дисципліни дуже важлива і залежить від багатьох факторів: попередньої підготовки (школа, ліцей, коледж, попередня дисципліна в рамках вузу); властивостей особистості (мотивації, самостійності, відповідальності та ін.); компетентності викладача, технічних засобів навчання та ін. Мотивація студента з освоєння дисципліни визначається: знаннями тем дисципліни в цілому, так і окремих її розділів (модулів); можливістю самостійно вибирати рівень завдань посилюючих для виконання; можливістю самостійно вибирати більш складний рівень завдань, дотримуючись рекомендацій в супровідних документах; можливістю рухатися по власній освітній траєкторії; впевненістю в своєму постійному освітньому зростанні; впевненістю в можливості самостійного виконання завдання.

Навчальний матеріал педагогічного супроводу складений з урахуванням трьох рівнів складності: базового, середнього, високого. Базовий рівень містить завдання для виконання слабопідготовленими студентами. В середній рівень включені ускладнені завдання першого рівня, а в високий - ускладнені завдання другого рівня. Очевидно, що така шкала оцінок занадто проста для реальної оцінки знань студентів, тому авторами була розроблена рейтингова система оцінок. Системність при розробці «Навчально-методичного комплексу» полягає в тому, що матеріал дисципліни був розділений на окремі самостійні, але взаємопов'язані складові частини - модулі. Число модулів визначалося змістом і трудоемкістю дисципліни. При вивченні студентом матеріалу відповідного модуля, здійснюється проміжний контроль. Кожне навчальне заняття «працює» на формування у студента компетенції або її елемента. Студент повинен знати, вміти і володіти критеріями даного заняття.

Розробка «Навчально-методичного комплексу» здійснювалася із залученням комп'ютерних технологій, що дозволяє викладачеві надати студенту різні засоби діагностики (тести, завдання для самоперевірки, анкети та ін.). Це дає можливість легко систематизувати і обробляти отримані результати; студенту - підвищити зацікавленість в досліджуваному матеріалі, дає відчуття здійсненності завдань, можливості його засвоєння, віри у власні сили і здібності, прагнення до підвищення рівня своєї освіти. Всі матеріали «Навчально-методичного комплексу» розроблені в електронному вигляді і розміщені в репозитарії університету (підрозділ - Інститут аеропортів, кафедра комп'ютерних технологій дизайну і графіки) та

на робочих столах комп'ютерів у вільному доступі. Робочий зошит - єдиний документ, який студент повинен роздрукувати.

До «Навчально-методичного комплексу» увійшли наступні документи: календарний план вивчення дисципліни, навчальна і робоча програми з дисципліни, конспект лекцій з дисципліни, методичні рекомендації щодо виконання розрахунково-графічних робіт (РГР) і домашніх завдань (ДЗ), варіанти завдань РГР і ДЗ, методичні рекомендації до лабораторних і практичних занять, приклади модульних контрольних робіт, приклади поточних контрольних робіт, приклади екзаменаційних білетів, питання для підготовки до екзамену і заліку, методичні рекомендації з самостійної роботи студентів, презентації по кожному модулю дисципліни; ілюстрований українсько-російсько-англійський словник термінів з грифом МОН України з нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, розроблений авторами з урахуванням авіаційної направленості ВУЗу (словник виконує функцію не тільки перекладу, а також завдяки ілюстраціям до кожного терміну допомагає в тлумаченні смислу технічної термінології), глосарій (тлумачний словник термінів з нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки), критерії оцінки графічних робіт. Використовуючи матеріали навчально-методичного комплексу, в кінці семестру студенти повинні здати альбоми розрахунково-графічних робіт або домашніх завдань, відповідно до тематики факультету.

Альбом графічних робіт з нарисної геометрії, зокрема, виконується на базі навчального посібника з грифом МОНМС України «Збірник завдань з нарисної геометрії», який відповідає програмі курсу з нарисної геометрії для вищих технічних навчальних закладів. Відмінною рисою посібника є те, що розв'язання кожної задачі поділяється на декілька графічних етапів з детальним текстовим поясненням та остаточним графічним результатом задачі. Якщо умова і рішення задачі наведені на одному кресленні, то в зв'язку з великою кількістю ліній побудову досить важко розібратися в рішенні задачі, навіть якщо додається його текстове пояснення. Використання задачника з поетапним розв'язком задач дає студентам можливість зрозуміти і засвоїти весь курс, з'ясувати план і хід розв'язку задач. Крім цього в посібнику наведені умови задач для самостійного розв'язку. Мета даного посібника – збільшення ефективності при самостійному вивченні курсу нарисної геометрії.

Після використання навчально-методичних комплексів було проведено анкетування студентів. Шляхом опитування були отримані наступні результати: 69,6% студентів підтвердили, що робота з документами «Навчально-методичного комплексу» допомогла їм в

освоєнні дисципліни. До позитивних результатів роботи з навчально-методичним матеріалом першокурсники віднесли: грамотний системний підхід в організації занять; можливість працювати з випередженням графіка, самостійно освоюючи нові розділи і виконуючи завдання; можливість самостійного вибору рівня складності завдань; можливість роботи з реальними деталями і складаними одиницями; наявність чіткого оцінювання виконаних робіт (в комплексі наводяться критерії оцінок). До негативних сторін було віднесено: мала кількість годин аудиторного навантаження; наявність графіка виконання і здачі завдань в семестрі; великий обсяг навчального матеріалу, виділеного на самостійне вивчення. Самостійний вибір студентами рівня складності завдань розподілився в наступному процентному співвідношенні: високий рівень вибрали 19,4% студентів; середній (просунутий) 41,5%; пороговий (базовий) рівень виконання завдань вибрали 12,5% студентів; вибір рівня проігнорували 26,6% студентів. Результати опитування повністю відповідають реальній ситуації. Студенти, які відмовилися від вибору рівня освоєння дисципліни, змушені були дотримуватися базового рівня, ігноруючи при цьому графік здачі домашніх завдань і виконання контрольних заходів.

Висновки. На основі аналізу психолого-педагогічних і специфічних особливостей вивчення нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки запропоновано використання навчально-методичних комплексів з даних курсів для студентів механічних, радіотехнічних, комп'ютерних та інженерно-будівельних спеціальностей.

Результати багаторічної статистики організації самостійної та аудиторної робіт в національному авіаційному університеті показали, що «Навчально-методичний комплекс» разом з багатогранною коригуючою діяльністю викладача є ефективним інструментом навчання.

Література

1. Башта О.Т. Комплексний підхід до викладання графічних дисциплін англійською мовою / О.Т.Башта, О.В.Джурик, Н.О.Гірник, Т.В.Ізюменко // Інноваційні аспекти геометрографічної освіти. Матеріали всеукраїнської науково-методичної конференції. – Севастополь: Севастоп. нац.. техн. ун-т, 2012. – С. 87 – 90.
2. 2. Брехова А.В. Интеграция графических и технических дисциплин для организации самостоятельной работы студентов[Електронний ресурс] / А.В. Брехова // Перспективы науки и образования.

Международный электронный научный журнал ISSN 2307-2334 (Онлайн), 2017. – Вып. 1 (25) – С. 39-41.

3. Башта О.Т. Збірник задач з нарисної геометрії [навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів з грифом МОНМС України] /О.Т.Башта, О.В.Джурик. – К. : НАУ, 2013. – 212 с.
4. Башта О.Т. Ілюстрований українсько-російсько-англійський словник термінів з нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки [Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів з грифом МОН України] /О.Т.Башта, О.В.Джурик. – К. : НАУ, 2010. – 172 с.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕПОДАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР

Башта Е.Т., Джурик Е.В., Романенко В.Г., Сабирова И.М.

В работе рассматриваются разработка и использование «Учебно-методических комплексов» с графических дисциплин для обеспечения условий формирования системного подхода к процессу обучения.

Ключевые слова: процесс обучения, графическая подготовка, личностно-ориентированное обучение, успешность, самообучение, информационные технологии, дидактический материал

NEW TECHNOLOGIES OF TEACHING GRAPHIC DISCIPLINES USING CAD

Bashta O., Dzhuryk O., Romanenko V., Sabirova I.

The paper discusses the use of « Systematic training complexes» of graphic disciplines to ensure the conditions for the formation of a systematic approach to the learning process.

Key words: learning process, graphical preparation, personality-oriented learning, academic performance, self-learning, information technologies, didactic material.

УДК 514.18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭВОЛЮТЫ КРИВОЙ В ТОЧЕЧНОМ ИСЧИСЛЕНИИ БАЛЮБЫ-НАЙДЫША

Бездитный А.А., к.т.н.

Найдыш А.В., д.т.н.,

Спиринцев Д.В., к.т.н.,

Пахаренко В.А. д.т.н.

*Мелитопольская школа прикладной геометрии**Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана
Хмельницького (Україна)*

В статье рассматривается способ задания эволюты кривой через параметры её эвольвенты в терминах точечного исчисления Балюбы-Найдыша (БН-исчисления).

Ключевые слова: эвольвента, эволюта, касательная, локальный симплекс, точечное исчисление Балюбы-Найдыша (БН-исчисление).

Постановка проблемы. На пути исследования свойств плоских кривых в точечном представлении стоит ряд нерешённых задач. К таковым можно отнести и задачу нахождения эволюты кривой по её эвольвенте, которая является классической в дифференциальной геометрии. Эти два сопровождающих друг друга геометрических объекта тесно связаны и учувствуют в описании процессов, которые характеризует кривая.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованием вопросов свойств плоских кривых в точечном представлении занимался Балюба И.Г. в своей докторской диссертации [1] и Давыденко И.П. в кандидатской работе [2]. Но подробные исследования построения и свойств эволюты и эвольвенты в рамках геометрического аппарата точечного исчисления не проводились.

Формирование целей статьи.

Установить взаимосвязь параметров плоской кривой (эвольвенты) с её эволютой.

Основная часть. Пусть в некотором симплексе CAB задана плоская кривая, которая принимается за эвольвенту. Построим сопутствующую ей эволюту.

Определим кривую M в симплексе CAB :

$$P = (A - C)\bar{u} + C, Q = (B - C)v + C, \quad (1)$$

$$M = (A - C)\frac{\bar{u}^2\dot{v}}{\dot{u}v + \bar{u}\dot{v}} + (B - C)\frac{v^2\dot{u}}{\dot{u}v + \bar{u}\dot{v}} + C.$$

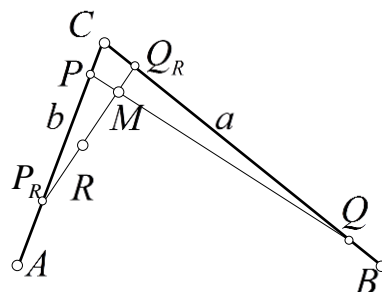


Рис.1. Эвольвента и
эволюта в симплексе CAB

Аналогичным образом можно задать эволюту (обозначим как R):

$$\begin{aligned} P_R &= (A - C)\bar{u}_R + C, Q_R = (B - C)v_R + C ; \\ R &= (A - C)\frac{\bar{u}_R^2 \dot{v}_R}{\dot{u}_R v_R + \bar{u}_R \dot{v}_R} + (B - C)\frac{v_R^2 \dot{u}_R}{\dot{u}_R v_R + \bar{u}_R \dot{v}_R} + C. \end{aligned} \quad (2)$$

Определим зависимость параметров сопутствующих кривых M и R :

$$\begin{aligned} \Sigma[(A - C)\bar{u} - (B - C)v] [(A - C)\bar{u}_R - (B - C)v_R] = \\ b^2 \bar{u}_R \bar{u} + \sum_{AB}^C (\bar{u} v_R + v \bar{u}_R) + a^2 v_R v = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Точки P , Q , R принадлежат одной прямой, так что матрица, составленная на основании параметров этих точек, является вырожденной:

$$\begin{vmatrix} \bar{u}_R^2 \dot{v}_R & v_R^2 \dot{u}_R & \dot{u}_R v_R + \bar{u}_R \dot{v}_R \\ \bar{u} & 0 & 1 \\ 0 & v & 1 \end{vmatrix} = -\bar{u}_R^2 \dot{v}_R v - v_R^2 \dot{u}_R \bar{u} + \dot{u}_R v_R \bar{u} v + \bar{u}_R \dot{v}_R \bar{u} v = 0. \quad (4)$$

Из (3) и (4) получаем систему уравнений для нахождения параметров u_R, v_R :

$$\begin{cases} b^2 \bar{u}_R \bar{u} + \sum_{AB}^C (\bar{u} v_R + v \bar{u}_R) + a^2 v_R v = 0; \\ -\bar{u}_R^2 \dot{v}_R v - v_R^2 \dot{u}_R \bar{u} + \dot{u}_R v_R \bar{u} v + \bar{u}_R \dot{v}_R \bar{u} v = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Из первого уравнения (5) получаем:

$$v_R = -\bar{u}_R \frac{b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v}{\sum_{AB}^C \bar{u} + a^2 v}. \quad (6)$$

Дифференцируем (6) по параметру t , считая u и v функциями от t :

$$\dot{v}_R = \dot{u}_R \frac{b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v}{\sum_{AB}^C \bar{u} + a^2 v} + \bar{u}_R \frac{(\sum_{AB}^C v - b^2 \dot{u})(a^2 \dot{v} - \sum_{AB}^C \dot{u})}{(a^2 v + \sum_{AB}^C \bar{u})^2}. \quad (7)$$

Подставим (6) и (7) во второе уравнение из (5):

$$\begin{aligned} -\bar{u}_R^2 (\dot{u}_R \frac{b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v}{\sum_{AB}^C \bar{u} + a^2 v} + \bar{u}_R \frac{(\sum_{AB}^C v - b^2 \dot{u})(a^2 \dot{v} - \sum_{AB}^C \dot{u})}{(a^2 v + \sum_{AB}^C \bar{u})^2}) v \\ - \left(\bar{u}_R \frac{b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v}{\sum_{AB}^C \bar{u} + a^2 v} \right)^2 \dot{u}_R \bar{u} - \dot{u}_R \bar{u}_R \frac{b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v}{\sum_{AB}^C \bar{u} + a^2 v} \bar{u} v \\ + \bar{u}_R (\dot{u}_R \frac{b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v}{\sum_{AB}^C \bar{u} + a^2 v} \\ + \bar{u}_R \frac{(\sum_{AB}^C v - b^2 \dot{u})(a^2 \dot{v} - \sum_{AB}^C \dot{u})}{(a^2 v + \sum_{AB}^C \bar{u})^2}) \bar{u} v = 0. \end{aligned}$$

После преобразований получим:

$$\dot{u}_R \frac{\bar{u}(b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v)^2 - v(b^2 \bar{u} + \sum_{AB}^C v)(a^2 v + \sum_{AB}^C \bar{u})}{\bar{u} v (\sum_{AB}^C v - b^2 \dot{u})(a^2 \dot{v} - \sum_{AB}^C \dot{u})} + \frac{\bar{u}_R}{\bar{u}} = 1. \quad (8)$$

Получаем линейное дифференциальное уравнение для определения параметра u_R :

$$\dot{u}_R + \bar{u}_R \frac{1}{\bar{u}} \frac{\bar{u}v(\sum_{AB}^C v - b^2\dot{u})(a^2\dot{v} - \sum_{AB}^C \dot{u})}{\bar{u}(b^2\bar{u} + \sum_{AB}^C v)^2 - v(b^2\bar{u} + \sum_{AB}^C v)(a^2v + \sum_{AB}^C \bar{u})} = \frac{\bar{u}v(\sum_{AB}^C v - b^2\dot{u})(a^2\dot{v} - \sum_{AB}^C \dot{u})}{\bar{u}(b^2\bar{u} + \sum_{AB}^C v)^2 - v(b^2\bar{u} + \sum_{AB}^C v)(a^2v + \sum_{AB}^C \bar{u})}. \quad (9)$$

Выводы. В результате проведённой работы, была определена зависимость между параметрами заданной плоской кривой и её эволютой, выраженная линейным дифференциальным уравнением первого порядка. Используя результаты этой работы, планируется определение эволюты кривой, заданной в пространственном симплексе.

Литература

1. Балюба И.Г. Конструктивная геометрия разнообразий в точечном исчислении: автореф. дис. на соискание учен. степени доктора техн. наук: спец: 05.01.01 / И.Г. Балюба. – К.:1995. – 38с.
2. Давыденко И.П. Конструирование поверхностей пространственных форм методом подвижного симплекса: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: 05.01.01 / И.П. Давыденко; Тавр. гос. агротехнол. ун-т. – Мелитополь, 2012. – 23 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕВОЛЮТИ КРИВОЇ У ТОЧКОВОМУ ЧИСЛЕННІ БАЛЮБИ-НАЙДИША

Бездітний А.О., Найдиш А.В., Спирінцев Д.В., Пахаренко В.О.

У статті розглядається спосіб завдання еволюти кривої через параметри її евольвенти в термінах точкового числення Балюба-Найдиша (БН-числення).

Ключові слова: евольвента, еволюта, дотична, локальний симплекс, точкове числення Балюби-Найдиша (БН-числення).

DETERMINATION OF THE EVOLUTE OF A CURVE IN A POINT CALCULATION OF A BALYUBA-NAIDYSH

Bezditniy A., Naidysh A., Spirtsev D., Pakharenko V.

The method of defining the evolute of a curve through the parameters of its evolvent in terms of the Balyuba-Naidysh point calculation (BN-calculus) is considered.

Keywords: involute, evolute, tangent, local simplex, pointwise calculus Balyuba-Naidysh (BN-calculus).

УДК 515.2

ПРО ФОРМОУТВОРЕННЯ ПЛОСКОЇ КРИВОЇ ЗА ЗАДАНИМ ЗАКОНОМ РОЗПОДІЛУ ДОТИЧНИХ, ЩО ЇЇ ОГИНАЮТЬ

Білицька Н.В., к.т.н.,

Гетьман О.Г., к.т.н.

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

В роботі пропонується алгоритм формоутворення плоскої кривої за заданим законом розподілу дотичних, що її огинають, за допомогою апарата сплайн-апроксимації.

Ключові слова: інтерполяція, сплайн-апроксимація, дотична, кубічний сплайн, система рівнянь.

Постановка проблеми. Існує низка задач, коли плоска крива задається сукупністю дотичних, що її огинають. Але при подальшому конструюванні таке завдання кривої є неприйнятним: крива повинна бути визначена однозначно на усій ділянці свого існування. Тому виникає необхідність аналітичного опису кривої за заданим законом розподілу дотичних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі виконані дослідження з моделювання кривих, які задані дискретною низкою точок, за допомогою апарата сплайн-апроксимації [2] – [4]. Формоутворення плоскої кривої за заданим законом розподілу дотичних, що її огинають, пропонується вперше.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розробка алгоритму моделювання плоскої кривої за заданим законом розподілу дотичних, що її огинають за допомогою апарата сплайн-апроксимації.

Основна частина. При моделюванні кривої за заданим законом розподілу дотичних, що її огинають, зробимо припущення, що вона є монотонною та безперервною на усій області свого існування. Умова гладкості кривої повинна бути гарантованою при розробці алгоритму її конструювання.

Розглянемо алгоритм формоутворення такої кривої.

Сформулюємо математичну постановку задачі. Конструювання плоскої кривої за заданим законом розподілу дотичних можна описати диференціальним рівнянням:

$$\frac{dy}{dx} = f(x) . \quad (1)$$

Для такого рівняння може бути поставлена тільки задача з початковими умовами (задача Коші) [1]. Але в описаному випадку її

необхідно розв'язувати як крайову задачу. Розв'язання рівняння (1) з крайовими умовами $y(x_0)=y_0$ та $y(x_N)=y_N$ не існує. Але якщо використати кусочну інтерполяцію, застосувавши апарат сплайн-апроксимації, така крива може бути визначеною.

Нехай $\frac{dy}{dx} = f(x)$ задана таблично та шукана функція повинна задовольняти поставленим умовам лише у передбачених вузлах апроксимації. Тобто значенням аргументу x_0, \dots, x_N шуканої функції $y=f(x)$, що описує плоску криву, відповідають значення перших похідних $\left(\frac{dy}{dx}\right)'_1, \dots, \left(\frac{dy}{dx}\right)'_N$ у передбачених вузлах апроксимації та задані значення цих функцій у першій y_0 та останній y_N точках (рис.1).

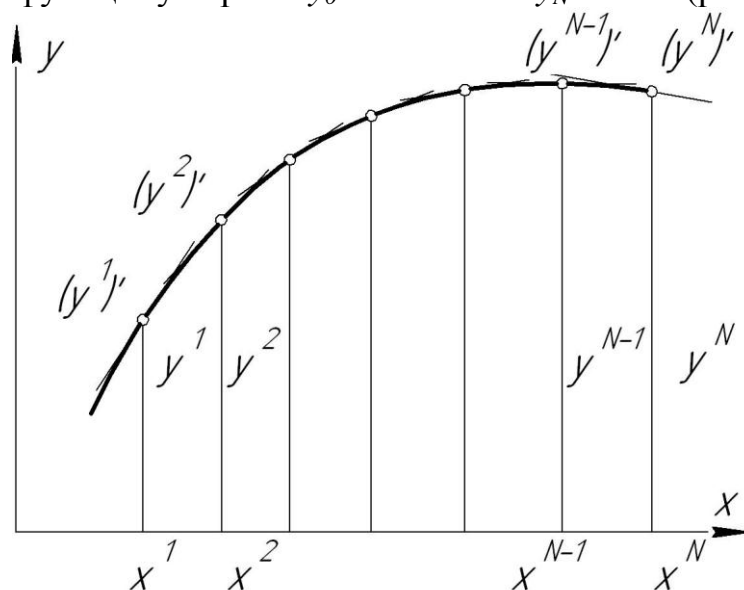


Рис. 1. Крива, що задана низкою дотичних

Необхідно отримати аналітичний опис заданої кривої. Передбачається розв'язувати таку задачу шляхом побудови кубічного сплайна, що апроксимує перші похідні при заданих значеннях аргументу. Будемо використовувати запис сплайна у вигляді:

$$S_3^j = \sum_{l=0}^3 A_l^j (x - x_{1,j})^l. \quad (2)$$

Такий сплайн повинен задовольняти наступним умовам:

1. Умові рівності значень суміжних кубічних парабол у передбачених вузлах апроксимації:

$$S_3^j(x_j) = S_3^{j+1}(x_j), j = 1, 2, \dots, N.$$

2. Умові рівності перших похідних у точках стику заданих величині:

$$\left(S_3^j(x_j)\right)' = k_j, \quad \left(S_3^j(x_{j-1})\right)' = k_{j-1}, \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

3. Умові рівності других похідних у передбачених вузлах апроксимації:

$$\left(S_3^j(x_j)\right)'' = \left(S_3^{j+1}(x_j)\right)'', \quad j = 2, 3, \dots, N-1.$$

4. Крайовим умовам:

$$S_3^1(x_0) = y(x_0), \quad S_3^{N-1}(x_N) = y(x_N)$$

Як видно із умов (1 – 4), вони дають $4(N - 1)$ рівнянь для визначення $4(N - 1)$ невідомих. Запишемо отриману систему лінійних відносно невідомих коефіцієнтів кубічних парабол, що складають сплайн, у розгорнутому виді:

[illegible]

Отримана система рівнянь досить громіздка, тому спростимо її наступним чином.

Запишемо рівняння других похідних суміжних кубічних парабол:

$$A_2^{j-1} = 6A_3^j h_j + 2A_2^j ; \quad (4)$$

$$A_2^j = 6A_3^{j+1}h_{j+1} + 2A_2^{j+1}; \quad (5)$$

а також рівняння перших похідних, значення яких є в рівняннях (4) та (5)

$$3A_3^{j+1}h_{j+1}^2 + 2A_2^{j+1}h_{j+1} + A_1^{j+1} = A_1^j ; \quad (6)$$

$$3A_3^j h_j^2 + 2A_2^j h_j + A_1^j = A_1^{j-1} , \quad (7)$$

де $h_j = x_j - x_{j-1}$, $h_{j+1} = x_{j+1} - x_j$.

Звідкіля із (6) та (7) визначаємо:

$$A_3^{j+1} = \frac{A_1^j - A_1^{j+1} - 2A_2^{j+1}h_{j+1}}{3h_{j+1}^2} ; \quad (8)$$

$$A_3^j = \frac{A_1^{j-1} - A_1^j - 2A_2^j h_j}{3h_j^2} . \quad (9)$$

Додавши рівняння (4) до рівняння (5) та підставивши в отриману суму значення A_3^{j+1} та A_3^j із (8) і (9) отримаємо вираз, який має вигляд:

$$A_2^{j-1} + 3A_2^j + 2A_2^{j+1} = 2 \left(A_1^j \frac{h_j - h_{j-1}}{h_j h_{j-1}} - \frac{A_1^{j+1}}{h_{j+1}} + \frac{A_1^{j-1}}{h_{j-1}} \right), \quad (10)$$

$$j = 1, 2, \dots, N.$$

Оскільки

$$A_1^{j-1} = k_{j-1} ;$$

$$A_1^j = k_j ;$$

$$A_1^{j+1} = k_{j+1} .$$

то вираз (10) представляє собою систему N лінійних рівнянь із N невідомими A_2^{j-1} , A_2^j , A_2^{j+1} . Матриця цієї системи трьохдіагональна із головною домінуючою діагоналлю, що є необхідною та достатньою умовою стабільності цієї системи рівнянь. Для системи лінійних рівнянь із такою матрицею метод виключення Гауса виглядає досить просто.

Розв'язуючи систему рівнянь (10), отримуємо значення невідомих у кожній точці. Коефіцієнти при $(x-x_j)^3$ визначаються із співвідношень (9), $A_1^j = k_j$.

Визначення коефіцієнтів парабол закінчуємо рахуванням коефіцієнтів A_0^j при невідомих у нульовому ступені:

$$A_0^j = A_0^{j-1} - A_3^j h_j^3 - A_2^j h_j^2 - A_1^j h_j . \quad (11)$$

Таким чином, знайдені коефіцієнти кубічних парабол, із яких складається сплайн, що апроксимує перші похідні заданої плоскої кривої: крива визначена однозначно.

Висновки. Розглянута задача має не тільки теоретичний інтерес, але й може бути застосовуваною у проектуванні робочих поверхонь ґрунтообробних машин [5].

Література

1. Трикоми Ф. Дифференциальные уравнения / Ф. Трикоми. – М.: Иностранная литература, 1962. – 352 с.
2. Стечкин С.Б. Сплайны в вычислительной математике / С.Б.Стечкин, Ю.Н. Субботин. – М.: Наука, 1976. – 248 с.
3. Бурова И.Г. Сплайн-всплески и их реализации / И.Г. Бурова, Ю.К.Демьянович, Т.О. Евдокимова – СПб.: СПбГУ, 2018.– 414 с.
4. Роженко А.И. Теория и алгоритмы вариационной сплайн-аппроксимации / А.И. Роженко. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005. – 244 с.
5. Гячев Л.В. Метод проектирования линейчатых поверхностей отвалов / Л.В. Гячев // Сборник: Вопросы механики деформируемых тел. – Ростов-на-Дону, 1972. – с.3-9.

О ФОРМООБРАЗОВАНИИ ПЛОСКОЙ КРИВОЙ ПО ЗАДАННОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОГИБАЮЩИХ ЕЕ КАСАТЕЛЬНЫХ

Білицька Н.В., Гетьман О.Г.

В работе с помощью аппарата сплайн-аппроксимации предлагается алгоритм формообразования плоской кривой по заданному закону распределения огибающих ее касательных.

Ключевые слова: интерполяция, сплайн-аппроксимация, касательная, кубический сплайн, система уравнений.

ON PLANE CURVE FORM DESIGNING BY MEANS OF ITS TANGENTS CIRCUMFLEXES DISTRIBUTION LAW

Bilytska N., Hetman A.

An algorithm proposed of plane curve form designing by means of its tangents circumflexes distribution law based on spline approximation.

Key words: interpolation, spline approximation, tangent, cubic spline, system of equations.

УДК 515.2

КЕРУВАННЯ ФОРМОЮ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ЗА РАХУНОК ВКЛЮЧЕННЯ ЗАДАНИХ ВУЗЛІВ

Ботвіновська С.І., к.т.н., *

Золотова А.В., к.т.н.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(м. Київ, Україна)*

У статті розглянуто теоретичні питання керування формою дискретно представленої поверхні (ДПП), каркас якої можна отримати з використанням статико-геометричного методу (СГМ) шляхом включення у каркас заданих вузлів як крайових умов. Відмінність такого підходу у тому, що з'являється можливість моделювати єдину поверхню не складену, що може стати визначальним моментом при виборі методу моделювання криволінійної поверхні у процесі архітектурного проектування. Поставлені у роботі задачі розв'язані з врахуванням проведеного параметричного аналізу, який дозволив знайти функціональні залежності між невідомими та заданими параметрами поверхні та далі використовувати їх для розв'язання задач з іншими вихідними умовами.

Ключові слова: *геометричне моделювання, параметричний аналіз, зовнішнє формоутворююче навантаження, дискретний каркас, статико-геометричний метод.*

Постановка проблеми. У практиці архітектурного проектування часто зустрічаються поверхні (оболонки) які покривають унікальні споруди і самі є унікальними, як з точки зору оригінальності геометричної форми так і функціонального призначення. В процесі моделювання подібних об'єктів виникають задачі забезпечення естетичних характеристик [2] при збереженні заданих вихідних даних. В процесі моделювання форми покриття архітектору або дизайнеру необхідно мати можливість керувати його формою. При використанні СГМ формування каркаса майбутньої поверхні це можна зробити шляхом включення у каркас майбутньої поверхні наперед заданих ліній або вузлів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В основі будь-якого комплексного геометричного моделювання об'єктів архітектури та дизайну лежить аналіз всіх вихідних даних. За результатами проведення параметричного аналізу можна формально визначити, чи

* Науковий консультант – д.т.н., професор Ковальов С.М.

буде мати розв'язок та або інша задача за заданими вихідними даними. Параметричний аналіз дозволяє також виявити надлишкову інформацію, яка також може ускладнити процес моделювання у майбутньому.

Наукові дослідження в області дискретного моделювання криволінійних поверхонь з використанням СГМ та проведенням параметричного аналізу зустрічаються у роботах [1, 2-6]. Аналіз існуючих публікацій [2-6], в яких розглядаються подібні задачі дозволив зробити висновки, що моделювання ДПП завжди відбувається з урахуванням залежностей між параметрами об'єкта моделювання. Але, у цих роботах не розглядалися питання можливого формоутворення єдиної нескладеної поверхні, яка не буде мати стикування частин і, відповідно, не розглядалися питання керування формою такої поверхні. А саме це є один із важливих моментів моделювання криволінійної поверхні для архітекторів та дизайнерів.

Формулювання цілей статті. Мета роботи – визначити можливості керування формою дискретного каркаса криволінійної поверхні, якщо включати до вихідних умов крім заданого опорного контура окремі вузли або ламані.

Основна частина. Однією з найважливіших задач, які виникають в процесі дискретного геометричного моделювання криволінійних поверхонь покриття є керування їх формою шляхом додавання (включення) у каркас цих поверхонь ліній заданої форми та положення або вузлів, положення яких задано.

Відомо, що СГМ [1] при формуванні дискретних каркасів поверхонь дозволяє за крайові умови призначати не тільки опорний контур, але і окремі задані вузли [3, 5] при цьому, кожна задана координата такого вузла зменшує на одиницю число невідомих у системі рівнянь рівноваги вузлів, що порушує баланс між числом невідомих та числом рівнянь.

Цей баланс відновлюється за рахунок задання невідомих параметрів зусиль зовнішнього навантаження. Узагальнення такого підходу (включення у каркас поверхні окремих заданих вузлів) може бути включенням у дискретний каркас поверхні заданого ланцюга в'язей, що у відомих дослідженнях до цього часу не розглядалося.

Якщо, дискретно представлена лінія, яка включається в дискретний каркас модельованої поверхні визначається вузлами сітки, через які вона проходить, то задача зводиться до параметричного аналізу ДПП, де невідомими є як координати вузлів сітки, так і параметри зусиль зовнішнього формоутворюючого навантаження, з наступним складанням і розв'язанням системи рівнянь рівноваги вузлів сітки. Система рівнянь рівноваги вузлів доповнюється системою рівнянь залежностей між параметрами зусиль. Результатом

параметричного аналізу повинна бути відповідність числа невідомих числу рівнянь. Розглянемо деякі приклади побудови ДПП з урахуванням заданих вузлів та ліній дискретного каркаса.

Приклад 1 (рис. 1). Змоделюємо розтягнуту сітку на квадратному плані, якщо задано опорний контур з двох ламаних у паралельних площинах $x=0$ та $x=40$ лін. од. та двох півкіл $x^2 + y^2 = 20^2$, де $0 \leq z \leq 20$ у площинах $y=0$ та $y=40$ (рис. 1, а). Маємо шістнадцять вузлів крайового контура рівномірно розміщених вздовж цих елементів з кроком $t=10$. В умовних лінійних одиницях задано координати вузлів: $A(x=0; y=0; z=0)$, $A'(x=0; y=40; z=0)$, $B(x=20; y=0; z=20)$, $B'(x=20; y=40; z=20)$, $C(x=40; y=0; z=0)$, $C'(x=40; y=40; z=0)$, $D(x=0; y=20; z=20)$, $D'(x=40; y=20; z=20)$. Необхідно визначити координати вузлів розтягнутої сітки. Координати проміжних вузлів опорного контура, розміщених на інтервалах $[A, A']$ і $[A, C]$ визначено з умови, що вузли розділяють ці інтервали на чотири рівні частини (рис. 1, а). Маємо: $(x_{10}=10; y_{10}=0; z_{10}=17.3205)$, $(x_{30}=30; y_{30}=0; z_{30}=17.3205)$, $(x_{01}=0; y_{01}=10; z_{01}=10)$, $(x_{03}=0; y_{03}=30; z_{03}=10)$. За СГМ складаємо систему рівнянь рівноваги вузлів для знаходження аплікату всіх внутрішніх вузлів для сітки з чотирикутними клітинами:

$$z_{i-1,j,u} + z_{i+1,j,u} + z_{i,j-1,u} + z_{i,j+1,u} - 4z_{i,j,u} = 0. \quad (1)$$

Підрахунок параметрів доводить, що число невідомих аплікат дорівнює числу рівнянь. Після розв'язання системи (1) і визначення аплікат всіх внутрішніх вузлів будуюмо дискретний каркас поверхні (рис. 1, а).

Додамо до вихідних даних попередньої задачі центральний вузол $M(x=20; y=20; z=35)$. Система рівнянь рівноваги вузлів (1) налічує 9 рівнянь, а за таких вихідних умов маємо лише 8 невідомих аплікат. Необхідно зберегти баланс між числом невідомих та числом рівнянь. Для цього додаємо у кожне рівняння системи (1) невідоме зусилля, що буде прикладатись до кожного вузла дискретної сітки. Це зусилля буде однаковим для всіх вузлів.

$$z_{i-1,j,u} + z_{i+1,j,u} + z_{i,j-1,u} + z_{i,j+1,u} - 4z_{i,j,u} + kP = 0, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт пропорційності між зусиллям та довжиною в'язі за СГМ. Після розв'язання системи рівнянь (2) отримуємо невідомі аплікати вузлів та величину зовнішнього навантаження. За цими результатами на рис. 1, б побудовано дискретний каркас поверхні із заданим центральним вузлом. Зауважимо, що у цій задачі апліката вузла M задана, але вузол не є точкою опори поверхні і рівняння

рівноваги для цього вузла записується у загальну систему (2). Отримана поверхня є єдиною, нескладеною без особливих точок.

Якщо, з будь якої причини необхідно задати чотири внутрішні і два зовнішні вузла: $D(x=0; y=20; z=20)$, $E(x=10; y=20; z=18)$, $M(x=20; y=20; z=24)$, $K(x=20; y=30; z=30)$, $L(x=30; y=30; z=25)$, $G(x=40; y=30; z=10)$, а зовнішній вигляд поверхні вимагає появи на ній заданої лінії, що є ланцюгом із в'язей та заданих вузлів (рис. 1, в) то згідно із заданими умовами можна скласти систему рівнянь:

$$z_{i-1,j,u} + z_{i+1,j,u} + z_{i,j-1,u} + z_{i,j+1,u} - 4z_{i,j,u} + kP_{i,j} = 0 \quad (3)$$

Підрахунок параметрів показує, що при 9 рівняннях системи рівноваги вузлів маємо 5 невідомих аплікат $z_{i,j}$ внутрішніх незаданих вузлів і 9 невідомих зовнішніх зусиль $kP_{i,j}$, прикладених до кожного з вузлів сітки. Невідомих більше ніж рівнянь. Для встановлення балансу необхідно задати функціональний розподіл між зовнішніми зусиллями і, всі невідомі зусилля перезадати через чотири будь-які невідомі $kP_{i,j}$, додавши до системи (3) п'ять додаткових рівнянь:

$$P_{i-1,j,u} + P_{i+1,j,u} + P_{i,j-1,u} + P_{i,j+1,u} - 4P_{i,j,u} = 0. \quad (4)$$

Такий функціональний розподіл зовнішніх зусиль відповідає розподілу зусиль по поверхні гіпара. Додатково необхідно ще задати зовнішні зусилля, прикладені до всіх вузлів опорного контуру. У наведеному прикладі всі ці зусилля обрано такими, що дорівнюють одиниці. Розв'язання системи лінійних рівнянь, яка складається із 9 рівнянь (3) і 5 рівнянь (4) існує, оскільки число рівнянь – 14 дорівнює числу невідомих – 14. Після розв'язання такої системи отримуємо п'ять невідомих аплікат вузлів серед інших невідомих і будуємо дискретний каркас поверхні, аксонометрія і проекції якої наведено на рис. 1, в.

Спробуємо узагальнити отримані результати. На рис. 2, а, б показано топологічну схему сітки, де товстою лінією виділено крайові умови, які складаються з ліній опорного контуру і лінії $ABCDE$, яка включається у каркас поверхні.

Система рівнянь рівноваги вузлів сітки налічує $3(m-1)(n-1)$ рівнянь, за кількістю координат внутрішніх вузлів сітки (крім вузлів опорного контуру). Нехай, задано лінію $ABCDE$, що має ще t заданих вузлів, крім вузлів A і E .

Тоді, система рівнянь рівноваги вузлів налічує $[3(m-1)(n-1)] - 3t$ невідомих координат вузлів сітки і $3(m-1)(n-1)$ невідомих координатних складових зусиль зовнішнього формоутворюючого навантаження. Отримане число невідомих перевищує число рівнянь на величину $[3(m-1)(n-1)] - 3t$.

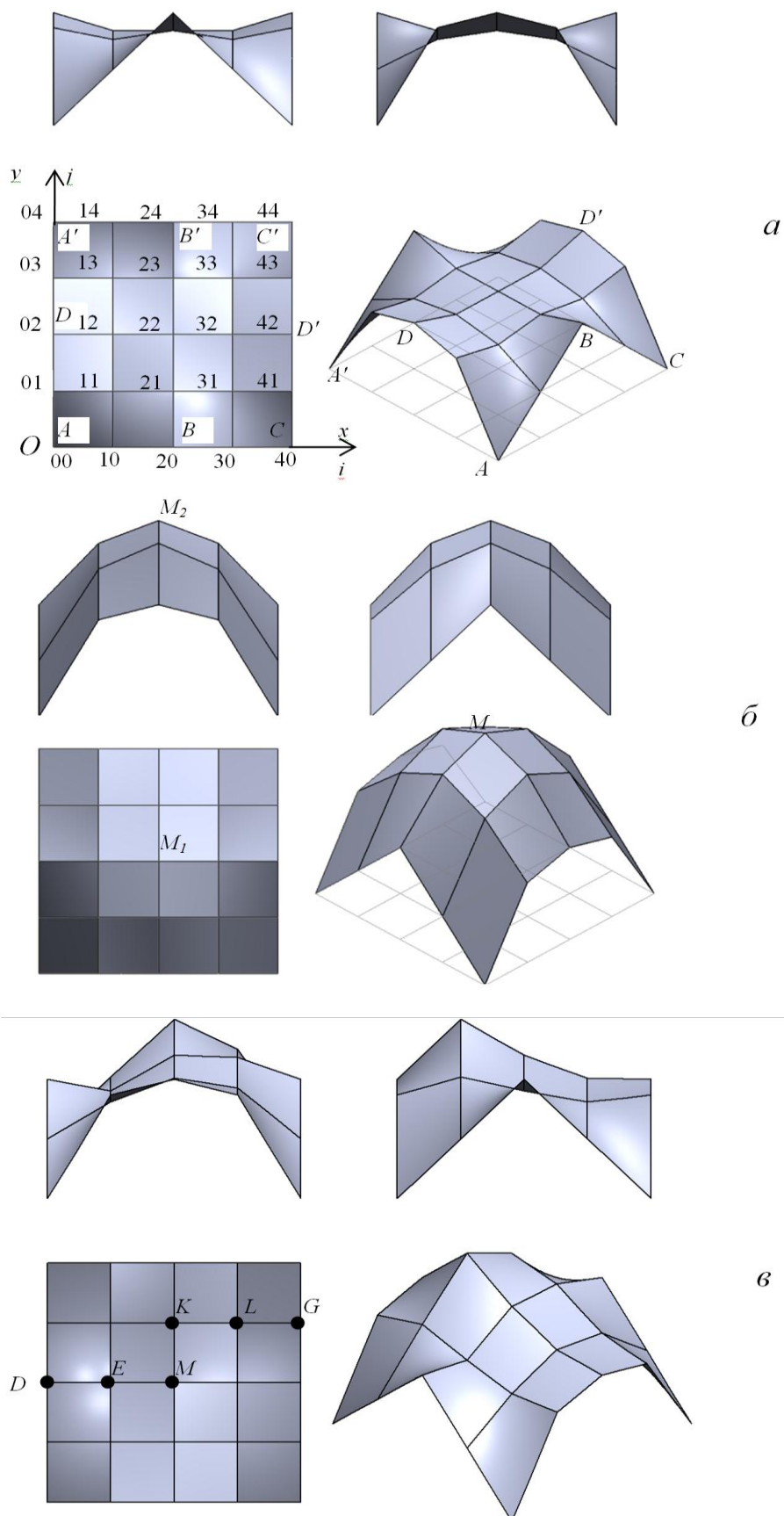


Рис. 1 Каркаси ДПП та приклади включення у каркаси додаткових заданих вузлів

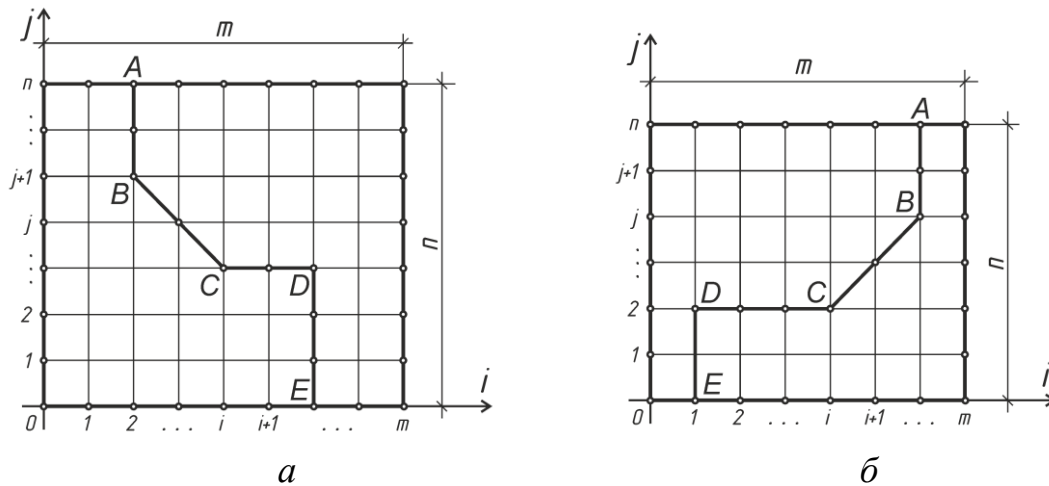


Рис. 2 Топологічні схеми сіток із заданими крайовими умовами та додатковими лініями і вузлами, які необхідно включити у каркас модельованої поверхні

Для збереження балансу між числом рівнянь і числом невідомих необхідно до системи рівнянь рівноваги вузлів додати $[3(m-1)(n-1)] - 3t$ рівнянь залежності між координатними складовими зовнішніх зусиль, що дорівнює числу невідомих координат внутрішніх вузлів сітки.

Тобто, необхідно записати рівняння залежності між координатними складовими зовнішніх зусиль, для кожного вузла сітки, координати якого невідомі. Такі рівняння для сіток з чотирикутними клітинами мають вигляд:

$$P_{i-1,j,u} + P_{i+1,j,u} + P_{i,j-1,u} + P_{i,j+1,u} - 4P_{i,j,u} = 0, \quad (5)$$

причому, слід задати величини $P_{i,0,u}$, $P_{i,n,u}$, $P_{0,j,u}$, $P_{m,j,u}$ координатних складових зусиль у вузлах всіх елементів $i=0$ і $j=0$ опорного контуру. Такі координатні складові можна задавати довільно і, тоді вони також будуть параметрами управління формою дискретної сітки модельованої поверхні.

Топологія сітки не впливає на алгоритм розв'язання задачі, але рівняння (5) повинно відповідати топології кожного вузла сітки.

Покажемо побудову стикованої ДПП до каркасу якої необхідно задати додаткові вузли та ламану.

Приклад 2 (рис. 3). Задано прямокутний план сітки із сторонами $m=200$ лін. од. і $n=160$ лін. од. з квадратними в плані клітинами і вздовж координатних напрямів $h=10$ лін. од. Вузли крайового контуру задано в симетричних площинах. Опорний контур складається з двох однакових дуг кіл $x^2 + (z-105)^2 = 145^2$, у площинах $y = \pm 80$ лін. од., і з двох ламаних $y \pm 2z \pm 80 = 0$ у двох паралельних площинах $x = \pm 100$ лін. од. при умові, що $0 \leq z \leq 40$.

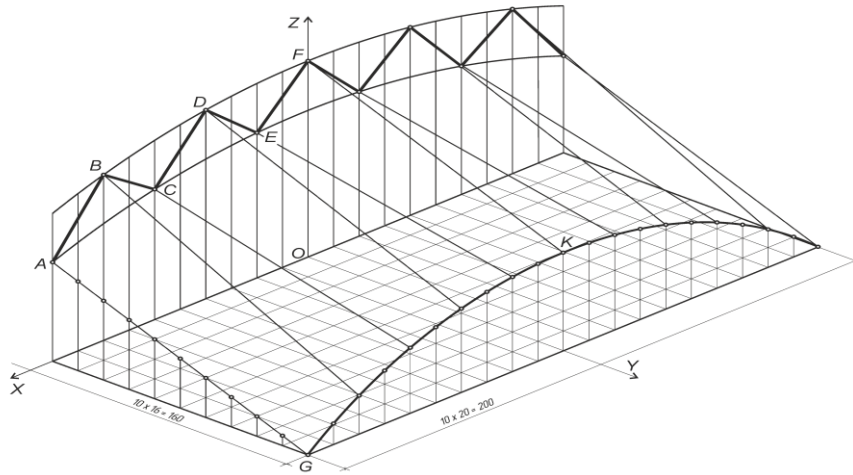


Рис. 3. Вихідні дані модельованої поверхні

На рис. 4, а представлено ламану $ABCDEF$, яку необхідно включити до дискретного каркаса ДПП. Вузли A, C, E ламаної та симетричні їм вузли відносно площини симетрії $x = 0$ належать колу (а) $x^2 + (z - 200)^2 - 260^2 = 0$ у площині $y = 0$, а вузли ламаної B, D, F та симетричні їм відносно площини симетрії $x = 0$ належать колу (б) $x^2 + (z - 180)^2 - 260^2 = 0$. Крок заданих вузлів ламаної опорного контура вздовж осі Ox дорівнює $h = 20$ лін. од. (рис. 4, а). Тоді, абсциси і аплікати вузлів ламаної $ABCDEF$ приймають значення:

$$\begin{aligned} x_A &= 100.0; z_A = 40.0; & x_D &= 40.0; z_D = 76.9050; \\ x_B &= 80.0; z_B = 67.3860; & x_E &= 20.0; z_E = 59.2300; \\ x_C &= 60.0; z_C = 52.9820; & x_F &= 0.0; z_F = 80.0; \end{aligned}$$

Геометричну форму інших елементів заданого опорного контура та положення їх вузлів представлено на рис. 4, б, в. Нумерація вузлів сітки відповідає топологічній схемі сітки, що представлено на рис. 4, г.

Зусилля зовнішнього формоутворюючого навантаження прийнято вертикальними і тому, клітини сітки у плані залишаються квадратними.

Рівняння рівноваги (3) вузлів сітки з урахуванням симетрії вихідних даних складаються для 1/4 частини плану. Ця система налічує 80 рівнянь, серед яких є рівняння рівноваги вузлів, аплікати яких невідомі, і рівняння рівноваги вузлів заданої ламаної лінії $ABCDEF$. Рівняння залежностей між величинами векторів зусиль зовнішнього навантаження (5), які додаються до системи (2).

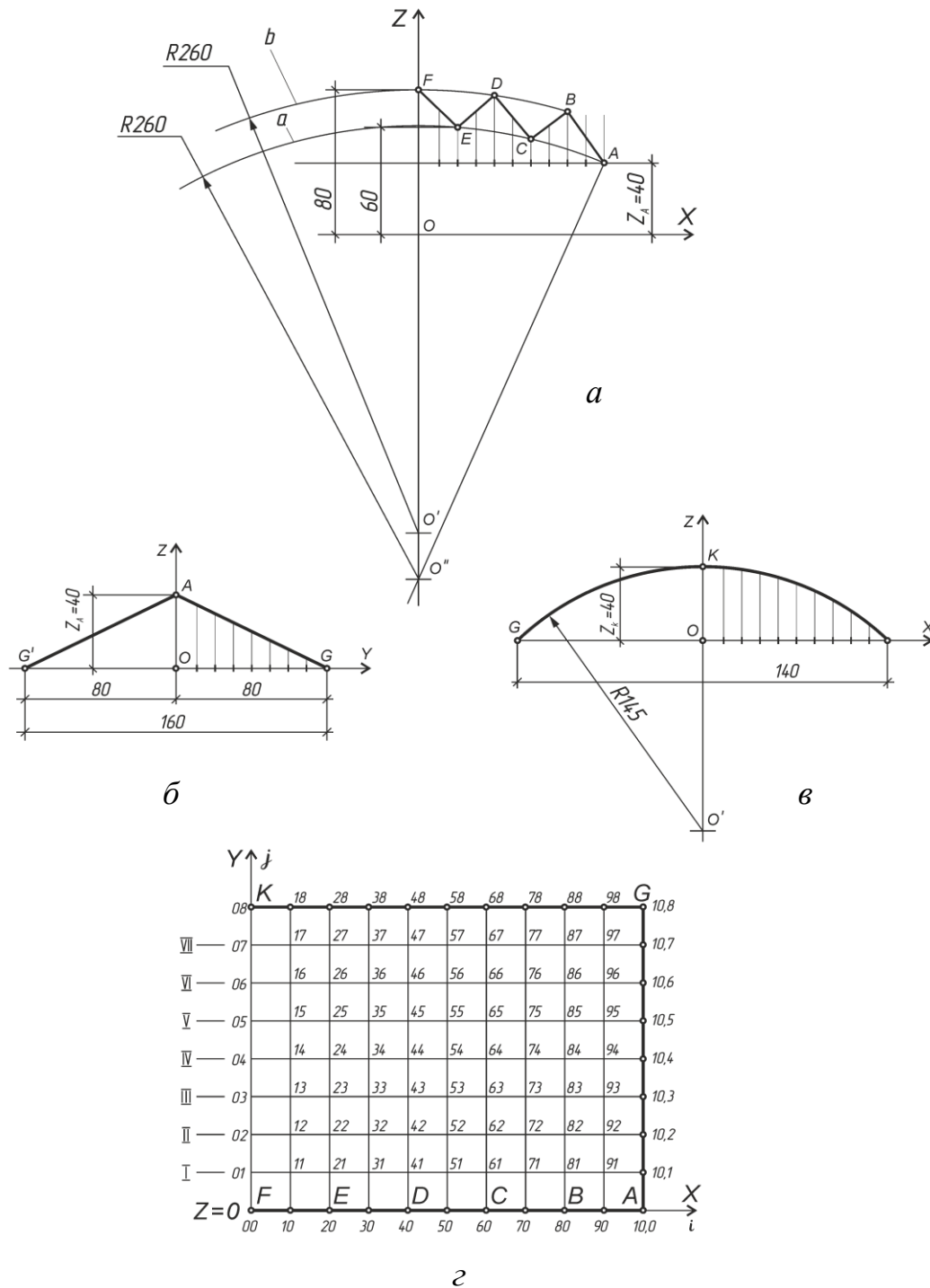


Рис. 4 Задані компоненти опорного контура поверхні та топологічна схема сітки

Величини координатних складових $P_{10,j,z}$, $P_{i,8,z}$ зусиль, що прикладено до вузлів опорного контуру по лініям $i=10$ і $j=8$ прийнято рівними одиниці. Система рівнянь залежностей зовнішніх зусиль налічує 70 рівнянь, які складаються тільки для вузлів, аплікати яких невідомі, тобто для всіх внутрішніх вузлів сітки крім вузлів ламаної $ABCDEF$. У цьому разі ДПП складається з двох частин, які гладко стикуються уздовж ламаної $ABCDEF$. Тоді, загальне число

рівнянь системи, яку необхідно розв'язати дорівнює сумі невідомих аплікаторів $z_{i,j}$ та невідомих координатних складових $P_{i,j,z}$ зовнішніх зусиль, і налічує 150 рівнянь. Система рівнянь залишається лінійною. За результатами розв'язання описаних систем рівнянь типу (3) і (5) на рис. 5 побудовано проєкції та аксонометрію дискретного каркаса стикованої поверхні.

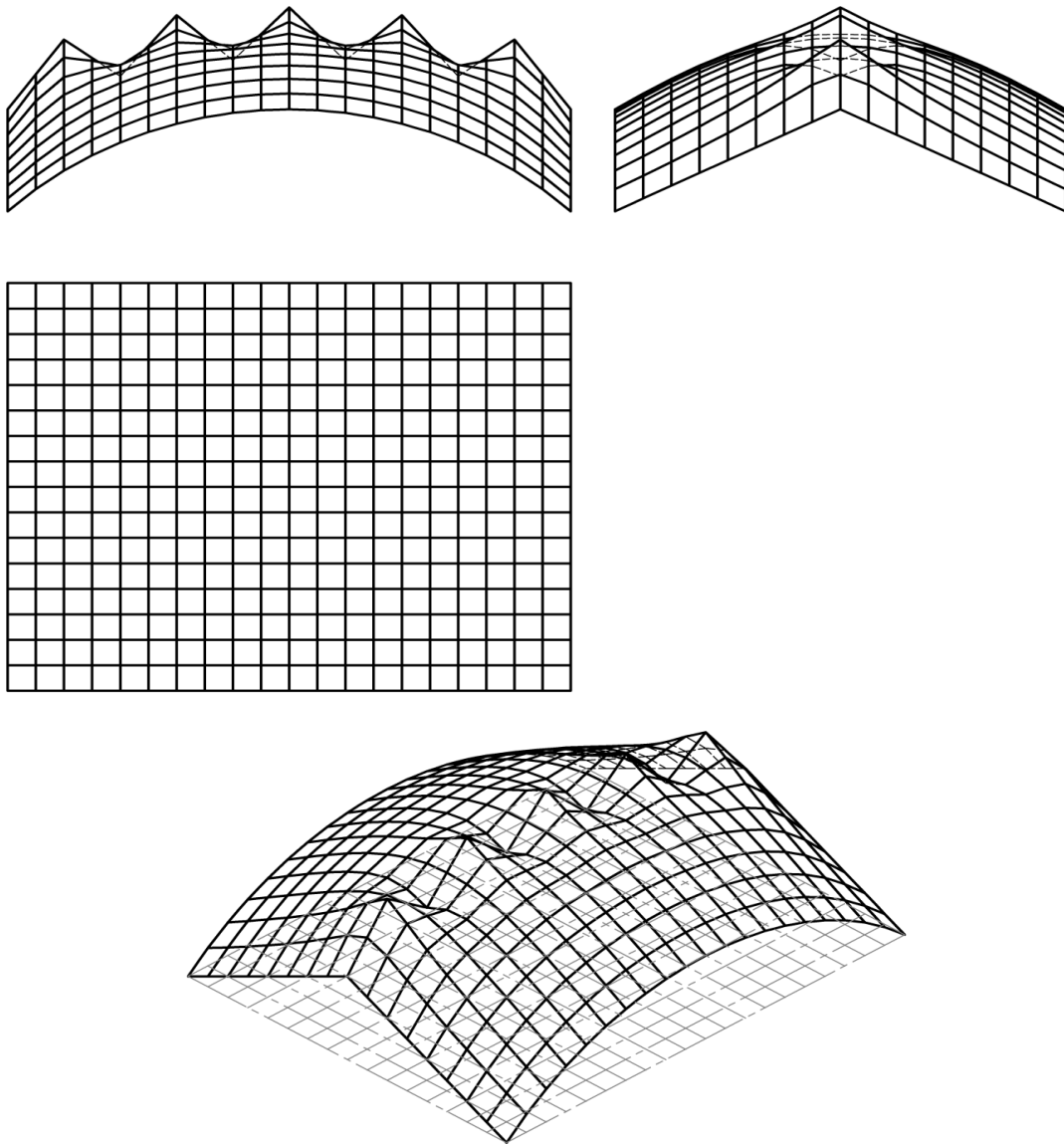


Рис. 5. Дискретний каркас поверхні, яка моделюється із заданою додатковою лінією каркаса ДПП

Висновки. До параметрів форми модельованої ДПП, серед інших, належать координати вузлів опорного контура, або будь які інші задані вузли. Крім того параметрами ДПП виступають зовнішні формоутворюючі зусилля, прикладені до вузлів сітки, включаючи вузли опорного контура. Змінюючи ці параметри можна отримати нескінчену множину різноманітних дискретних каркасів поверхонь на заданих опорних контурах, серед яких можна обрати саме ту форму, яка буде задовольняти поставленим вимогам.

Крім того, змінюючи ці параметри, можна міняти дискретний каркас вже обраної поверхні, задаючи все нові додаткові вузли або лінії як вихідні умови це, в свою чергу, дозволить керувати формою поверхні, що моделюється.

Література

1. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций. Дис.....док. техн. наук: спец. 05.01.01 "Прикладна геометрія та інженерна графіка" / С.Н. Ковалёв. – М.: МАИ, 1986. – 348с.
2. Ковальов, С.Н. Геометричне моделювання поверхонь із заданими властивостями в дизайні та архітектурі / С.Н. Ковальов, С.І. Ботвіновська, А.В. Золотова // Управління розвитком складних систем. – 2016. - № 26.
3. Золотова А.В. Дискретна двовимірна кускова інтерполяція з другим порядком гладкості стикування порцій [Текст] / А.В.Золотова // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 179 – 184.
4. Ботвіновська С.І. Моделювання криволінійних поверхонь об'єктів дизайну та управління їх формою [Текст] / С.І.Ботвіновська // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Сучасні проблеми архітектури та містобудування». – Київ: КНУБА, 2017. – Вип. 47. – С.451-457.
5. Ковальов С.М. Формування дискретного ряду точок складених кривих ліній під дією нормального навантаження [Текст] / С.М.Ковальов, С.І.Ботвіновська, А.В. Золотова, С.О.Лось // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон.: ХНТУ, 2017. – Вип. 3(62). Т.2. -352 с. С. 278-284.
6. Ботвіновська С.І. Керування формою дискретно представлених поверхонь за рахунок варіювання параметрів зовнішнього формоутворюючого навантаження [Текст] / С.І.Ботвіновська // Журнал «Проблеми інформаційних технологій» № 22/2017: Херсонський національний технічний університет #01(022) грудень 2017. – С. 63-69.

УПРАВЛЕНИЕ ФОРМОЙ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗА СЧЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ В ЕЕ КАРКАС ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ И ЛИНИЙ

Ботвиновская С.И., Золотова А.В.

В статье рассмотрены теоретические вопросы управления формой дискретно представленной поверхности, каркас которой получен с использованием статико-геометрического метода (СГМ), путем включения в этот каркас заданных узлов в качестве исходных данных. Отличительной особенностью такого подхода является возможность получения большого разнообразия форм единой (не составной) криволинейной поверхности в процессе архитектурного проектирования. Это может стать определяющим моментом при выборе метода моделирования. Представленные задачи решены с учетом проведенного параметрического анализа, который позволил найти функциональные зависимости между неизвестными и заданными параметрами поверхности и далее использовать их для решения задач с различными исходными данными.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, параметрический анализ, внешняя формообразующая нагрузка, дискретный каркас, статико-геометрический метод

CONTROLLING THE FORM OF THE SURFACE REPRESENTED DISCRETELY BY INCLUDING GIVEN NODES

Botvinovska S., Zolotova A.

In this article are considered the theoretical problems how to control the shape of a discretely presented surface, the skeleton of which is obtained using SGM, by using as initial data the given nodes included into the framework. A distinctive feature of this approach is the possibility of obtaining a wide variety of forms of a single (not composite) curved surface in the process of architectural design. This can become a defining criterion of choosing the modeling method. The presented problems are solved with taking into account the parametric analysis that has made it possible to find functional dependencies between unknowns and given surface parameters and then to use them for solving problems with different initial data.

Keywords: geometric modeling, parametric analysis, external form-building load, discrete skeleton, static-geometric method.

УДК 514.18

ТОЧКОВЕ УПРАВЛІННЯ ФОРМОЮ Б-ФІГУР

Верещага В.М., д.т.н.,

Найдиш А.В., д.т.н.

Мелітопольська школа прикладної геометрії

Мелітопольський державний педагогічний університет

імені Богдана Хмельницького (Україна)

Надається означення БН-інтерполяції та БН-матриць, вказується на їх відмінність у позначеннях та створенні від інших матриць. Коротко пояснюються дії над БН-матрицями, вказується на можливості та переваги їх застосування у композиційному методі геометричного моделювання багатofакторних процесів.

Ключові слова: БН-інтерполяція, БН-матриця, композиційна геометрична модель, точкове числення Балюби-Найдиша (БН-числення).

Постановка проблеми. Традиційні алгебраїчні методи інтерполяції зв'язують координати вихідних точок геометричної фігури на самому початку розв'язання будь-якої задачі, що значно обмежує можливості проведення комп'ютерних експериментів з моделлю. Зв'язування параметрів та точок геометричної фігури відбувається шляхом розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь або нерівностей. БН-інтерполяція взагалі позбавляє необхідності складати та розв'язувати системи лінійних рівнянь, тому що умови інтерполяції у ній забезпечуються властивостями самої геометричної фігури та відповідними графічними алгоритмами побудови поточної точки для цієї фігури. Графічні алгоритми побудови поточної точки геометричної фігури легко формалізуються, у вигляді параметричних точкових рівнянь, методами БН-числення. Виходячи зі сказаного, дослідження властивостей геометричних фігур з метою розширення можливостей методів БН-інтерполяції є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ідея, необхідність та можливість введення поняття БН-інтерполяції та БН-матриць стали можливими лише з розробкою точкового БН-числення [1]. Поступовий розвиток досліджень [2-8] привели до теперішнього рівня розуміння БН-інтерполяції та БН-матриць, який викладено у цій статті.

Формулювання цілей статті. Спираючись на здобутий досвід

дослідження з питань БН-інтерполяції та застосування БН-матриць, викласти сучасний погляд щодо їх розуміння.

Основна частина. Під БН-інтерполяцією будемо розуміти знаходження, шляхом геометричної формалізації, обраної геометричної фігури, яка б, на основі її властивостей та взаємозв'язків між елементами, забезпечувала б проходження через, заздалегідь обрані, вихідні точки цієї геометричної фігури.

Геометрична формалізація – розв'язання, методами БН-числення, задачі і подання розв'язку, у БН-координатах, у вигляді параметричних точкових форм або у вигляді параметричної моделі, що являє собою параметричну БН-матрицю.

Методи БН-числення – тлумачать правила операцій над точками, використовують локальні симплекси, що включають параметри положення геометричної фігури відносно вихідної системи координат, і, за допомогою яких визначається у БН-координатах уся множина точок n -простору, надають способи побудови, у БН-координатах, геометрично визначених форм через операції над точками з використанням методів елементарної алгебри.

Методи БН-числення відштовхуються від реальної вихідної геометричної схеми з визначенням геометричним алгоритмом (способом) побудови поточної точки, надають змогу виконувати відтворення множини точок геометричного об'єкту у вигляді точкових форм.

Заміна, або навіть, часткова зміна, вихідної геометричної схеми – змінює спосіб побудови точок геометричного об'єкту і, як наслідок, змінюється шукана точкова форма.

Як різні способи побудови одного і того ж геометричного об'єкта надають одну і ту саму множину точок, так і, відповідні різним способам, точкові форми будуть визначати один і той самий геометричний об'єкт.

У точковому БН-численні геометрична схема є основою, наявність якої є початком будь-якого геометричного алгоритму побудови об'єкту.

У методах БН-числення вихідна схема є основою для геометричної інтерпретації, що пояснює аналітичні розв'язки.

БН-матриця параметрична (параметрична БН-матриця) – прямокутна таблиця, елементами якої є параметри форми геометричної фігури, що упорядковані методами БН-числення відповідно до її однієї або декількох властивостей, які розташовані у відповідності із взаємопов'язаними з ними точками на геометричній фігурі, подвійні індекси яких (БН-матриці параметричної та БН-матриці точкової) співпадають.

Елементи параметричної БН-матриці являють собою БН-

координати поточної точки геометричної фігури відносно вершин локального симплексу, обраного для цієї геометричної фігури.

Суперпозиція (сума) усіх елементів параметричної БН-матриці дорівнює одиниці.

Для однієї геометричної фігури можна скласти декілька параметричних БН-матриць в залежності від мети дослідження і, у відповідності до мети, необхідності проведення певних розрахунків.

Параметрична БН-матриця обраної геометричної фігури є усталеною і являє собою модель, що відповідає меті дослідження, геометричної фігури.

Параметрична БН-матриця забезпечує БН-інтерполяцію вихідних точок геометричної фігури.

Параметрична БН-матриця не змінюється за результатами якісної зміни точок геометричної фігури.

Параметричні БН-матриці не припускають операцій над ними окрім випадків поєднання моделей геометричних фігур, яке виявляється у вигляді множення двох параметричних БН-матриць.

БН-матриця з точок (точкова БН-матриця) – прямокутна таблиця, елементами якої є точки геометричної фігури, розташування яких у БН-матриці повністю співпадає з їхнім розташуванням на вихідній геометричній фігурі. Така відповідність елементів точкової БН-матриці та точками геометричної фігури названа упорядкованістю точкової БН-матриці.

Точкова БН-матриця є композицією з довільно обраних точок геометричної фігури. Під словом “композиція” треба розуміти, що заміна одного або декількох одночасно її елементів не тягне за собою зміни інших, що залишилися, елементів.

Більше того, у процесі дослідження моделі геометричної фігури можна одночасно змінювати усі елементи точкової БН-матриці, тобто якісно її змінювати. Єдине обмеження, яке існує у таких діях, це неприпустимість зміни кількості точок геометричної фігури, тому що зміна кількості точок призводить до зміни її властивостей, тобто до зміни параметричної БН-матриці.

БН-матриця геометричної фігури M_B – прямокутна таблиця, що є моделлю вихідної геометричної фігури, упорядковує її методами БН-числення, елементи якої утворюються як добуток елементів параметричної БН-матриці та відповідних елементів точкової БН-матриці, тобто, подвійні індекси у множників є однаковими.

БН-матриця геометричної фігури M_B є композиційною моделлю дискретно поданого вихідного сегменту Б-фігури.

Кожен елемент БН-матриці геометричної фігури M_B визначає долю участі відповідної точки у визначенні поточної точки M для Б-фігури.

Модель Б-фігури – те саме, що і БН-матриця геометричної фігури M_B .

Наведені вище означення входять до складу композиційного методу геометричного моделювання, у якому параметри положення геометричної фігури відносно глобальної системи координат не розглядаються взагалі, через застосування методів БН-числення. Розглядаються лише параметри форми геометричної фігури та точки, що утворюють геометричну фігуру. При цьому, окремо розглядаються параметри форми і точки. Параметри форми утворюють модель, що є незмінною для обраної геометричної фігури. А з точок утворюється композиція, змінюючи яку можна керувати формою Б-фігури.

Висновки. Композиційний метод геометричного моделювання докорінно відрізняється від усіх існуючих наразі методів геометричного моделювання передусім своєю філософією поділення геометричних фігур окремо на параметри форми, на параметри положення та вихідні точки геометричної фігури. Така філософія дозволяє розв'язувати багатофакторні багатовимірні задачі, що дозволяє приймати складні, вмотивовані управлінські рішення.

Література

1. Балюба І.Г., Найдиш В.М. Точкове числення: Навчальний посібник, під ред. Верещаги В.М. – Мелітополь: вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. – 234 с.
2. Адоньєв Є.О., Верещага В.М. Визначення та аналіз параболічної поверхні Балюби (БПП) / Є.О. Адоньєв, В.О. Верещага // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (108). – Дніпро, 2017. – С. 3-11.
3. Верещага В.М., Адоньєв Є.О. Композиційний метод утворення Б-поверхонь / В.М. Верещага, Є.О. Адоньєв // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – Луцьк.: Луцький національний технічний університет, 2017. – №26. – С. 36-41.
4. Адоньєв Є.О., Верещага В.М., Найдиш А.В. Алгоритм формування моделей багатофакторних процесів композиційного методу / Є.О. Адоньєв, В.М. Верещага, А.В. Найдиш // Збірник доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених». – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – Випуск 6 – С. 12–18.
5. Адоньєв Є.О. Композиційний метод геометричного моделювання: суть, особливості та перспективи застосування / Є.О. Адоньєв // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – Мелітополь:

Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. – Вип. 8. – С. 3-14.

6. Адоньєв Є.О., Верещага В.М. Особливості Б-ліній, Б-поверхонь, визначення, переваги та можливості застосування у композиційному методі геометричного моделювання / Є.О. Адоньєв, В.М. Верещага // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип. 3(62). Т.2. – С. 249-255.
7. Адоньєв Є.О., Верещага В.М. Розробка та дослідження властивостей геометричних матриць / Є.О. Адоньєв, В.М. Верещага // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: ХПІ, 2017. – №33(1255) – С. 13-17.
8. Adoniev Y., Vereshchaga V. Technology of The Use of Geometric Matrixes for the Development of B-Surface Equations / Y. Adoniev, V. Vereshchaga // Intellectual Archive: Shiny Word Corp. Concord, Ontario, Canada. Volume 6, Number 6, September/October of 2017, p. 19-25.

ТОЧЕЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФОРМОЙ Б-ФИГУР

Верещага В.М., Найдыш А.В.

Представлено определение БН-интерполяции и БН-матриц, указывается на их отличие в обозначениях и получении от традиционных матриц. Кратко объяснены действия над БН-матрицами, указывается на возможности и преимущества их использования в композиционном методе геометрического моделирования многофакторных процессов.

Ключевые слова: БН-интерполяция, БН-матрица, композиционная геометрическая модель, точечное исчисление Балюбы-Найдиша (БН-исчисление).

POINT CONTROL OF THE FORM OF B-FIGURES

Vereshchaga V., Naidysh A.

The definition of BN-interpolation and BN-matrices is presented, their difference in notation and obtaining from traditional matrices is pointed out. The actions on BN-matrices are briefly explained, the possibilities and advantages of their use in composite method of geometric modeling of multifactor processes are pointed out.

Keywords: BN-interpolation, BN-matrix, composite geometric model, point calculation of Balyuba-Naidish (BN-calculus).

УДК 514.18

АНАЛІТИЧНІ ФОРМУЛИ ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ СУПЕРПОЗИЦІЇ ДИСКРЕТНО ВИЗНАЧЕНИХ КРИВИХ

Воронцов О.В., к.т.н.,

Тулупова Л.О., к.ф.-м.н.

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка (Україна),*

Воронцова І.В., к.пед.н.

*Полтавський коледж нафти і газу Полтавського національного
технічного університету імені Юрія Кондратюка (Україна)*

У статті розглянуто спосіб визначення замкнених форм аналітичних залежностей обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції координат заданих точок дискретних аналогів елементарних функцій. Запропонований спосіб дозволить формувати за допомоги апарату суперпозицій дискретні одновимірні геометричні образи, вузлові точки яких будуть належати відповідним елементарним функціям.

Ключові слова: одновимірні геометричні образи, дискретно визначені криві, числові послідовності, геометричний апарат суперпозицій, коефіцієнти суперпозицій, величина рекурентної залежності.

Постановка проблеми. Ефективність методик дискретного формування як одновимірних так і n -вимірних геометричних образів (ГО) у великій мірі залежить від ефективності алгоритмів переходу від неперервної форми представлення геометричних образів до їх дискретних аналогів і навпаки.

Такі алгоритми розроблені у [1] за допомогою математичного апарату числових послідовностей. Координати вузлів модельованих дискретних аналогів кривих визначаються за відомими координатами суміжних вузлів. Дискретно представлені криві (ДПК) подаються координатами вузлів із рівномірним кроком по осі. Геометричний апарат суперпозицій дозволяє підвищити ефективність даних алгоритмів за рахунок економії обчислювальних ресурсів при формуванні ДПК вузлами із довільними кроками по осі за даними координатами довільних вузлів.

Дослідження можливостей геометричного апарату суперпозицій щодо формування дискретно визначених ГО сприятиме подальшому розвитку і удосконаленню математичних моделей у процесі конструювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1-8] авторів даної статті показано підходи до визначення дискретних аналогів певних функціональних залежностей на основі геометричного апарату суперпозицій одновимірних точкових множин, що дозволяє формувати дискретні образи без складання і розв'язання громіздких систем рівнянь. Управління формою дискретно представлених кривих здійснюється варіюванням величинами коефіцієнтів суперпозиції.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є дослідження загального підходу до визначення замкнених форм аналітичних залежностей обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції координат заданих точок дискретних аналогів елементарних функцій, що дозволить формувати за допомоги апарату суперпозицій дискретні одновимірні геометричні образи, вузлові точки яких будуть належати відповідним елементарним функціям.

Основна частина. Розглянемо можливий підхід до визначення замкнених форм аналітичних залежностей обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції координат заданих точок дискретних аналогів деяких елементарних функцій.

Для числової послідовності

$$y_i = ai^2 + bi + c, \quad (1)$$

що є дискретним аналогом у замкненій формі поліному другого степеня, рекурентна формула обчислення координат невідомих точок на основі суперпозицій координат заданих вузлових точок має вигляд:

$$y_i = k_1 y_{i-1} + k_2 y_{i+1} + P_i, \quad (2)$$

де P_i – величина рекурентної залежності.

За умови $k_1 + k_2 = 1$, формула (2) матиме вигляд:

$$y_i - k_1(y_{i-1} - y_{i+1}) - y_{i+1} - P_i = 0, \quad (3)$$

Для суміжних членів даної послідовності зможемо записати:

$$y_{i-1} = a(i-1)^2 + b(i-1) + c, \quad (4)$$

$$y_{i+1} = a(i+1)^2 + b(i+1) + c. \quad (5)$$

Підставивши (1), (4), (5) до (2), одержимо:

$$ai^2 + bi + c = k_1[a(i-1)^2 + b(i-1) + c] + k_2[a(i+1)^2 + b(i+1) + c] + P_i.$$

Знайдемо загальні вирази для визначення величин коефіцієнтів суперпозиції у вигляді аналітичних залежностей у замкненій формі.

Для довільних членів послідовності (1) формула (2) матиме вигляд (6):

$$y_{i+p} = k_1 y_{i+p_1} + k_2 y_{i+p_2} + P_{i+p}, \quad (6)$$

або, за умови $k_1 + k_2 = 1$:

$$y_{i+p} - k_1(y_{i+p_1} - y_{i+p_2}) - y_{i+p_2} - P_{i+p}, \quad (7)$$

де i , p , p_1 , p_2 – довільні числа, P_i – величина рекурентної залежності.

Тоді зможемо записати:

$$a(i+p)^2 + b(i+p) + c = k_1[a(i+p_1)^2 + b(i+p_1) + c] + k_2[a(i+p_2)^2 + b(i+p_2) + c] + P_{i+p}.$$

Із (7) одержимо вирази, що визначають взаємозв'язок коефіцієнтів суперпозиції та величини рекурентної залежності для послідовності (1):

$$k_1 = \frac{P_{i+p} - y_{i+p} + y_{i+p_2}}{y_{i+p_2} - y_{i+p_1}}.$$

Формули для обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції не суміжних, а довільних заданих вузлових точок) матимуть вигляд:

$$k_1 = \frac{P_{i+p} + 2ai(p_2 - p) + a(p_2^2 - p^2) + b(p_2 - p)}{2ai(p_2 - p_1) + a(p_2^2 - p_1^2) + b(p_2 - p_1)};$$

$$k_2 = 1 - k_1 = \frac{2ai(p - p_1) + a(p^2 - p_1^2) + b(p - p_1) - P_{i+p}}{2ai(p_2 - p_1) + a(p_2^2 - p_1^2) + b(p_2 - p_1)}.$$

Наприклад, для довільних членів послідовності (8) рекурентна формула обчислення координат невідомих точок на основі суперпозицій координат заданих вузлових точок також матиме вигляд (6).

$$y_i = \frac{ai + b}{ci + d} \quad (8)$$

Якщо ввести позначення: $A = ai + b$, $S = ci + d$, то після відповідних розрахунків одержимо формули для визначення величини рекурентної залежності у вигляді:

$$P_{i+p} = \frac{(ad - bc)[(p_1 - p_2)k_1(S - cp) + (p_2 - p)(S + cp_1)]}{(S + cp)(S + cp_1)(S + cp_2)},$$

а також – формули для обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції:

$$k_1 = \frac{(S + cp_1) \cdot [P_{i+p}S^2 + cSP_{i+p}(p + p_2) + (ad - bc) \cdot (ad - bc) \cdot (S + cp) \cdot (p_2 - p) + c^2P_{i+p}pp_2]}{(ad - bc) \cdot (S + cp) \cdot (p_2 - p_1)};$$

$$k_2 = - \frac{(S + cp_2) \cdot [P_{i+p}S^2 + cSP_{i+p}(p + p_1) + (ad - bc) \cdot (ad - bc) \cdot (S + cp) \cdot (p_1 - p) + c^2P_{i+p}pp_1]}{(ad - bc) \cdot (S + cp) \cdot (p_2 - p_1)}.$$

Висновки. Уданій роботі запропоновано загальний підхід до виведення формул для обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції

та величини рекурентної залежності, що дозволяє дискретно визначати координати точок модельованих кривих ліній за заданими координатами двох довільних точок цих кривих, а також дозволяють переходити від дискретної до континуальної форми представлення одновимірних геометричних образів.

Дані дослідження можуть бути використані для розв'язання задач дискретної інтерполяції як одновимірними так і n -вимірними числовими послідовностями елементарних функціональних залежностей.

Література

1. Воронцов О.В. Визначення дискретного аналогу полінома n -го степеня суперпозиціями точок числової послідовності n -го порядку / О.В. Воронцов // Прикладна геометрія та інженерна графіка: зб. наук. праць. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 63 – 67.
2. Воронцов О.В. Дискретна інтерполяція суперпозиціями точок числових послідовностей дробово-лінійних функцій / О.В. Воронцов, Н.О. Махінко // Прикладна геометрія та інженерна графіка: праці ТДАТА. – Мелітополь: ТДАТА, 2013. – Т. 57. – Вип. 4. – С. 62 – 67.
3. Воронцов О.В. Определение дискретных аналогов классов элементарных функций суперпозициями одномерных точечных множеств [Электронный ресурс] / О.В. Воронцов, Л.О. Тулупова // Universsum. Сер.: Технические науки: электрон. научн. журн. – 2014. – № 3(4). Режим доступа: URL: <http://7universsum.com/ru/tech/archive/item/1135>.
4. Воронцов О.В. Моделювання об'єктів будівництва та машинобудування довільними дискретними значеннями числових послідовностей / О.В. Воронцов // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(39). – С. 25 – 35.
5. Vorontsov O.V. Parabolic discrete interpolation by superpositions of one-dimensional point sets / O.V. Vorontsov, L.O. Tulupova, I.V. Vorontsova // Journal of Engineering Education. – 2018. – Volume 107 (2). – P. 134 – 140.
6. Vorontsov O.V. Superpositions of one-dimensional numerical sequences of hyperbolic functions in creation of geometrical images / O.V. Vorontsov, L.O. Tulupova // Canadian Journal of Education and Engineering. – 2015. – Volume III (12). – P. 74 – 80.
7. Vorontsov O.V. Recurrence formulae of a catenary in creation of geometric images / O.V. Vorontsov, L.O. Tulupova // Oxford Journal of Scientific research. – 2015. – Volume IV (9). – P.134 – 140.

8. Vorontsov O.V. Superposition point set of n-dimensional numerical sequence in discrete geometric modeling / O.V. Vorontsov // British Journal of science, Education and culture. – 2014. – Volume I (6). – P.137 – 144.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СУПЕРПОЗИЦИИ ДИСКРЕТНО ОПРЕДЕЛЕННЫХ КРИВЫХ

Воронцов О.В., Тулупова Л.А., Воронцова И.В.

В статье рассмотрен способ определения замкнутых форм аналитических зависимостей вычисления величин коэффициентов суперпозиции координат заданных точек дискретных аналогов элементарных функций. Предложенный способ позволит формировать с помощью аппарата суперпозиций дискретные одномерные геометрические образы, узловые точки которых будут принадлежать соответствующим элементарным функциям.

Ключевые слова: одномерные геометрические образы, дискретно определенные кривые, числовые последовательности, геометрический аппарат суперпозиций, коэффициенты суперпозиции, величина рекуррентной зависимости.

ANALYTICAL FORMULAE FOR CALCULATING SUPERPOSITION COEFFICIENTS OF DISCRETELY DEFINED CURVES

Vorontsov O., Tulupova L., Vorontsova I.

In this article it was proposed a determining method of the closed forms of analytical dependencies for calculating superposition coefficients of the coordinates of given points of discrete analogues of elementary functions. This method allows forming discrete one-dimensional geometric images, using a superposition apparatus. Nodal points of these geometric images will belong to corresponding elementary functions.

Keywords: one-dimensional geometric images, discretely defined curves, numerical sequences, geometric apparatus of superpositions, superposition coefficients, value of recurrence dependence.

УДК 514.18

ФОРМИРОВАНИЕ ДПК НА УЧАСТКАХ, СОДЕРЖАЩИХ ОСОБЫЕ ТОЧКИ

Гавриленко Е.А., к.т.н.,

Холодняк Ю.В., к.т.н.

Мелитопольская школа прикладной геометрии

Таврический государственный агротехнологический университет

(г. Мелитополь, Украина)

В работе рассматривается задача формирования участков дискретно представленной кривой, которые содержат особые точки. Положение особой точки определяется внутри области возможного решения задачи.

Ключевые слова: дискретно представленная кривая, особая точка, гранная полярная поверхность, область расположения кривой.

Постановка проблемы. Дискретно представленная кривая (ДПК) формируется сгущением исходного точечного ряда произвольной конфигурации по участкам, на которых возможно обеспечить монотонное изменение значений ее характеристик. Монотонные участки стыкуются в особых точках.

При формировании ДПК содержащей минимальное по условиям задачи число особых точек определяется область возможного расположения монотонных участков и участков содержащих особые точки. В процессе последовательных сгущений (увеличения количества узлов, которые представляют кривую) диапазон возможного расположения ДПК уменьшается. Задачу формирования ДПК будем считать решенной, когда размеры области ее возможного расположения не превышают заданного значения.

Наличие локализуемой в результате сгущений области возможного расположения ДПК – необходимое условие формирования точечного ряда принадлежащего кривой с заданными геометрическими свойствами.

Анализ последних исследований и публикаций. Способ формирования ДПК на основе области ее возможного расположения предложен в [2]. ДПК представлена пространственным точечным рядом. Каждые три последовательные точки определяют плоскость, которая названа прилегающей (ПП). Четыре последовательные ПП, проходящие через i -ю и $i+1$ -ю точки ограничивают прилегающий тетраэдр (ПТ). Цепочка последовательных ПТ, определенных на всех

участках, является областью расположения кривой линии постоянного хода, интерполирующей исходный точечный ряд. Назначение точек сгущения в пределах прилегающих тетраэдров гарантирует постоянный ход формируемой ДПК.

Геометрические характеристики пространственной кривой линии могут определяться через параметры ее полярного торса [1]. Полярный торс является огибающей поверхностью нормальных плоскостей кривой линии. Ребро возврата полярного торса – геометрическое место соприкасающихся сфер кривой. Касательные к ребру возврата – оси кривизны, на которых расположены центры соприкасающихся окружностей. Кривая линия (l) рассматривается как траектория движения точки M , принадлежащей нормальной плоскости N , обкатывающей полярный торс (рис. 1).

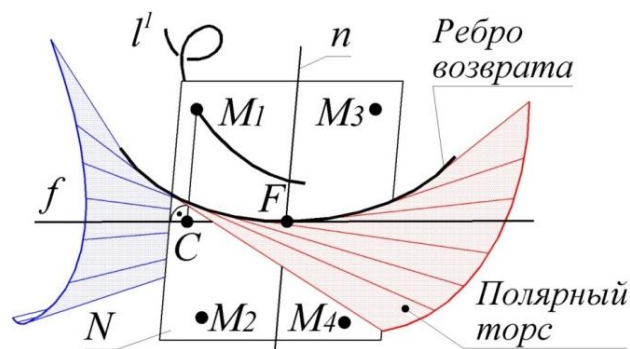


Рис. 1. Формирование пространственной кривой линии

Параметры полярного торса однозначно определяют кривизну, кручение, радиусы соприкасающихся сфер и динамику изменения их значений вдоль кривой.

Способ формирования монотонных ДПК, вдоль которых радиусы кривизны и соприкасающихся сфер монотонно возрастают или убывают предложен в [3]. Кривая формируется на основе дискретного аналога полярного торса – гранной полярной поверхности (ГПП). ГПП образована участками плоскостей (P_i), перпендикулярных хордам, соединяющим последовательные исходные точки, и проходящих через середины хорд (рис. 1).

Прямые пересечения перпендикулярных плоскостей являются аналогами осей кривизны формируемой кривой, а ломанная, образованная этими прямыми, представляет ребро возврата полярного торса.

Положение точек сгущения в плоскостях P_i , определяется вновь сформированными звеньями ломаной возврата, граничные точки которых принадлежат исходным звеньям.

Формулировка целей статьи. Разработать единую методику формирования участков дискретно представленной кривой, содержащих особые точки.

Основная часть. Кривую линию можно рассматривать, как состоящую из участков постоянного хода, вдоль которых радиусы кривизны и соприкасающихся сфер возрастают или убывают. Монотонные участки стыкуются в особых точках.

Особые точки можно разделить на точки стыковки монотонных кривых, определяемых одним полярным торсом и точки стыковки монотонных кривых, определяемых различными полярными торсами.

Зависимость между свойствами полярного торса и наличием особой точки рассмотрим на примере точки смены хода кривой.

Пусть кривая l^i определяется перемещением точки M_1 , принадлежащей четверти нормальной плоскости N , накатывающейся на полярный торс (рис. 1). После перехода точки M_1 через ось кривизны, по которой плоскость N касается полярного торса, она располагается на четверти плоскости N , скатывающейся с полярного торса (на рис. 1 это четверть расположения точек M_2). При этом ход кривой меняется. В остальных случаях точке смены хода соответствует ось кривизны, по которой соприкасаются полярные торсы, определяющие различные монотонные кривые.

Кривая линия располагается по одну сторону от соприкасающейся плоскости в окрестности точки смены хода. Аналогично исходные точки ДПК располагаются по одну сторону прилегающей плоскости (ПП), соответствующей особому участку. На рис. 2 это плоскость $ПП_i$.

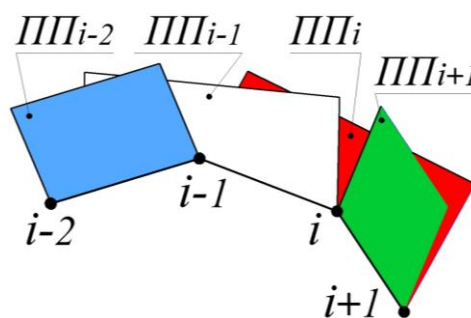


Рис. 2. Расположение ПП на участке смены хода ДПК

Особому участку ДПК соответствует участок стыковки ГПП. Если участком, содержащим точку смены хода назначен участок $i-1 \dots i$ или $i \dots i+1$, то кривая может быть сформирована с единственной особой точкой.

Участок стыковки определяется плоскостями P_i и P_{i+1} , которые пересекаются по прямой, проходящей через центр сферы (T_i), определяемой точками $i-1$, i , $i+1$, $i+2$, и центр окружности (C_i) (C_i),

определяемой точками $i-1, i, i+1$ (рис. 3).

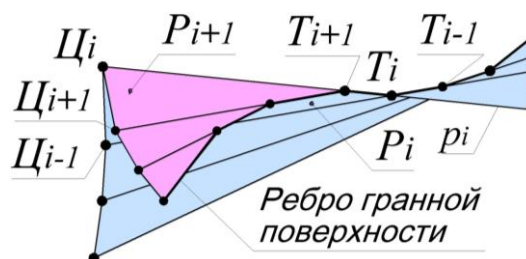


Рис. 3. ГПП, определяющие участок смены хода ДПК

Область возможного расположения точки сгущения на участке $i \dots i+1$ ограничена прямыми пересечения плоскости P_i и прилегающих плоскостей: $ПП_{i-1}, ПП_i, ПП_{i+1}, ПП_{i+2}$.

На особом участке область возможного расположения точки сгущения разделена на два треугольника: K_iBD и K_iAC , где K_i – середина хорды $[i \dots i+1]$ (рис. 4,а). На рис. 4,б, для сравнения, показана область возможного расположения точки кривой постоянного хода – четырехугольник K_iCED .

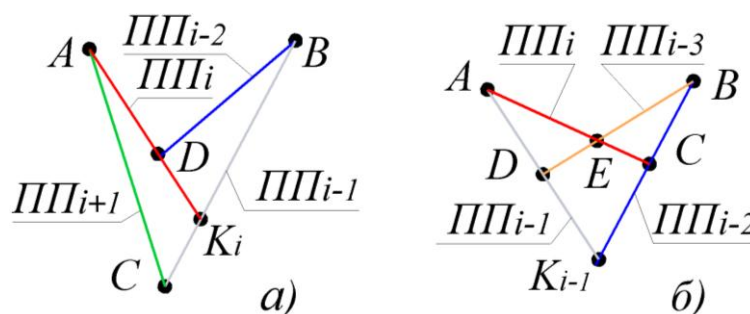


Рис. 4. Область расположения точки сгущения ДПК

В случае назначения точки сгущения в пределах треугольника K_iBD особый участок локализуется и будет ограничен точками i_{ce} и $i+2$. После назначения i_{ce} ДПК будет формироваться на монотонных участках $\dots i+1$ и $i_{ce} \dots$. В процессе последовательных сгущений область расположения особого участка локализуется вырождаясь в точку. Число граней ГПП увеличивается и становится сколь угодно большим. В пределе получим полярный торс, определяющий кривую содержащую точку смены хода.

Выводы. В работе предложен способ формирования ДПК на участках, содержащих особые точки. Способ предусматривает проведение анализа исходного точечного ряда. В результате определяются участки, на которых происходит стыковка монотонных кривых и область возможного расположения этих участков. При формировании ДПК точки сгущения назначаются внутри области их возможного расположения. Геометрические свойства формируемой

ДПК и область ее возможного расположения контролируются характеристиками дискретного аналога полярного торса пространственной кривой линии – гранной полярной поверхности.

Література

1. Выгодский М.Я. Дифференциальная геометрия / М.Я. Выгодский. – М. – Л.: ГИТТЛ, 1949. – 512 с.
2. Гавриленко Е.А. Вариативное дискретное геометрическое моделирование одномерных обводов с заданными дифференциально геометрическими свойствами / Е.А. Гавриленко // Вісник Херсонського національного технічного університету / ХНТУ. – Херсон, 2015. – Вип. 3 (54). – С. 555-559.
3. Гавриленко Е.А. Формирование геометрических характеристик монотонной кривой линии / Е.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк, В.А. Пахаренко // Вісник Херсонського національного технічного університету / ХНТУ. – Херсон, 2016. – Вип. 3 (58). – С. 492-496.

ФОРМУВАННЯ ДПК НА ДІЛЯНКАХ, ЩО МІСТЯТЬ ОСОБЛИВІ ТОЧКИ

Гавриленко Є.А., Холодняк Ю.В.

У роботі розглядається задача визначення та класифікація ділянок дискретно представленої кривої, які містять особливі точки. Положення особливої точки визначаються всередині області можливого розв'язку задачі.

Ключові слова: дискретно представлена крива, особлива точка, області розташування кривої, гранна полярна поверхня.

FORMATION OF DPC ON PLOTS THAT CONTAIN SINGULAR POINTS

Gavrilenko Eu., Kholodnyak Yu.

The problem of determining and classifying segments of a discrete presented curve that contain singular points is considered in this work. The position of the singular point are determined within the area of possible solution of the problem.

Key words: discretely presented curve (DPC), a singular point, a region of the curve, a polished polar surface.

УДК 514.18

**ЗАСОБИ ПРОСТОРОВОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ У ДОСЛІДЖЕННІ ПАРАМЕТРІВ
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИМІЩЕННЯ**

Гумен О.М., д.т.н.,

Яблонський П.М., к.т.н.,

Коломієць Н.Я.

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

Шаповал С.П., к.т.н.,

Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

У статті розглядаються переваги застосування засобів просторового геометричного моделювання, доцільність їх залучення для дослідження параметрів температурного поля приміщення.

Ключові слова: геометричне моделювання, температурне поле, модель, комплексний кресленик.

Постановка проблеми. Впровадження енергозберігаючих технологій у господарську діяльність підприємств сьогодні є одним з пріоритетних напрямків на державному рівні. Це пов'язано з дефіцитом основних енергоресурсів, зростаючою вартістю їх видобутку, а також з глобальними екологічними проблемами. Підвищення ефективності використання енергоресурсів можливе за рахунок застосування інноваційних рішень, які забезпечені технічно, обґрунтовані економічно, прийнятні з екологічної та соціальної точок зору.

Для ефективного практичного впровадження енергозберігаючих технологій у промисловості своєчасним є дослідження параметрів температурного поля виробничого приміщення, що досягається з залученням новітніх методів і засобів геометричного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зважаючи на актуальність тематики, заслуговують на увагу ті наукові розробки, які стосуються розв'язання практичних задач забезпечення комфортних температурних умов, сталого температурного режиму у приміщеннях для відповідного технологічного процесу [1]. Результати досліджень щодо використання засобів геометричного моделювання наведені в науковій розвідці [2]. Технологія автоматизованого геометричного моделювання [3] дозволяє дистанційно досліджувати і, за отриманими даними, створювати кресленики, перерізи, плани та тривимірні

цифрові моделі досліджуваного процесу. Такі дослідження виявили переваги залучення інформаційних графічних технологій при детальному вивченні температурного поля приміщення з метою знаходження оптимального температурного режиму.

Формулювання цілей статті. Метою даного дослідження є запропонувати універсальні геометричні засоби із залученням автоматизованого моделювання в середовищі AutoCAD для дослідження параметрів конкретної області температурного поля виробничого приміщення.

Основна частина. Температурне поле виробничого приміщення у просторі $Oxht$ в діапазоні температурних значень $18 - 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ з використанням даних, отриманих експериментальним шляхом [1], було подано у вигляді комплексного креслення (рис. 1).

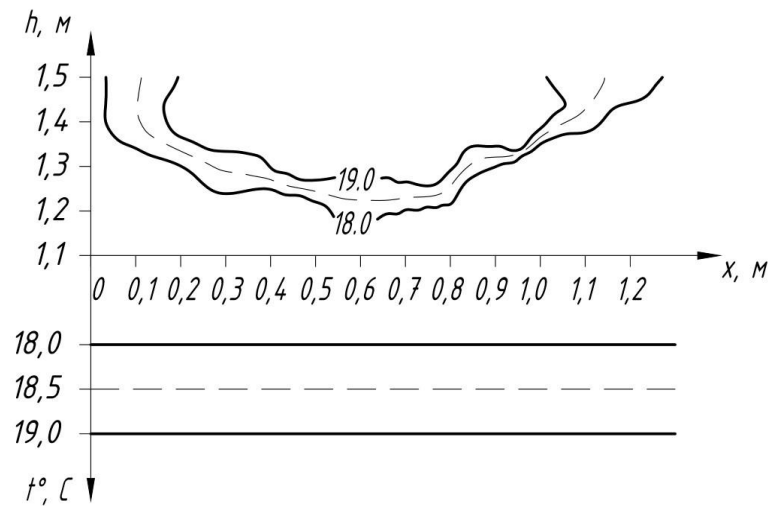


Рис. 1. Комплексний кресленик частини температурного поля

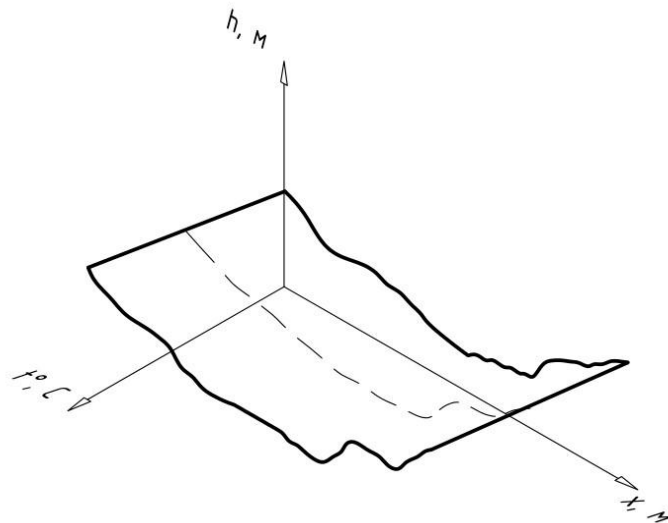


Рис. 2. Просторова модель частини температурного поля приміщення

За такими проекціями засобами графічних інформаційних технологій можна будувати просторову модель температурного поля у приміщенні (рис. 2).

Такий метод подання температурного поля приміщення дозволяє розглядати перебіг процесу (розподілу тепла) при будь-якому значенні теплового параметра, наприклад, при температурі 18.5°C (відповідну ізотерму подано штриховою лінією), в заданій області проведення дослідження.

Запропонована модель дозволяє локально розглядати взаємозв'язки певних параметрів процесу та визначати температуру в конкретній точці простору приміщення. Геометрична складова дослідження дає можливість змодельовати процес у динаміці, визначати значення тих параметрів, які складно або неможливо отримати експериментально.

Просторова структура температурного поля в приміщенні досліджувалася в горизонтальному і вертикальному перетинах визначеної області (рис. 3).

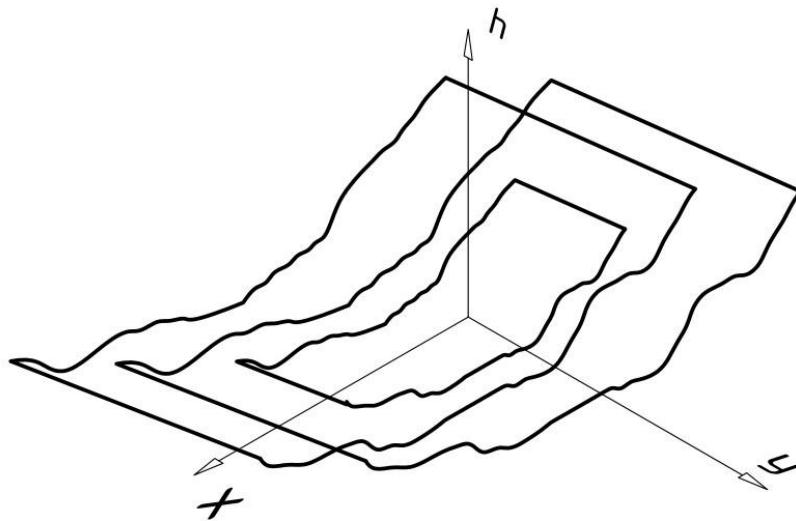


Рис. 3. Просторова модель розподілу температур у визначених областях приміщення

Реконструкція теплового розподілу з використанням експериментальних даних подана на рисунку 4. Тут структура температурного поля представлена у вигляді хромограми, яка дозволяє дати оцінку значення температури (насиченості теплом) у будь-якій точці поля, виділити області найбільшої концентрації теплової енергії, визначити зони найбільших і найменших градієнтів даної величини і т.д.

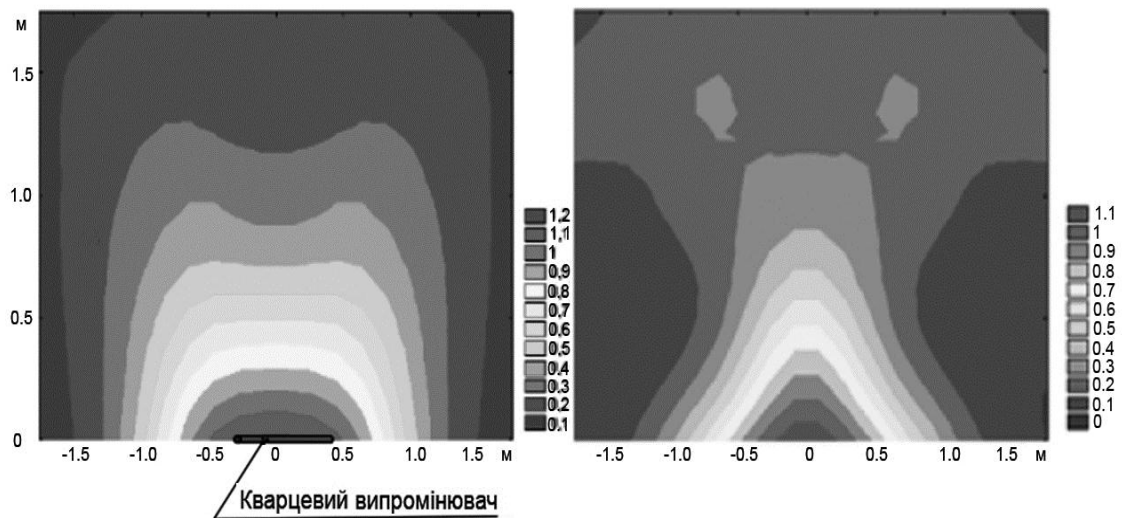


Рис. 4. Хромограма температурного поля приміщення в горизонтальній та вертикальній площинах

Звертає на себе увагу незвичність розподілу температур у центральній частині теплового потоку. Замість монотонного убуття величини насиченості теплової енергії від осі нагрівального приладу до периферії має місце локальне зростання цієї величини. Отримана інформація дозволяє оцінити габарити вертикальної зони інтенсивного обігріву.

Висновки. Метод візуалізації при залученні засобів просторового геометричного моделювання дозволяє доповнити аналіз та порівняння теплових режимів приміщення побудовою образної геометричної моделі. Таким чином, використовуючи графічні інформаційні технології та враховуючи особливості досліджуваного процесу, на основі фізичного аналізу конкретного режиму оцінюється результативність роботи запропонованих технічних засобів у виробничих приміщеннях. Окремо слід відмітити високу наочність та порівняну простоту у використанні розглянутого методу дослідження параметрів температурного поля приміщення.

Література

1. Гумен О.М. Інформаційні графічні засоби подання простору температурного поля промислових будівель / О.М.Гумен, Є.В.Мартин, Н.А.Сподинюк, С.Є.Ляковська // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип.3(62). – Т.2. – С. 269-273.
2. Гумен О.М. Візуальне програмування задач механіки із залученням геометричних засобів САД-систем / О.М. Гумен, С.Є. Ляковська, Є.В. Мартин // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип.4. – Т.55. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 68-75.

3. Ванін В.В. Деякі аспекти застосування засобів геометричного моделювання у проективному просторі / В.В. Ванін, О.М. Гумен // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип.87. – К.: КНУБА, 2011. – С. 90-93.

СРЕДСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

Гумен Е.Н., Яблонский П.Н., Шаповал С.П., Коломиец Н.Я.

В статье рассматриваются преимущества применения средств пространственного геометрического моделирования, целесообразность их привлечения для исследования параметров температурного поля помещения.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, температурное поле, модель, комплексный чертеж.

MEANS OF SPACE GEOMETRIC MODELING IN THE INVESTIGATION OF TEMPERATURE FIELD PARAMETERS

Gumen O., Yablonskyi P., Shapoval S., Kolomiets N.

The advantages of using spatial geometric modeling methods, the feasibility of their attraction for studying the parameters of the temperature field of the premises are considered in the article.

Key words: geometrical modeling, temperature field, model, complex drawing.

УДК 514.86

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧЕЧНЫХ МНОЖЕСТВ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ХЕШИРОВАНИЯ

Дашкевич А.А., к.т.н.,

Шоман О.В., д.т.н.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт» (Украина)

В работе предложен подход к решению задач определения и анализа геометрических характеристик точечных множеств. Разработан алгоритм пространственного хеширования. Получена возможность анализировать геометрическую структуру множества на основе пространственных индексов ближайшего соседства на многомерных сетках. Результаты направлены на оптимизацию задачи компьютерного зрения по сегментации точечных множеств на отдельные элементы.

Ключевые слова: точечное множество, пространственное хеширование в многомерных пространствах, геометрическая структура множества, индекс ближайшего соседства, сегментация множества.

Постановка проблемы. В задачах компьютерного зрения данные с сенсоров камеры часто представлены в виде точечных множеств: матрицы яркости пикселей при обработке изображений, облака точек в задачах стереозрения. При этом возникает необходимость сегментации таких точечных множеств, т.е. их разбиения на независимые компоненты. Задача сегментации предполагает решение двух связанных подзадач:

- нахождение точек, которые расположены в некоторой окрестности заданной точки;
- нахождение геометрических характеристик точечного множества в локальных окрестностях.

На данный момент точное решение для задачи поиска ближайших соседей дают переборные алгоритмы поиска, которые отличаются квадратичной вычислительной сложностью. Выделение геометрических признаков в локальной окрестности основано на анализе пространственного распределения точек и статистических показателях ближайшего соседства. Таким образом, качество выделения геометрических признаков тесно связано с эффективностью определения ближайших соседей точек. Отсюда

вытекает необходимость разработать алгоритмы определения геометрических характеристик на основе пространственного анализа с достаточной точностью и вычислительной сложностью в пространствах произвольной размерности.

Анализ последних исследований и публикаций. Для оптимизации поиска ближайших соседей используются специальные структуры данных, например kd-деревья [1, 2], BSP-деревья [3, 4], R-деревья [5] и др., а также алгоритмы по обработке таких структур [6]. Однако эффективность подобных структур данных и алгоритмов падает при росте числа измерений N и становится сравнимой с линейным поиском [7] при некотором критическом значении мерности пространства поиска $N > N_{кр}$. В настоящее время развиваются алгоритмы приближенного поиска ближайших соседей в многомерных пространствах, среди которых можно выделить те, что основаны на использовании хеширующих функций, однозначно указывающих на область пространства, которой принадлежит точка.

В работе [8] представлен метод пространственного хеширования, в котором предлагается заменить координаты x , y и z точек множества на одну координату – хеш и вычислять ее по следующей схеме:

$$h = x/c \cdot 2^k + y/c \cdot 2^m + z/c \cdot 2^n,$$

где c – размер сетки, k , m и n – некоторые константы ($k > m > n$ или $k < m < n$).

В работе [9] предложен следующий подход для вычисления хеша для точки:

$$h = ((x \cdot p_1) \text{ XOR } (y \cdot p_2) \text{ XOR } (z \cdot p_3)) \text{ MOD } n,$$

где $p_1 = 73856093$, $p_2 = 19349663$, $p_3 = 83492791$ – большие простые числа, XOR – побитовая операция «Исключающее ИЛИ», MOD n – операция нахождения остатка от деления на n , n – общее количество точек.

Формулирование целей статьи. Проведение пространственного анализа N -мерных точечных множеств на основе алгоритма упрощенного пространственного хеширования.

Основная часть. В работе [10] предложен алгоритм приближенного поиска ближайших соседей на двумерной сетке для применения в решении задач молекулярной динамики. Одним из преимуществ данного алгоритма является отсутствие коллизий хешей.

Предлагается расширение алгоритма, приведенного в работе [10], для пространственного хеширования в пространствах с $N > 2$:

- 1) пространство разбивается на сетку размером c ;
- 2) для каждой точки с координатами $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_N)$, заданной в диапазоне $[0, G_i]$, вычисляются индексы клетки, в которой находится данная точка:

$$i_1 = \frac{x_1}{c}, \dots, i_N = \frac{x_N}{c},$$

где N – размерность пространства;

3) по заданным индексам вычисляются значения хеша:

$$h_k = \frac{i_i \cdot 10^{(N-i)d}}{N},$$

где d – максимальное количество разрядов хеша, которое приходится на одну пространственную координату x_i ,

$$i_i = \max\left(\frac{G_i}{c}\right).$$

Был разработан алгоритм разбиения полученного хеша на отдельные индексы по каждой из координатных осей:

$t = N$
 до тех пор, пока $t > 0$, повторять:
 $i_t = h \bmod 10^d$
 $h = h / 10^d$
 $t = t - 1$

Данный алгоритм разбивает пространство на многомерную регулярную сетку и позволяет определять количество элементов множества в ячейках сетки. Это дает возможность проводить вычисление пространственных геометрических характеристик множества.

В работе проведено исследование геометрических характеристик точечного множества на основе предложенного алгоритма. На рис. 1 представлено исходное множество и соответствующее хеш-разбиение на ячейки размером $c = 8$ для $N = 3$.

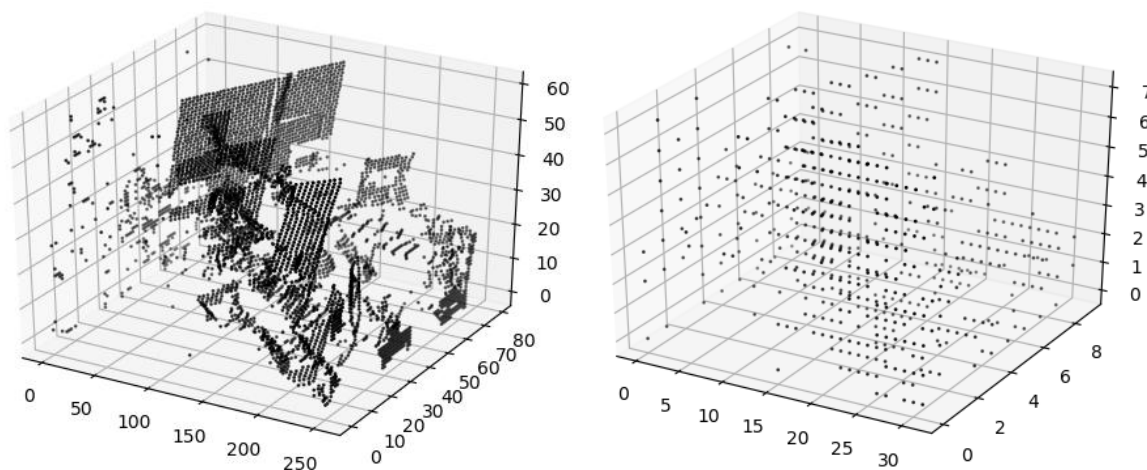


Рис. 1. Исходное множество точек и его хеш

В качестве меры пространственного распределения предлагается использовать плотность точек в ячейке. На рис. 2 представлена визуализация пространственной плотности в ячейках, что позволяет проводить пространственный анализ множества.

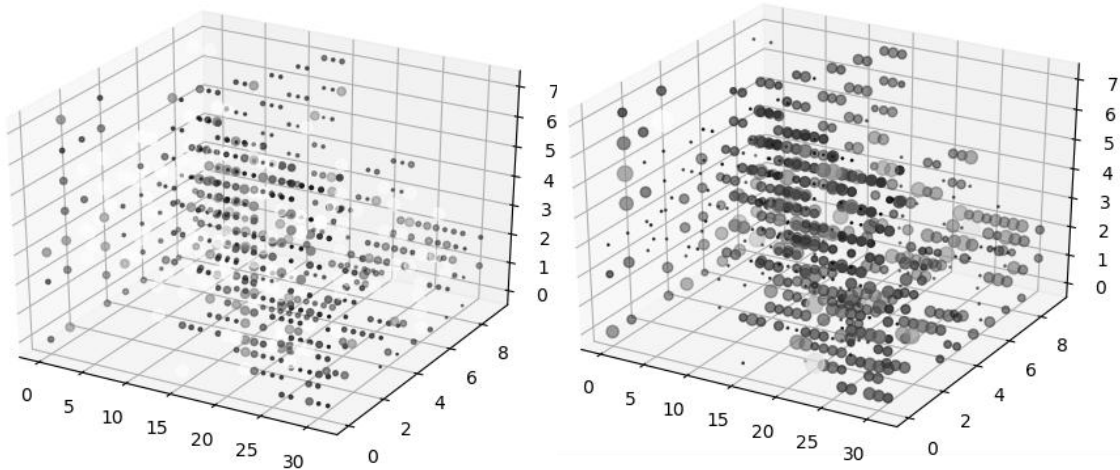


Рис. 2. Визуализация пространственной структуры ячеек на основе распределения плотностей множества

Выводы. Предложенный метод дает возможность выявления структурных особенностей точечных множеств. Предложенный алгоритм позволяет выявлять такие характеристики множества, как пространственное распределение его элементов на сетке, что позволяет в дальнейшем проводить сегментацию множества на составляющие его элементы.

Литература

1. Bentley J.L. Multidimensional Divide and Conquer / J.L. Bentley // Communications of the ACM. – 1980. – Vol. 23. – Is. 4. – P. 214–229.
2. Friedman J.H. An algorithm for finding best matches in logarithmic expected time / J.H. Friedman, J.L. Bentley, R.A. Finkel // ACM Transactions on Mathematical Software. – 1977. – Vol. 3. – Is. 3. – P. 209–226.
3. de Berg M. Computational Geometry: Algorithms and Applications / M. de Berg // Springer Science & Business Media, 2008. – P. 259.
4. Castelli V. Image Databases: Search and Retrieval of Digital Imagery / V. Castelli, D. Lawrence // John Wiley & Sons, 2004. – P. 422.
5. Guttman A. R-Trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching / A. Guttman // Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. – 1984. – P. 47–57.
6. Liu T. An Investigation Of Practical Approximate Nearest Neighbor Algorithms / T. Liu, A. Moore, A. Gray, K. Yang // Neural Information Processing Systems. – 2004.
7. Beyer K. When Is «NearestNeighbor» Meaningful? / K. Beyer, J. Goldstein, R. Ramakrishnan, U. Shaft // In International Conference on Database Theory. – 1999. – P. 217–235.
8. Nguyen H. (ed.). GPU Gems 3 / H. Nguyen // Addison Wesley, 2007. – P. 1008.

9. Ize T. Asynchronous BVH Construction for Ray Tracing Dynamic Scenes on Parallel Multi-Core Architectures / T. Ize, I. Wald, S. G. Parker // Proceedings of the 2007 Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization. – 2007.
10. Ніцин О.Ю. Спрощений алгоритм просторового хешування для задач молекулярної динаміки / О.Ю. Ніцин, А.О. Дашкевич, О.В. Охотська, О.Є. Мацулевич // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 6, Т. 1. – С. 287–291.

АНАЛІЗ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧКОВИХ МНОЖИН НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ПРОСТОРОВОГО ХЕШУВАННЯ

Дашкевич А.О., Шоман О.В.

В роботі запропоновано підхід до розв'язання задач визначення і аналізу геометричних характеристик точкових множин. Розроблено алгоритм просторового хешування. Одержано можливість аналізувати геометричну структуру множини на основі просторових індексів найближчого сусідства на багатовимірних сітках. Результати спрямовано на оптимізацію задачі комп'ютерного зору з сегментації точкових множин на окремі елементи.

Ключові слова: точкова множина, просторове хешування, геометрична структура множини, індекс найближчого сусідства, сегментація множини.

ANALYSIS OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF POINT SETS BASED ON SPATIAL HASHING ALGORITHM

Dashkevich A., Shoman O.

An approach to solving problems of determining and analyzing the geometric characteristics of point sets is proposed. An algorithm for spatial hashing has been developed. It is possible to analyze the geometric structure of a set on the basis of spatial proximity indices on multidimensional grids. The results are aimed at optimizing the task of computer vision for segmenting point sets into individual elements.

Key words: point set, spatial hashing, set geometric structure, proximity indices, set segmentation.

УДК 514.18 : 721

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕНТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Демчишин А.А., к.т.н.,

Аушева Н.М., д.т.н.

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

Автори роботи презентують метод формоутворення мембрани тентової конструкції за допомогою поверхні, побудованої на основі ізотропної кривої Безьє в інтерактивному режимі. На прикладі показано, що площа такої поверхні є локально мінімальною. Практична цінність методу полягає в можливості безпосереднього дизайну поверхні тенту, на відміну від інших відомих методів, які виходять з жорстких крайових умов.

Ключові слова: *тентова конструкція, ізотропна крива Безьє, мінімальна поверхня.*

Постановка проблеми. Будівництво тентових конструкцій - відносно новий, але вже добре себе зарекомендувавший [1,2], метод швидкого зведення будівельних споруд різного цільового призначення: павільйонів, критих ринків, спортивних споруд, естрад, літніх кафе, навісів, банерів. Для будівництва тентових споруд не потрібно проводити а ні підготовку фундаменту, ні узгодження з містобудівними органами, що робить їх об'єктами, придатними для проведення тимчасових заходів, наприклад, презентацій або виставок.

Тентові (мембранні) конструкції являють собою споруди, що складаються з двох основних складових: металевого каркасу і покриття з тканини або плівки (рис.1). Металокаркасні тентові споруди відкривають необмежені конструктивні можливості формоутворення унікальних екстер'єрів.

Мембрана тентової конструкції перебуває під дією напруження розтягу, і не несе на собі ані напруження компресії, ні вигину. Фактором стабільності таких поверхонь є їх антикластична викривленість, що дає можливість мембрані не втрачати своєї форми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз відомих джерел, що описують тентові конструкції показує, насамперед, розподілення робіт на ті, що висвітлюють аспекти застосування конструктивних елементів тентових конструкцій (троси, щогли і т. ін.) з прикладами з загальносвітової практики [1-3], та на ті, що досліджують методи моделювання тентових конструкцій [4-10].



Рис.1. Тентова конструкція літнього кафе для працівників заводу компанії Ivoclar в місті Schaan, Liechtenstein

Об'єднуючим фактором для робіт з моделювання поверхонь тентових конструкції виступає неможливість аналітичного опису мінімальної поверхні. Така обставина призводить до формулювання задачі пошуку дизайну мембрани через наперед задану замкнену границю (або інші граничні умови) тентової конструкції. Вирішення задачі пошуку поверхні мембрани в зазначених джерелах проводиться за допомогою переходу до представлення поверхні дискретними елементами, позиція яких оптимізується. З програмних пакетів виділяється пакет Grasshopper для комплексу моделювання Rhino.

Існуючі дослідження моделювання мінімальних поверхонь в аналітичному вигляді у проаналізованих джерелах [10-13] ніяким чином не корелюють з тематикою тентових конструкцій. Зазвичай, досліджуються класичні мінімальні поверхні (катеноїд, поверхня Енепера) [13], або мінімальні поверхні формуються виходячи з умови рівняння Пуассона $H = \lambda(p_1 - p_2)$, з якого витікає рівність нулю середньої кривини H для умови рівності тисків з обох боків поверхні розділу середовищ.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розробка теоретичних і практичних засад геометричного моделювання поверхонь тентових конструкцій в аналітичному вигляді без наперед заданої замкненої границі.

Основна частина. Для досягнення цілей статі будемо рухатись в наступній послідовності кроків дослідження:

1. Побудова поверхні тентової конструкції;
2. Перевірка мінімальності площі поверхні в локальному сенсі.

Крок 1. Побудова поверхні тентової конструкції.

В рамках даної роботи не будемо ставити за мету моделювання деякого спеціального дизайну поверхні тентової конструкції, насамперед задамося досягненням вимоги мінімальності площі поверхні, аналітичності її опису, створенням інтуїтивно зрозумілого інструментарію користувача впливу на її формоутворення.

В продовження досліджень, що було розпочато в роботі [14], розглянемо наступне рівняння кубічної поверхні:

$$\mathbf{B}(t) = (1-t)^3 \mathbf{P}_0 + 3t(1-t)^2 \mathbf{P}_1 + 3t^2(1-t) \mathbf{P}_2 + t^3 \mathbf{P}_3, \quad (1)$$

$$t = u + vi, \quad u, v \in [0, 1];$$

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_0 &= (a_0^x + b_0^x i; & a_0^y + b_0^y i; & a_0^z + b_0^z i), \\ \mathbf{P}_1 &= (a_1^x + (b_0^x + a_1^y - a_0^y) i; & a_1^y + (b_0^y - a_1^x + a_0^x) i; & a_0^z + b_0^z i), \\ \mathbf{P}_2 &= (a_2^x + (b_1^x + a_2^y - a_1^y) i; & a_2^y + (b_1^y - a_2^x + a_1^x) i; & a_2^z + b_2^z i), \\ \mathbf{P}_3 &= ((-(z_2 - z_1)^2 - (y_2 - y_1)^2)/(x_1 - x_0) + x_2; \\ &(-2(z_2 - z_1)^2 - (x_1 - x_0)(x_3 - x_2))/(y_1 - y_0) + y_2; \\ &2((y_2 - y_1)(z_2 - z_1))/(y_1 - y_0) + z_2), \end{aligned} \quad (2)$$

де $x_0, y_0, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, x_3$ - комплексні компоненти радіус векторів $\mathbf{P}_0, \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3$ відповідно. Для зручності досліджень змінні, що доступні користувачеві для управління поверхнею, позначено в правих частинах рівнянь (2) жирним шрифтом.

Аналітичний опис поверхні (1), побудованої на основі ізотропної кривої Безье 3-го порядку, дозволяє конструктору здійснювати інтуїтивно зрозуміле управління над її формоутворенням за допомогою контрольних точок сплайну, через який проходить поверхня (рис.2). Сплайн контролюється трьома опорними точками $\mathbf{P}_0^{\text{Re}} = (a_0^x, a_1^x, a_2^x)$, $\mathbf{P}_1^{\text{Re}} = (a_0^y, a_1^y, a_2^y)$, $\mathbf{P}_2^{\text{Re}} = (a_0^z, a_0^z, a_2^z)$ та двома параметрами b_0^z, b_2^z , що додатково впливають на координати четвертої опорної точки.

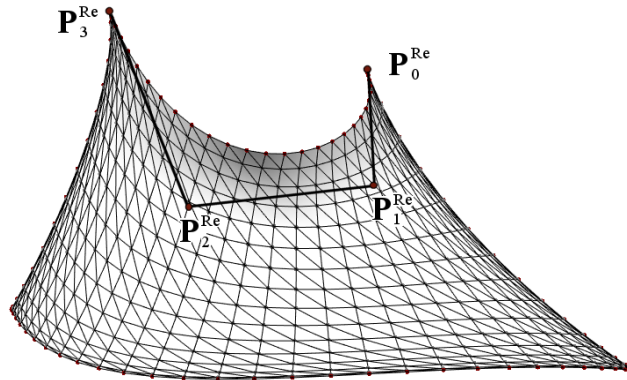


Рис. 2. Приклад поверхні $\text{Re}(\mathbf{B}(u + vi))$

Емпіричні дослідження рівняння (1) показують, що хоча змінні b_0^x, b_2^y присутні в кожній з дійсних частин членів полінома, їх зміна жодним чином не впливає на дійсну частину результуючої поверхні.

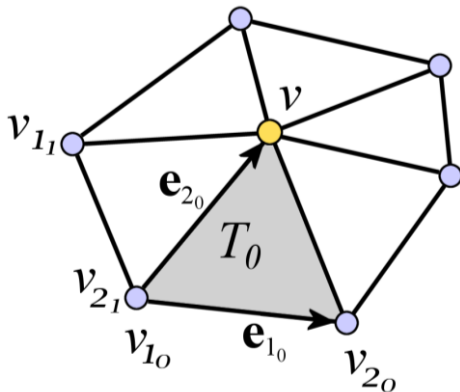
Крок 2. Перевірка мінімальності площі поверхні в локальному сенсі.

Для контролю способу переходу від аналітичної форми поверхні до моделі, що її апроксимує сіткою трикутників, перевіримо мінімальність площі моделі з прикладу. Не будемо ставити за мету вирішення задачі Плато [15,16] з пошуку глобально мінімальної поверхні, що проходить через наперед задану границю, натомість обмежимося встановленням значення локального мінімуму даної стабільної мінімальної поверхні.

Нехай $\mathbf{V} = \{v_0, v_1, \dots, v_m\}$ множина вершин поверхні, $\mathbf{G} \subseteq \mathbf{V}$ - множина вершин границі поверхні потужності l , \mathbf{T} - множина трикутників. Для кожної вершини з множини \mathbf{G} розрахуємо її нове положення виходячи з функціоналу, що мінімізує площу:

$$A(\mathbf{T}_{kNB}) = \sum_{j=0}^n A(T_j) = \sum_j |\mathbf{e}_{1j} \times \mathbf{e}_{2j}| \rightarrow \min, \quad (3)$$

де \mathbf{T}_{kNB} - множина трикутників, що мають спільну вершину $v_k, k \in \{0, l\}$, потужності n .



$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= (x; y; z); \\ \mathbf{e}_{1j} &= (\mathbf{v}_{2j} - \mathbf{v}_{1j}) = \\ &= (x_{21j}, y_{21j}, z_{21j}); \\ \mathbf{e}_{2j} &= (\mathbf{v} - \mathbf{v}_{1j}) = \\ &= (x - x_{1j}, y - y_{1j}, z - z_{1j}). \end{aligned}$$

Рис. 3. Схема розрахунку оптимального положення вершини v

Положення вершини $v(x, y, z)$ однозначно визначено функцією $A(\mathbf{T}_{kNB})$, за умови, що вершини околу вершини v_k не лежать всі одночасно на площині (рис.3). Для визначення екстремуму функції вирішимо задачу одночасної рівності нулю її перших частинних похідних (4).

Достатньою умовою існування екстремуму функції (3) у критичній точці $v(x; y; z)$ є позитивна визначеність матриці Гессе, складеної з других похідних функції. Аналітичну перевірку достатньої умови екстремуму лишимо за межами даної роботи.

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial A}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial A}{\partial z} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sum_{j=0}^n (z_{21_j}^2 + y_{21_j}^2) \mathbf{x} - x_{21_j} y_{21_j} \mathbf{y} - z_{21_j} x_{21_j} \mathbf{z} = \\ \sum_j (-z_{21_j} x_{21_j} z_{1_j} + z_{21_j}^2 x_{1_j} - y_{21_j} x_{21_j} y_{1_j} + y_{21_j}^2 x_{1_j}); \\ \sum_{j=0}^n (-x_{21_j} y_{21_j} \mathbf{x} + (z_{21_j}^2 + x_{21_j}^2) \mathbf{y} - z_{21_j} y_{21_j} \mathbf{z}) = \\ \sum_j (-z_{21_j} y_{21_j} z_{1_j} + z_{21_j}^2 y_{1_j} - y_{21_j} x_{21_j} x_{1_j} + x_{21_j}^2 y_{1_j}); \\ \sum_{j=0}^n (-x_{21_j} z_{21_j} \mathbf{x} - z_{21_j} y_{21_j} \mathbf{y} + (y_{21_j}^2 + x_{21_j}^2) \mathbf{z}) = \\ \sum_j (-z_{21_j} y_{21_j} y_{1_j} + y_{21_j}^2 z_{1_j} - y_{21_j} z_{21_j} x_{1_j} + x_{21_j}^2 z_{1_j}). \end{cases} \quad (4)$$

Проведення процесу локальної ітеративної мінімізації площі поверхні тентової конструкції з прикладу призводить до зміни позицій вершин сітки трикутників (рис.4), в той же самий час, загальна площа поверхні зменшується неістотно (менше 1%), з чого можна зробити наступні висновки:

1. Дана геометрична модель поверхні тентової конструкції має мінімальну площу (в локальному сенсі);
2. Існує сітка з трикутників, яка точніше апроксимує мінімальну поверхню, ніж та, прообразом якої є вершини квадратної сітки координатних ліній $0 \leq u, v \leq 1$.

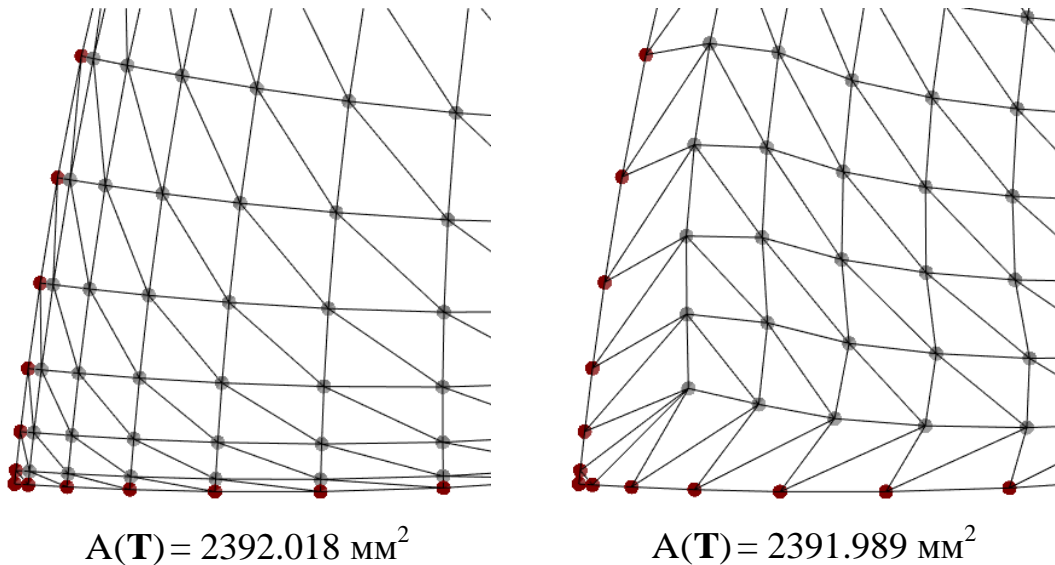


Рис. 4. Порівняння сітки трикутників кута ділянки поверхні до оптимізації площі (зліва) та після (справа)

Висновки. В роботі показано, що спосіб моделювання мембрани тентової конструкції на основі ізотропної кривої Безьє дає можливість проводити дизайн безпосередньо самої поверхні за допомогою інтуїтивно зрозумілого інструментарію у вигляді трьох контрольних точок сплайну, через який проходить поверхня, та двох додаткових параметрів. Показано, що поверхні отримані в такий спосіб мають мінімальну площу в локальному сенсі.

Література

1. Seidel M. Tensile surface structures: a practical guide to cable and membrane constr. [Text]/ M. Seidel. – Berlin: Ernst & Sohn, 2009. – 229 p.
2. Fabric Architecture [Text]. – IFAI, 2007 – N. 4, V. 19. – 64 p.
3. Schlaich J. Tensile Membrane Structures [Text]/ J. Schlaich, B. Bergemann, W. Sobek // Lecture in the IASS-Congress Madrid. – Madrid, 1989. – P.19-32.
4. Lewis W.J. Tension Structures: Form and Behaviour [Text]/ W.J. Lewis // Thomas Telford Publishing. – London, 2003. – 201 p.
5. Barnes M. R. Form finding and analysis of tension structures by dynamic relaxation [Text]/ M. R. Barnes// International Journal of Space Structures, – 1999. – № 14 (2). – P. 89-104.
6. Шалимов В. Н. Геометрическое моделирование тентовых тканевых конструкций: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.01.01 / В. Н. Шалимов. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2012. – 20 с.
7. Bhooshan S. Applying dynamic relaxation techniques to form-find and manufacture curve-crease folded panels [Text]/ S. Bhooshan, V. Bhooshan, M. ElSayed, S. Chandra, P. Richens, P. Shepherd // Simulation. SAGE Publications. – 2015. – I. 9, V. 91. – P. 773-786.
8. Yu H. Robust construction of minimal surface from general initial mesh [Text]/ Yu H., Wu Q., Chen M., Muhammad S. //Applied Math.- A Journal of Chinese Universities. – 2015. – №30. – P. 227-244.
9. Попов Е. В. Метод натянутых сеток в задачах геометрического моделирования [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01 / Е. В. Попов. – Н. Новгород, 2001. – 248 с. : ил.
10. Meeks III W. H. A Survey on Classical Minimal Surface Theory [Text]/ W. H. Meeks III, J. Pérez // University Lecture Series. – 2012. – V.60. –182 p.
11. Calegari D. Notes on minimal surfaces [Text]/ D. Calegari. – University of Chicago, 2014. – 38 p.
12. Ordulu H.N. When is a minimal surface not area-minimizing? [Text]/ H.N. Ordulu // Seminar in Geometry 2004. – Massachusetts Institute of Technology, 2004. – 11 p.
13. Kahyaoglu S. An approach for minimal surface family passing a curve

- [Text] /S. Kahyaoglu, E. Kasap //International Journal of Contemporary Mathematical Sciences. – 2015.–N. 5, V. 10.– P. 223-232.
- 14.Аушева Н. М. Згинання мінімальних поверхонь в комплексному просторі деформацією прямої кривої Без'є [Текст]/ Н.М. Аушева, А. А. Демчишин // Міжвідомчий науково-технічний збірник „Прикладна геометрія та інженерна графіка”. – Вип.90. – К.:КНУБА, 2012. – С.15-19.
- 15.Gray J. The work of Jesse Douglas on Minimal Surfaces [Text]/ J. Gray // B. of the American Math. Society. – 2008. –№ 45(2). – P. 293–302.
- 16.Douglas J. Solution of the Problem of Plateau [Text]/ J. Douglas // Transactions of the American Math. Society. –1931.– №32.1. – P. 263-321.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Демчишин А.А., Аушева Н.М.

Авторы работы презентуют метод формообразования мембраны тентовой конструкции с помощью поверхности, построенной на основе изотропной кривой Безье в интерактивном режиме. На примере показано, что площадь такой поверхности является локально минимальной. Практическая ценность метода заключается в возможности непосредственного дизайна поверхности тента, в отличие от других известных методов, которые исходят из жестких граничных условий.

Ключевые слова: тентовая конструкция, изотропная кривая Безье, минимальная поверхность.

GEOMETRIC MODELING OF SURFACES OF TENSILE FABRIC STRUCTURES

Demchyshyn A., Ausheva N.

The authors present the method of form creation of a membrane for tensile fabric structure. The membrane is modeled using the surface based on isotropic Bezier curve in interactive mode. The study of the example shows that the area of such surface is locally minimal. The practical value of the method lies in capability of immediate design of the fabric membrane, unlike other known methods which originate from strict boundary conditions.

Keywords: tensile fabric structure, isotropic Bezier curve, minimal surface.

УДК 621.372.061

АЛГОРИТМ ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА МАТРИЦ В МЕТОДЕ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Залевская О.В., к.т.н.,
Литвиненко П.Л.,
Финогенов А.Д., к.т.н.,
Янушевська О.І.

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

В работе предложен алгоритм полного перебора обратно-симметричных матриц с учетом подобия относительно главной побочной диагонали.

Ключевые слова: метод анализа иерархий (МАИ), парные сравнения, многокритериальное принятие решений, алгоритм полного перебора.

Постановка проблемы. Индекс случайной согласованности (СИ) в методе анализа иерархий (МАИ) [1] используется для вычисления оценки согласованности (ОС) мнения эксперта, собственного вектора, соответствующего максимальному собственному числу и т.д. Расчет СИ для матриц малой размерности основан на вычислении математического ожидания значения λ_{\max} для обратно-симметричных матриц, заполненных значениями в выбранной шкале, из которых чаще всего используется (1):

$$\Omega_9 = \{1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}. \quad (1)$$

При расчете всех возможных вариантов матриц [1] для проведения различных экспериментов, связанных со значениями λ_{\max} , основной проблемой является время расчета [2].

Анализ последних исследований и публикаций. При разработке МАИ Т. Саати определил значения СИ на основании выборки из 50 матриц для каждой из размерностей [1]. В дальнейшем эти данные были уточнены как в его работах [3], так и в работах ряда других исследователей [2-6]. В [2] предлагался подход основанный на расчете всех возможных вариантов матриц и были приведены значения СИ для матриц $N=3$ и $N=4$, которые несколько отличались от значений, полученных другими авторами. Уменьшение времени вычисления λ_{\max} , позволит повысить эффективность анализа не только этапа оценки согласованности мнения эксперта, но и других этапов МАИ.

Формулировка целей статьи. В статье предлагается алгоритм формирования полного набора матриц определенной размерности с заполнением данными из выбранной шкалы парных сравнений и учетом подобия матриц с симметрией относительно главной побочной диагонали.

Основная часть. Обратносимметричная матрица парных сравнений однозначно определяется элементами над (или под) главной диагональю. Количество таких элементов для матрицы размерности N составляет $S = \frac{1}{2}(N^2 - N)$.

Количество необходимых расчетов можно сократить, если использовать свойство «симметрии» блоков (рис. 1). Отметим, что подобие матриц осуществляется только в случае симметрии всего блока, а не отдельных элементов в блоках [7].

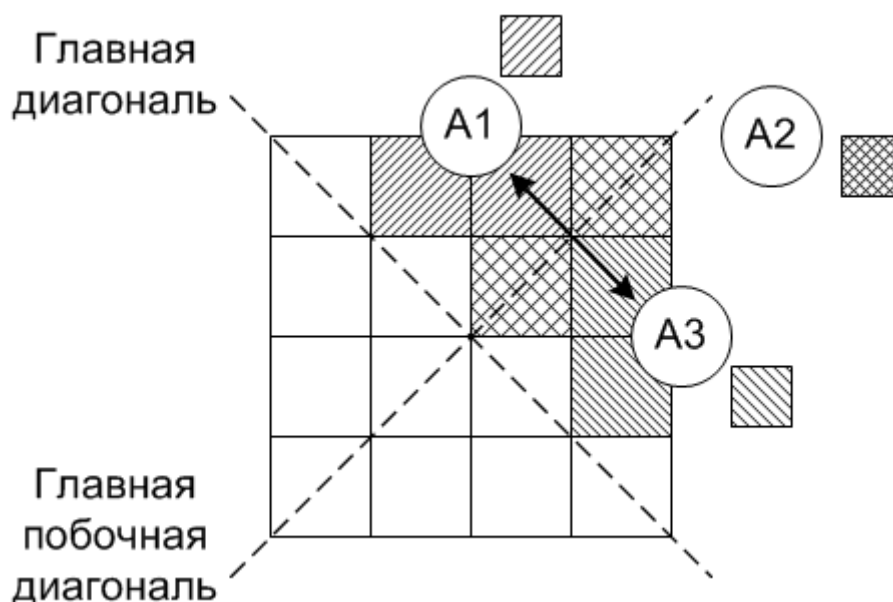


Рис.1. Схема симметрии блоков

Общее количество возможных вариантов матриц при использовании шкалы (1), содержащей $C = 17$ различных элементов, представлено в таблице 1, где S – количество определяющих элементов матрицы (количество элементов над главной диагональю), K – количество возможных матриц, K^* – количество матриц с учетом симметрии, B – выигрыш от использования симметрии в %.

Таблица 1

Количество матриц для шкалы Ω (1)

N	S	K	K*	B	N	S	K	K	B
3	3	4913	2601	47.05	7	21	6.9E+25	3.5E+25	50
4	6	2.4E+7	1.2E+7	49.83	8	28	2.8E+34	1.4E+34	50
5	10	2.0E+12	1.0E+12	50	9	36	2.0E+44	9.9E+43	50
6	15	2.9E+18	1.4E+18	50	10	45	2.3E+55	1.2E+55	50

Подобие обратно-симметричных матриц относительно побочной диагонали позволяет уменьшить количество необходимых вычислений на 47-50%.

Задача полного перебора требует генерации всех возможных матриц парных сравнений. Очевидно, что хранение всех сгенерированных матриц в оперативной памяти, особенно для матриц большой размерности, нерационально. Хранение данных на жестком диске так же не является альтернативой, так как существенно возрастет время доступа к данным (скорость чтения/записи).

Наиболее эффективным представляется подход, который позволит на основе числового индекса определить все элементы матрицы: то есть необходимо определить совокупность правил и знаков, с помощью которых можно отобразить (кодировать) любое неотрицательное число.

Данная формулировка очень похожа на определение позиционной системы исчисления. В таблице 2 приведен сокращенный список матриц для $N=3$ ($S=3$) и $\Omega_2 = \{1/2, 1, 2\}$.

Таблица 2

Соответствие матриц системе исчисления

№	Значения элементов над главной диагональю	Представление в форме позиционной системы исчисления с основанием 3
1	1/2, 1/2, 1/2	0 0 0
2	1/2, 1/2, 1	0 0 1
3	1/2, 1/2, 2	0 0 2
4	1/2, 1, 1/2	0 1 0
...
26	2 2 1	2 2 1
27	2 2 2	2 2 2

Легко заметить, что представление каждой следующей матрицы в форме позиционной системы исчисления – это результат сложения единицы к предыдущему результату. При этом, в силу симметрии блоков A_1 и A_3 (рис. 1), у матриц 001 и 100 значения λ_{\max} будут одинаковы, т.е. достаточно вычислить значение λ_{\max} для одной из них и удвоить его.

Чтобы избежать ненужной генерации матриц с симметрией блоков A_1 , A_3 в форме позиционной системы исчисления вычисления организованы следующим образом (рис. 2).

Каждый из блоков A_1 , A_2 , A_3 – является набором элементов матрицы, а операции сравнения и инкремента организованы по принципу позиционной системы исчисления. Значение A_END -

эквивалентно максимальному значению для данной системы исчисления и является критерием останова расчета.

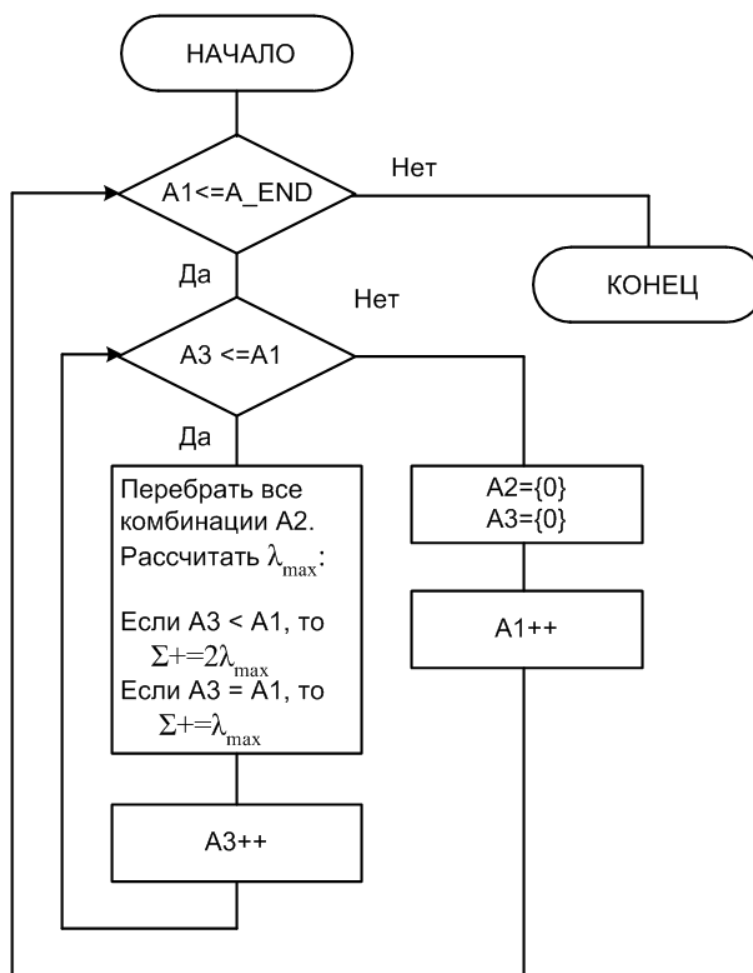


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

Выводы. Предложенный алгоритм реализации перебора матриц учитывает как обратную симметрию элементов, так и подобие относительно главной побочной диагонали [7] и позволяет уменьшить количество необходимых вычислений на 47-50%.

Литература

1. Saaty T. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation / T.L. Saaty. – New York : McGraw-Hill, 1980. – ISBN 0-07-054371-2. – 287 p.
2. Попович Е.С. Особенности определения индекса случайной согласованности в метода анализа иерархий (МАИ) / Е.С. Попович, А.Д.Финогенов, П.Л. Литвиненко // «Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності» : 3-а міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 22-23 квітня 2014, Київ : матеріали. – К., 2014. – С. 205–210.

3. Saaty T. Comparison of eigenvalue, logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios / T.L.Saaty, G. Vargas Luis // Mathematical Modelling. – 1984. – Vol. 5. – P. 309–324.
4. Панкратова Н.Д. Моделі і методи аналізу ієрархій. Теорія. Застосування : навч. посібник / Н.Д. Панкратова, Н.І.Недашковська. – К. : ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2010. – 372 с.
5. Tummala V.M.R. A note on the computation of the mean random inconsistency index of the analytic hierarchy process (AHP) / V.M.R. Tummala // Theory and Decision. – 1998. – № 44. – P. 221–230.
6. Alonso J.A. Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach / Jose Antonio Alonso, Ma Teresa Lamata // International Journal of Uncertainty: Fuzziness and Knowledge-Based Systems. – 2006. – Vol. 14. – № 4. – P. 445-459.
7. Муха И.П. Подобие обратно-симметричных матриц относительно побочной диагонали / И.П. Муха, П.Л. Литвиненко, А.Д. Финогенов // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – 2016. – Вип. 6. – С. 86-90. – ISBN 978-617-7346-42-4.

АЛГОРИТМ ПОВНОГО ПЕРЕБОРУ МАТРИЦЬ В МЕТОДІ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Залевська О.В., Литвиненко П.Л., Фіногенов О.Д., Янушевська О.І.

В роботі запропоновано алгоритм повного перебору обернено-симметричних матриць з урахуванням подібності відносно головної побічної діагоналі.

Ключові слова: метод аналізу ієрархій (МАІ), парні порівняння, багатокритеріальне прийняття рішень, алгоритм повного перебору.

THE EXHAUSTIVE SEARCH MATRIX ALGORITHM IN THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Zalevska O., Litvinenko P., Finogenov A., Yanushevska O.

The paper proposes an exhaustive search algorithm for the inverse-symmetric matrices, taking into account the similarity with the main secondary diagonal.

Key words: AHP, pairwise comparison, multicriteria decision making, exhaustive search algorithm.

УДК 514.18:725.8

ОЦІНКА ЗАТУЛЯННЯ В КІНОТЕАТРІ З РЯДАМИ В ПЛАНІ У ВИГЛЯДІ ДВОХЛАНКОВОЇ ЛАМАНОЇ, РОЗМІЩЕНИМИ НА ПОХИЛІЙ ПЛОЩИНІ

Зданевич В.А.,

Кундрат Т.М., к.т.н.,

Літніцький С.І., к.т.н.,

Пугачов Є.В., д.т.н.

Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне, Україна)

Розроблено спосіб оцінки фактичного затуляння кіноекрану в кінотеатрі з рядами в плані у вигляді двохланкової ламаної для випадку, коли безперешкодна видимість проектується шляхом підйому рядів по похилій прямій.

Ключові слова: безперешкодна видимість, ламані в плані ряди місць, площа затуляння.

Постановка проблеми. Безперешкодну видимість проектують, як правило, за двовимірною моделлю [1, 2, 7, 8], тобто при заданому розміщенні рядів місць в плані визначають на розрізі їх розміщення по висоті. При цьому висоту всіх місць даного ряду приймають однаковою. Такий метод розрахунку дає правильні результати тільки для двох варіантів розміщення рядів в плані: коли фокусна лінія [8], видимість якої забезпечує видимість об'єкта спостереження в цілому, паралельна рядам і коли вона і ряди в плані є концентричними колами. Проте в практиці проектування залів зустрічаються різні за формою фокусні лінії та ряди в плані, як і різні їх сполучення [8], що призводить при використанні двовимірної моделі видимості до виникнення в залі фактичного затуляння, різного для кожного глядача або для глядачів різних рядів.

Для кінотеатрів оцінити затуляння [8] можна за площею, обмеженою на кіноекрані зверху лінією проекції маківки глядачів попереднього ряду на екран з монокулярного ока глядача наступного ряду, а знизу – нижньою кромкою екрану. З боків площа обмежується боковими кромками екрану.

Оцінка затуляння в залах для глядачів, зокрема, кінотеатрах необхідна для порівняння залів між собою та зонування місць в залі. Критерієм порівняння залів може бути сумарна площа затуляння або середня площа затуляння на одного глядача. Критерієм зонування – площа затуляння для кожного глядача (як один з факторів, що

впливають на якість сприйняття видовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [4-6] розглядалися аналогічні задачі, але або форма рядів в плані була іншою (концентричні кола), або був іншим характер підйому рядів (за кривою найменшого підйому, за ламаною).

Формулювання цілей статті. В роботі поставлено мету: на прикладі кінотеатру з рядами в плані у вигляді двохланкових ламаних розробити геометричну модель визначення площі затуляння і проаналізувати за допомогою комп'ютерної реалізації моделі отримані результати.

Основна частина. На рис. 1 показано розташування рядів в плані, основні параметри зони для глядачів [3] та плоский кіноекран. Координати очей глядачів при розміщенні рядів на похилій площині розраховувалися за відомими формулами [1, 2, 7, 8] (фокусна точка – середина нижньої кромки екрану) у вертикальній площині, інцидентній осі X . Глибина ряду вздовж осі X є більшою за d , а саме $d1 = d / \sin 80^\circ$ (0,9138 м). Вона и приймалася для розрахунку аплікату монокулярних очей глядачів кожного ряду.

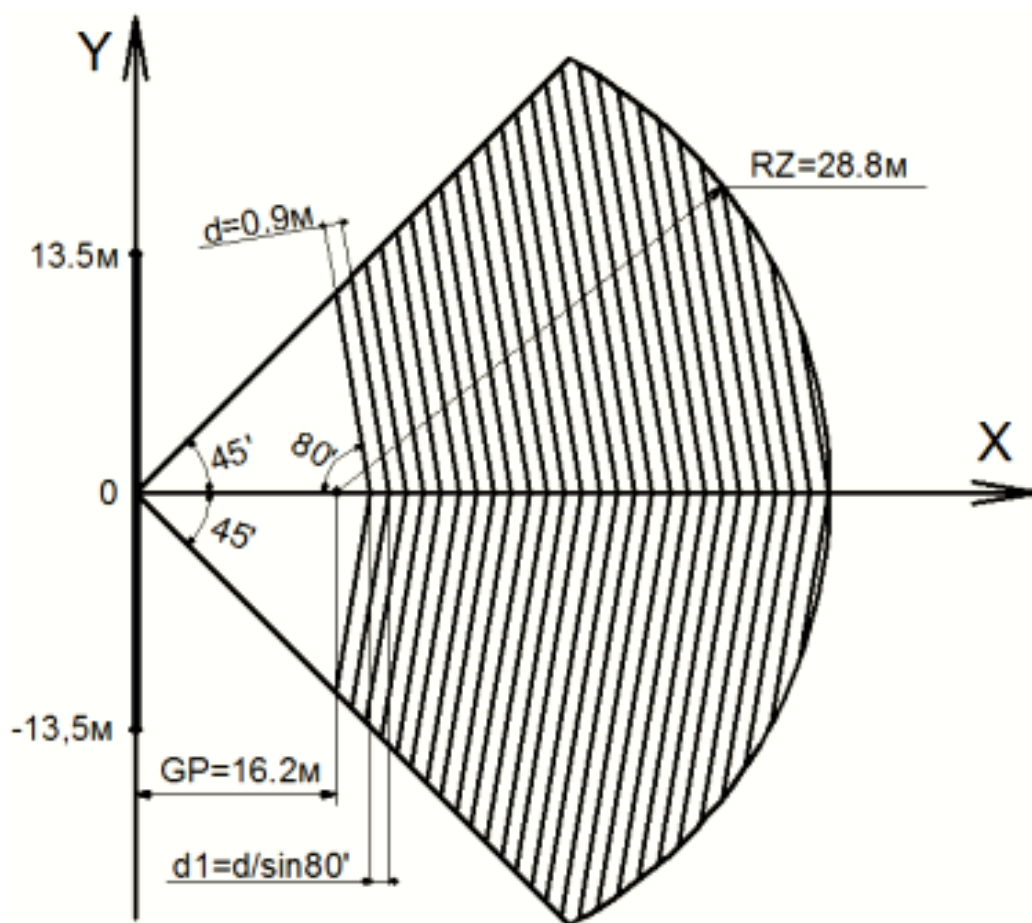


Рис. 1. Нормована зона розміщення місць, плоский кіноекран та ряди в плані

Відстань від фокусної точки до спинки глядача першого ряду дорівнювала 19,056 м, а висота підвісу екрану (висота фокусної точки) над горизонтальною підлогою першого ряду становила 1,2 м. Число рядів – 29.

На рис. 2 показано підйом рядів і монокулярні очі глядачів (точками). Висота очей глядача останнього ряду над підлогою першого ряду становить 11,04 м (першого – 1,2 м), а висота присідця – 0,351 м.

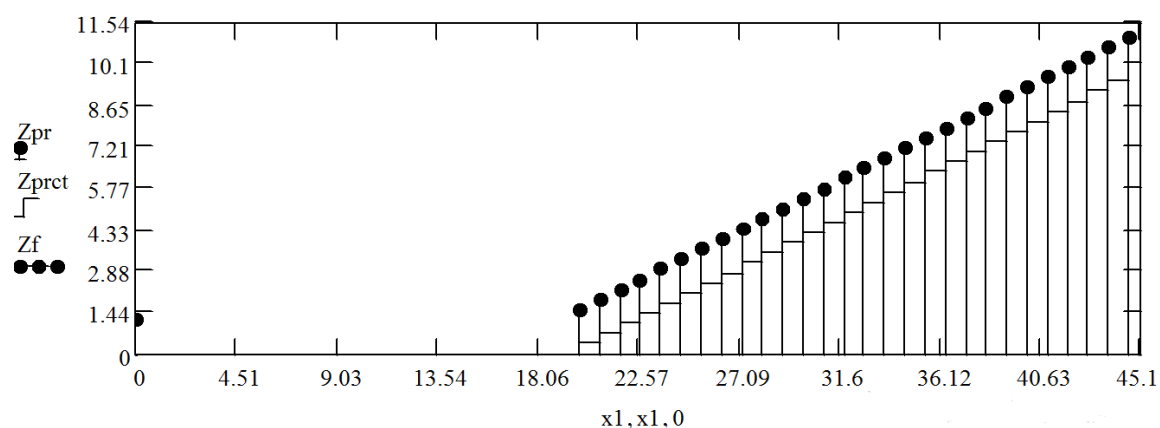


Рис. 2. Монокулярні очі глядачів та гребінка рядів на розрізі

В межах ряду, як це і прийнято при розрахунках за двовимірною моделлю, монокулярні очі глядачів знаходилися на однаковій висоті і лежали на горизонтальних прямих, паралельних прямим рядів. Лінія маківок глядачів – теж горизонтальна пряма – утворювалася додаванням до висот очей глядачів антропометричного перевищення C (приймалося рівним [3] 0,15 м). Таким чином, лінія маківок глядачів попереднього ряду та лінія очей глядачів наступного ряду є паралельними прямими. Тому проекція лінії маківок глядачів попереднього ряду на екран з монокулярного ока будь-якого глядача наступного ряду є прямою перетину площини, інцидентної згаданим вище двом прямим, з площиною екрану.

Зрозуміло, що проекція відповідно до лінії маківок, яка є двохланковою ламаною, теж буде двохланковою ламаною. Якщо вона перетинатиме площину екрану вище горизонтальної фокусної лінії (розміщена на висоті 1,2 м від горизонтальної підлоги першого ряду), то виникатиме затуляння. Площа області затуляння не залежатиме від положення глядача в конкретному ряді, тобто однакова для всіх глядачів ряду.

Як показало комп'ютерне моделювання, затуляння виникає тільки для глядачів декількох останніх рядів – з 26-го по 29-й ряд (рис. 3). Для глядачів останнього 29-го ряду дві ланки проекції маківок глядачів 28-го ряду проходять через фокусну точку ($y=0$, $z=1,2$ м), що впливає з використаного способу підйому рядів.

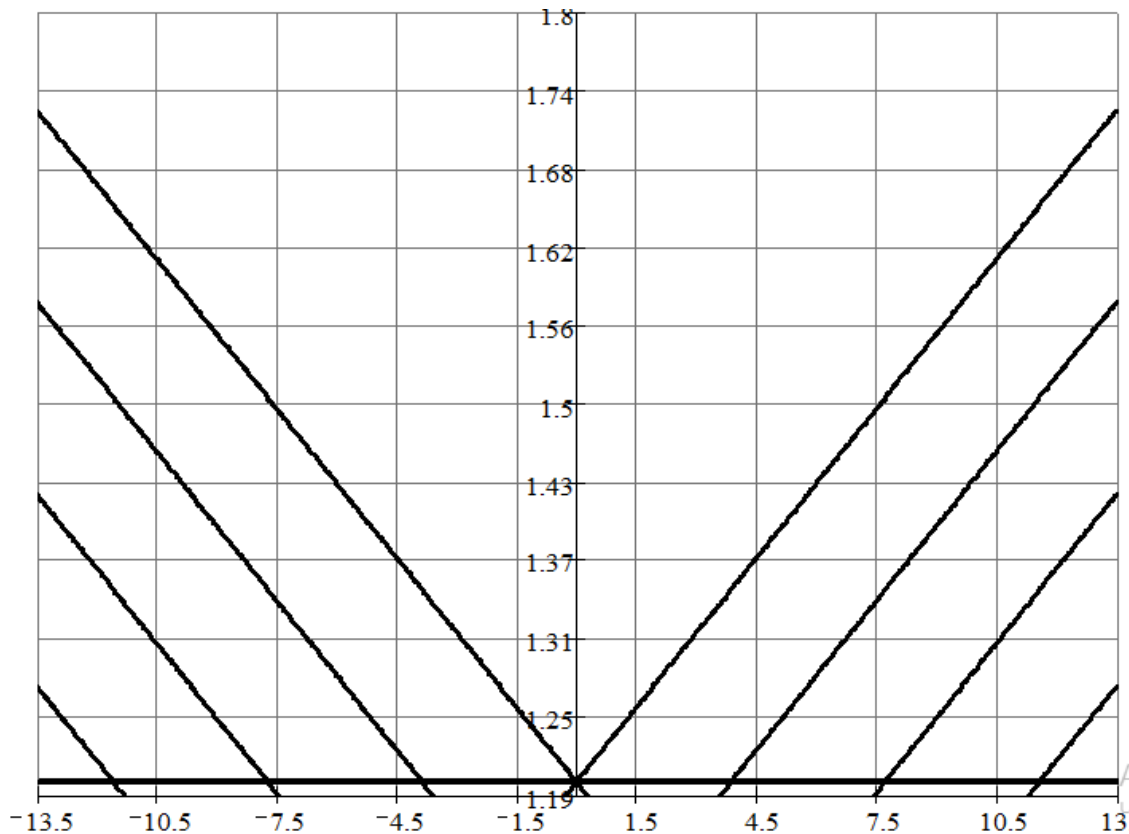


Рис. 3. Горизонтальна фокусна лінія та ламані проєкцій маківок глядачів 26-29 рядів

На рис. 3 показано фокусну лінію (потовщена горизонтальна пряма) та ламані проєкцій маківок глядачів 29-го, 28-го, 27-го та 26-го рядів. Площа затулювання для глядачів даного ряду визначалась як площа одного з трикутників, обмеженого ланкою проєкції маківок, фокусною лінією та боковою кромкою екрана.

Як видно з рисунку 3, площа затулювання максимальна для глядачів останнього 29-го ряду і поступово зменшується для решти зазначених рядів. Вона становить для глядачів 29-го ряду $3,541 \text{ м}^2$, для глядачів 28-го ряду – $1,806 \text{ м}^2$, для глядачів 27-го ряду $0,649 \text{ м}^2$ і $0,072 \text{ м}^2$ – для глядачів 26-го ряду. Сумарна площа затулювання для всього залу становить $444,992 \text{ м}^2$ (визначалась як добуток кількості глядачів даного ряду і площі затулювання для глядачів даного ряду).

Середня площа затулювання на одного глядача, якщо брати до уваги всіх глядачів, становить $0,145 \text{ м}^2$. Якщо брати до уваги тільки глядачів, для яких виникає затулювання – $0,773 \text{ м}^2$.

Номер останнього ряду, для якого ще не виникає затулювання, можна визначити з умови, що проєкція лінії маківок його глядачів з ока будь-якого глядача наступного ряду перетинає бічну кромку екрана не вище фокусної лінії. Наслідком цієї умови є рівняння (1):

$$n = Ent \frac{(r - C) \cdot \cos \alpha \cdot H + 2 \cdot (X1 \cdot (C - r) \cdot \sin \alpha + d \cdot (h - C - Zf))}{-2 \cdot d \cdot C}, \quad (1)$$

де r – висота присхідця гребінки рядів, C – антропометричне перевищення, α – кут між віссю X і прямими рядів в плані (на рис. 1 він дорівнює 80°), H – ширина екрана (на рис. 1 – 27 м), $X1$ – відстань в плані від фокусної точки до спинки сидіння першого ряду, d – глибина ряду, h – висота очей сидячого глядача над підлогою (1,2 м), Zf – висота фокусної лінії (точки) над рівнем підлоги першого ряду, Ent – функція Ант'є (ціла частина).

Для нашого випадку функція (1) дає значення 25, тобто 25-й ряд є останнім рядом, для якого затуляння не виникає.

Висновок. Запропонована модель дозволяє: оцінити фактичне затуляння, що виникає в залі кінотеатру з плоским екраном, якщо ряди місць в плані є двохланковими ламаними, а підйом рядів запроектовано по похилій прямій; показати нерівномірний характер затуляння та розміщення області затуляння на кіноекрані. Подальші дослідження можна спрямувати на моделювання площі затуляння при інших комбінаціях форм рядів в плані і форм фокусних ліній, а також – об'єму затуляння, наприклад, на футбольних стадіонах. Цікавим і невирішеним питанням залишається також зонування місць для глядачів, зважаючи на затуляння об'єкта спостереження.

Література

1. Богословский В.А. Расчет видимости и построение мест для зрителей в зрелищно-массовых сооружениях/ В.А. Богословский, А.М. Данилюк. – М.: Гос. арх. изд. акад. арх. СССР, 1940. – 140 с.
2. Гаклина Е. Д. Пособие по проектированию видимости в зрительных залах / Е.Д. Гаклина, В.М. Иванов, М.Р. Савченко. – М.: Стройиздат, 1976. – 70 с.
3. ДБН В.2.2-16-2005. Культурно-видовищні та дозвіллеві заклади. – К.: Держбуд України, 2005. – 63 с.
4. Кокоч М. В. Моделювання фактичного затуляння в залі кінотеатру з ламаними в плані рядами місць / М.В. Кокоч, Є.В. Пугачов // Технічна естетика і дизайн. – 2012. – Вип. 10. – С. 93-97.
5. Кокоч М. В. Моделювання фактичного затуляння в залі кінотеатру з ламаними в плані рядами і розміщенням місць на відсіках похилих площин / М.В. Кокоч, Є.В. Пугачов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2012. – Вип. 4. – Т. 55 – С. 110-115.
6. Кокоч М. В. Визначення фактичного затуляння в залі з ламаними в плані рядами місць / М.В. Кокоч, Є.В. Пугачов // Технічна естетика і дизайн. – 2012. – Вип. 11. – С. 67-71.

7. Пугачов Є.В. Порівняння і аналіз формул для розрахунку безперешкодної видимості / Є.В. Пугачов // Вісник НУВГП. – 2007. – Вип. 2 (38). – С. 220-227.
8. Пугачов Є. В. Видимість і зорове сприйняття в будівлях і спорудах для глядачів / Є. В. Пугачов, В.А. Зданевич. – Рівне: НУВГП, 2014. – 150 с.

ОЦЕНКА ЗАГОРАЖИВАНИЯ В КИНОТЕАТРЕ С РЯДАМИ В ПЛАНЕ В ВИДЕ ДВУХЗВЕННОЙ ЛОМАННОЙ, РАЗМЕЩЕННЫМИ НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Зданевич В.А., Кундрат Т.Н., Литницкий С.И., Пугачев Е.В.

Разработан способ оценки фактического загроаживания в кинотеатре с рядами в плане в виде двухзвенной ломаной для случая, когда беспрепятственная видимость проектируется посредством подъема рядов по наклонной прямой.

Ключевые слова: беспрепятственная видимость, ломаные в плане ряды мест, площадь загроаживания.

SCREENINGESTIMATION AT THE CINEMA WITH NUMBERS IN THE PLAN IN THE FORM OF TWO-LINK A BROKEN LINE, PLACED ON THE INCLINED PLANE

Zdanevych V., Kundrat T., Litnitskiy S., Pugachov E.

At a cinema with numbers in the plan in a the form two-link a broken line the way of an estimation of an actual screening is developed for a case when unobstructed visibility is projected by means of lifting of numbers on a inclined straight line.

Keywords: unobstructed visibility, broken in the plan numbers of places, the screening area.

УДК 621.91.011+515.2:18.62

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКОВОЇ ФРЕЗИ НА БАЗІ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ПРОЕКТУВАННЯ AUTOCAD

Подкоритов А.М., д.т.н.

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

Ісмаїлова Н. П., д.т.н.,

Трушков Г.В.,

Радченко І.Г.,

Лебедева Л.В.

Військова академія (м. Одеса, Україна)

В роботі розглянуто технологію тривимірного комп'ютерного геометричного моделювання інструментальної поверхні дискового різального інструменту. Спрофільована вихідна інструментальна поверхня способом кругового проектування, для обробки спряжених гвинтових нелінійчатих поверхонь довільного профілю в системі автоматизованого проектування AutoCAD.

Ключові слова: геометричне моделювання, колове проєкціювання, дисковий різальний інструмент, обертання, гвинтові поверхні, спряжені поверхні.

Постановка проблеми. У професійній проектно-конструкторській діяльності особливо важливе значення займає комп'ютерне геометричне моделювання, яке дозволяє ефективно виконати інженеру розробити і дослідити геометричну модель конструкції виробу. Інженер-конструктор повинен знати сучасні методи комп'ютерного геометричного моделювання та розвивати на цій основі просторове та технічне мислення.

Проектування дискових фрез для обробки гвинтових нелінійчатих поверхонь довільного профілю вельми трудомісткий процес. Комп'ютерне твердотільне геометричне моделювання дискових фрез для обробки складних гвинтових поверхонь в разі підвищує продуктивність розрахунково-конструкторських робіт і точність профілювання дискових фрез.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показав аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних учених показав, що комп'ютерне геометричне моделювання є невід'ємною складовою конструкторсько-технологічної діяльності. Це обумовлено важливою

роллю автоматизованого двовимірного та тривимірного геометричного моделювання на різних стадіях проектування.

Комп'ютерне моделювання дискових фрез для обробки гвинтових нелінійчатих поверхонь складної форми вирішує проблему підвищення точності профілювання та продуктивності праці конструктора.

Формулювання цілей статті. Метою даного дослідження є розробка комп'ютерного геометричного моделювання дискових фрез для обробки гвинтових нелінійчатих поверхонь довільного профілю.

Основна частина. Сучасні програми комп'ютерного геометричного моделювання дозволяють оглянути створену тривимірну геометричну модель окремого виробу з усіх боків, зробити довільний розріз чи переріз, відредагувати, отримати якісне реалістичне текстуроване зображення з урахуванням освітлення. Розглянемо порядок визначення вихідної поверхні дискової фрези для обробки нелінійчатих поверхонь довільного профілю.

В основі методу лежить теорема доц. Ю.Н. Іванова: вироджена колова проекція поверхні обертання являється обвідною колових проекцій ходів точок гвинтової поверхні, спряженої з поверхнею обертання.

Розглянемо алгоритм профілювання дискової фрези спряженої з гвинтовою поверхнею.

Дано: Гвинтова поверхня Σ і вісь f дискової фрези, спряженої з гвинтовою поверхнею. Необхідно побудувати меридіан дискової фрези рис.1.

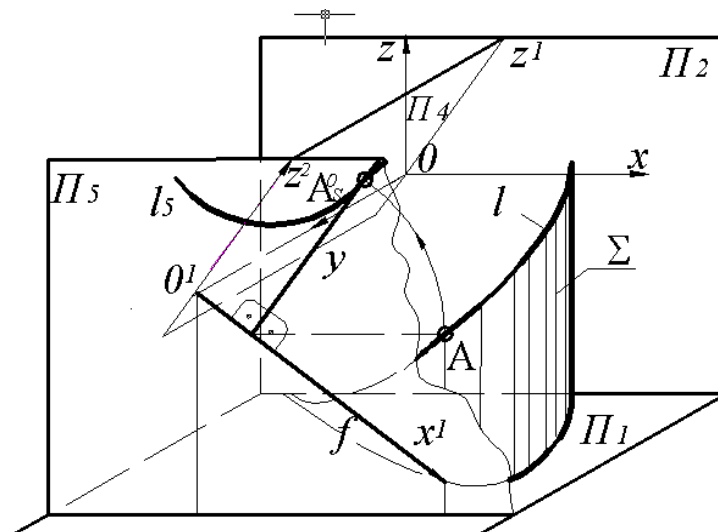


Рис.1

Алгоритм

1. Побудувати площину Π_5 , яка проходить через вісь f дискової фрези.

2. Побудувати ходи точок, тобто гвинтову лінію 1 гвинтової поверхні.

3. Приймаючи площину P_5 за площину проєкцій, а вісь f дискової фрези за вісь колового ортогонального проєкціювання, будемо колові проєкції всіх гвинтових ліній на площину P_5 .

4. Будуємо l_5 обвідну колових проєкцій гвинтових ліній. Лінія l_5 являється меридіаном дискової фрези, спряженої з гвинтовою поверхнею.

Комп'ютерне геометричне моделювання дискових фрез для обробки гвинтових нелінійчатих поверхонь довільного профілю в системі AutoCAD

- Створюємо шари ліній “основні”, ”осьові”. В шарі “осьові” будемо вісь обертання .

- На вигляді «Зліва» в шарі “основні” будемо профіль дискової фрези і посадочного отвору з використанням команд «Відрізок», «Сплайн», «Коло» та об'єктних прив'язок. (рис.2 а);

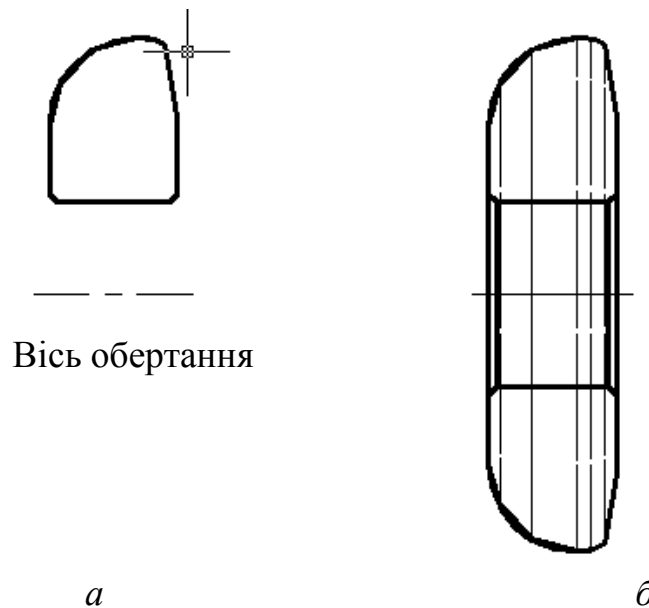


Рис. 2

- Командою «Область» об'єднаємо в замкнену область профіль фрези і за допомогою команди «Обертати» обернемо навколо осі на 360 (рис.2 б) ;

- На вигляді «Спереду» будемо профіль зуба фрези, впадину і шпонковий паз (рис.3). Командою «Область» формуємо замкнені контури областей, виділених. За допомогою команди «Масив», ключ «Полярний» створюємо масив зубців і впадин фрези.

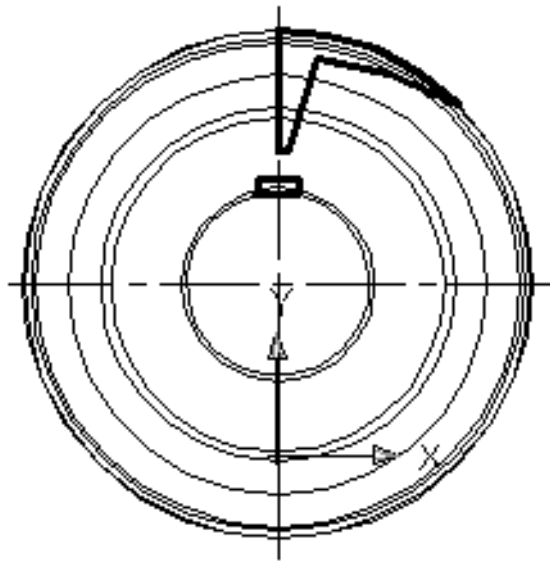


Рис.3

- Командою «Видаввити» видавлюємо замкнені контури впадин зуба та шпонкового пазу на задану висоту;
- Командою «Віднімати» видаляємо видавлені впадини зуба та шпонкового пазу із об'єкту фрези;
- Меню «Вид», «Видові екрани», 2 Переглянути порти, встановлюємо «Фронт» і «Зліва» для отримання двох виглядів дискової фрези (рис.4);

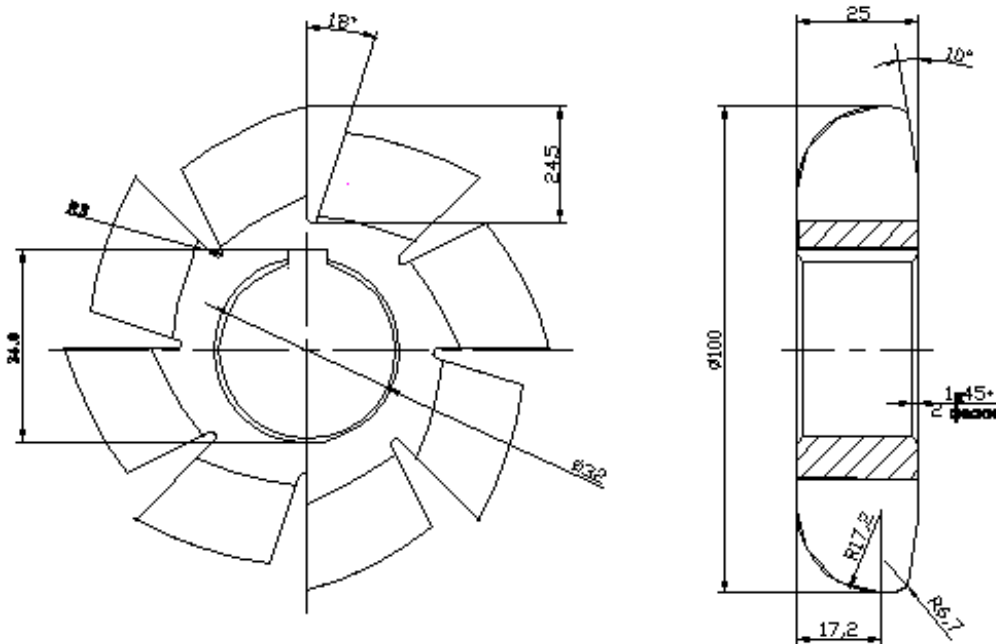


Рис.4

- Для більш реалістичного зображення встановлюємо «Ізометрія» і за допомогою команди «Приховати» отримаємо зображення дискової фрези в каркасному вигляді (рис.5). За допомогою команди «Тонувати» можна отримати наочне зображення дискової фрези, якщо в ньому є потреба.

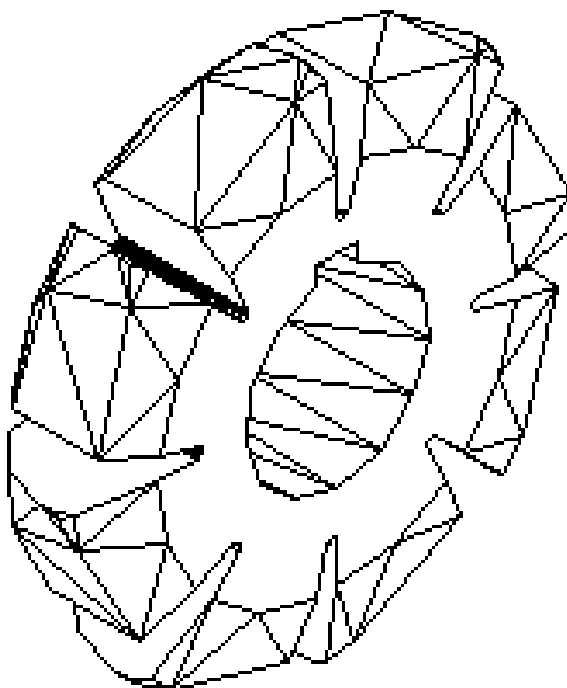


Рис.5

Висновки. Геометричне моделювання, яке використовується у професійній проектно-конструкторській діяльності вкладає спосіб побудови а саме об'ємної тривимірної комп'ютерної моделі, яка по суті є комп'ютерною, математичною, інформаційною, візуально-образною та має деякі властивості фізичної моделі.

Комп'ютерне геометричне моделювання різальних інструментів, в тому числі і дискових фрез значно підвищує на стадії проектування точність їх профілювання та продуктивність розрахунково-конструкторських робіт.

Література

1. Подкоритов А.М. Теоретичні основи спряжених квазігвинтових поверхонь, що виключають інтерференцію [Текст]: монографія / А. М. Подкоритов, Н. П. Ісмаїлова // Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2016. – 330 с.

2. Иванов Ю.Н. Профилирование дисковых фрез для обработки винтовых поверхностей / Ю.Н. Иванов. – Техн.-экон. Бюл. №5: Омский совнархоз, 1962.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКОВОЙ ФРЕЗЫ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTOCAD

Подкорытов А.Н., Исмаилова Н. П., Трушков Г.В., Радченко И.Г.,
Лебедева Л.В.

Рассмотрена технология трехмерного компьютерного геометрического моделирования инструментальной поверхности дискового режущего инструмента. Спрофилирована исходная инструментальная поверхность способом кругового проецирования, для обработки сопряженных винтовых нелинейчатых поверхностей произвольного профиля в системе автоматизированного проектирования AutoCAD.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, круговое проецирования, дисковый режущий инструмент, вращения, винтовые поверхности, сопряженные поверхности.

GEOMETRICAL MODELING OF THE DISC MILL ON THE BASIS OF THE COMPUTER PROGRAM OF DESIGNING AUTOCAD

Podkorytov A., Ismailova N., Trushkov G., Radchenko I.,
Lebedeva L.

The technology of three-dimensional computer geometrical modeling of the tool surface of a disk cutting tool is considered. The initial tool surface is projected by the circular projection method, to process the conjugate screw non-linear surfaces of an arbitrary profile in the AutoCAD automated design system.

Key words: geometric modeling, circular projection, disk cutting tool, rotation, screw surfaces, conjugate surfaces.

УДК 631.362.3.002.5

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ВИБОРУ МАШИН ІЗ МНОЖИНИ АЛЬТЕРНАТИВ

Караєв О.Г., д.т.н.,

*Таврійський державний агротехнологічний
Університет (м. Мелітополь, Україна)*

Пахаренко В.О., д.т.н.,

Рубцов М.О., к.т.н.

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

Обґрунтовано застосування тензорного числення для задач прийняття рішень щодо вибору оптимального варіанту сільськогосподарських машин із множини альтернатив з урахуванням особливостей технологій. Якість виконання технологічних операцій запропоновано представляти множинами значень дійсних і нормативних параметрів, а ресурсів і часу – дійсними. Наведено математичну модель процесу вибору, за допомогою якої мінімізується сума векторів узагальнюючого тензора з урахуванням коефіцієнтів прогнозованого економічного ефекту і вартості праці оператора машин.

Ключові слова: вибір машин, оцінювання, критерії, параметричне середовище, векторні функції, тензори.

Постановка проблеми. Необхідність у визначенні оптимального складу механізованого технологічного комплексу машин виникає на стадії розробки базової технологічної документації, або у виробничих процесах певного господарства і є актуальним завданням технічної політики АПК [1]. Зараз не існує ефективних методів прийняття рішень щодо вибору у склад МТК, які б були доведені до практичного застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальним недоліком існуючих методів вибору машин [2, 3] є те, що їх алгоритми базуються на показнику приведених витрат, який має властивість цінової еластичності і не містять шкали виміру якості виконання робіт. Застосування для вибору машин методів прийняття рішень за багатьма критеріями (адитивна згортка критеріїв, мультиплікативна, логічна, часова, геометрична) ускладнюється тим, що дані методи містять математичні абстракції структур простору критеріїв (лінійна, нормована, метрична), що ускладнює (без аналітика) здійснення

вибору згортки критеріїв [4]. Зазначені недоліки суттєво знижують об'єктивність результатів моделювання за такими методами.

Формулювання цілей статті. Метою досліджень є розроблення методу вибору машин у склад технологічного комплексу з ознаками ощадного витрачання матеріальних і енергетичних ресурсів та з забезпеченням встановленої якості робіт.

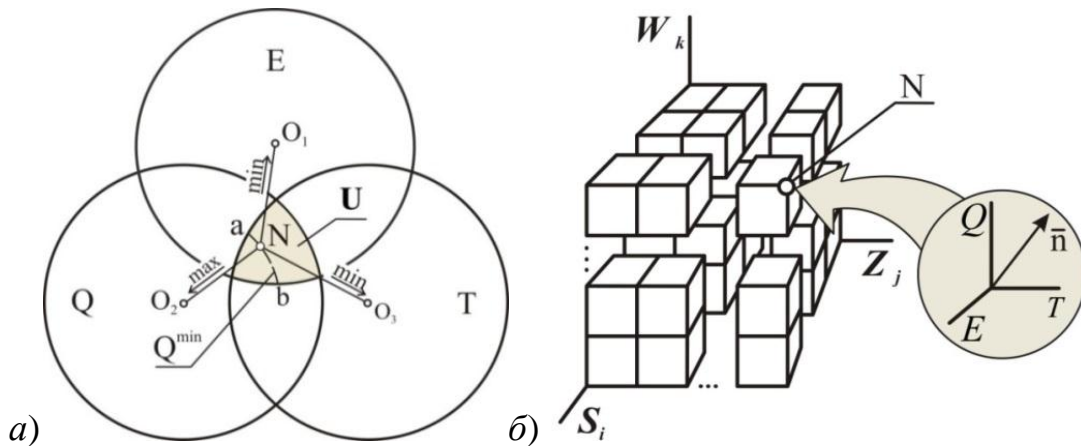
Основна частина. Оскільки машини є частиною відкритої системи, то їх параметри характеризуються неоднозначно, а вплив випадкових збурюючих факторів має суттєве значення. Процеси, які відбуваються в таких системах є стохастичними, а їх стан оцінюється в термінах математичного очікування і характеризується ймовірнісним законом розподілу. При цьому цільову функцію можна представити у вигляді:

$$\begin{cases} P_1 = P(E_{ij}^K \leq E_K^{max}); \\ P_2 = P(Q_{ij}^K \geq Q_K^{min}); \\ P_3 = P(T_{ij}^K \leq T_K^{max}); \\ Y = \min(P_1 P_2 P_3), \end{cases} \quad (1)$$

де $Y \rightarrow \max$ – критерій оптимальності;

P_1, P_2, P_3 – ймовірності витрат ресурсів E_{ij}^k і часу T_{ij}^k та забезпечення якості Q_{ij}^k на k -му процесі i -ю операцією та j -ю машиною.

Геометричне представлення цільової функції (1) наведено на рис.1.



U – множина нормативних значень E, Q і T ; N – певний варіант машини; \bar{n} – вектор-аргумент критерію оптимізації

$F(E_{ij}^k, Q_{ij}^k, T_{ij}^k)$; W – технологічні процеси;

S – технологічні операції; Z – машини.

Рис.1. Геометрична інтерпретація цільової функції 1 (а) і тензора (б)

На рис. 1 значення параметрів матеріальних ресурсів E , якості Q та часу T представлені перехресними колами. Межі перетину кіл

визначають область множини нормативних значень параметрів U . Кожна точка N_i з даної множини має відстані до центрів кіл, які визначаються відрізками O_1N_i , O_2N_i , O_3N_i . При цьому, ймовірність досягнення визначених обмежень за будь-якою з трьох функцій (1) виникає при меншому значенні відповідного відрізка до центру кола. З наведеного виходить, що оптимізація цільової функції (1) полягає в мінімізації такої з трьох функцій, у якій відрізок від точки N_i до центра кола є найбільший. У варіанті співвідношень параметрів E , Q і T (рис. 1,а)) найбільшу відстань до центра кола має функція обмеження за часом T , а лінією a b визначена межа мінімального нормативного значення якості Q^{min} . Тому при оптимізації даного варіанту необхідно мінімізувати відрізок O_3N та максимізувати критерій оптимальності Y .

При розгляді даної задачі в просторі множини параметрів можливих рішень складається з величин ресурсів E_{ij}^k , якості Q_{ij}^k та часу T_{ij}^k , які є скалярними і утворюють неоднорідне параметричне середовище. Прийняття оптимального рішення в такому середовищі супроводжується зміною системи координат та зміною значень критерію пошуку оптимального варіанту. Тобто, критерій повинен визначатися спеціальною матрицею, яка не залежить від зміни системи координат, а компоненти вектора-аргументу критерію мають перетворюватися за визначеним законом. Таким властивостям відповідає тензор, геометричний образ якого наведено на рис.1,б.

Метод розроблено за такою робочою гіпотезою: вхідні дані доцільно представляти у вигляді тензорів, кожен компонент яких може бути числом або вектором та однозначно визначається значеннями $kijl$ -індексів, а саме: $W\{W_k\}$; $S\{S_i\}$; $Z\{Z_j\}$; $E\{E_{ij}^k\}$; $T\{T_{ij}^k\}$; $Q\{Q_{ij}^k\}$; $D\{D_{kijl}\}$ – дійсні значення якості виконання S_i операції Z_j машиною.

Витрати ресурсів представимо тензором

$$I = [I_{ij}^k], \quad (2)$$

де I_{ij}^k – вектор(E_{ij}^k, T_{ij}^k). Він не є нульовим, якщо процес W_k може бути виконаний операцією S_i і машиною Z_j .

Нормативні значення показників якості представимо тензором

$$J = [J_{kl}], \quad (3)$$

де J_{kl} – чотиривимірний вектор ($q_{dop}^{-k,l}, q_{opt}^{-k,l}, q_{opt}^{+k,l}, q_{dop}^{+k,l}$), який містить інтервали допустимих значень ($q_{dop}^{-k,l}, q_{dop}^{+k,l}$) та оптимальних ($q_{opt}^{-k,l}, q_{opt}^{+k,l}$). Тензор не є нульовим у разі, якщо k -й процес можливо оцінити за l -м параметром.

Дійсні значення параметрів якості представимо тензором

$$D = [D_{kijl}], \quad (4)$$

де D_{kijl} – дійсні значення параметра якості Q_{ij}^k .

На основі тензорів (2-4) та часу T_{ij}^k формуємо узагальнений тензор

$$A = [A_{ij}^k], \quad (5)$$

де A_{ij}^k – вектор $(E_{ij}^k, Q_{ij}^k, T_{ij}^k)$ (рис.1,б). Даний тензор не є нульовим, якщо процес W_k може бути виконаний операцією S_i та машиною Z_j із забезпеченням якості не нижче ніж k -й елемент з множини Q_{ij}^k і витрат часу не більше ніж k -й елемент з множини T_{ij}^k .

Функцію якості представимо у вигляді

$$Q_{ij}^k = \prod_{\{G_l: J_{kl} \neq \bar{\theta}\}} \beta_{kl}(D_{kijl}), \quad (6)$$

де $\beta_{kl}(D_{kijl})$ визначається за формулою:

$$\beta_{kl}(x) = \begin{cases} \beta_{kl}^*(x), & \beta_{kl}^*(x) \geq 0 \\ 0, & \beta_{kl}^*(x) < 0 \end{cases},$$

де

$$\beta_{kl}^*(x) = \begin{cases} \frac{(q_{opt}^{-kl} - q_{dop}^{-kl}) + (1 - Q_k^{\min})(x - q_{opt}^{-kl})}{q_{opt}^{-kl} - q_{dop}^{-kl}}, & x \in [q_{dop}^{-kl}; q_{opt}^{-kl}] \\ \frac{(Q_k^{\min} - 1)(x - q_{opt}^{+kl}) + (q_{dop}^{+kl} - q_{opt}^{+kl})}{q_{dop}^{+kl} - q_{opt}^{+kl}}, & x \in [q_{opt}^{+kl}; q_{dop}^{+kl}] \\ 1, & x \in [q_{opt}^{-kl}; q_{opt}^{+kl}] \end{cases}.$$

При такому поданні якості максимальний її рівень дорівнює 1. Графічне зображення функції (6) наведено на рис. 2.

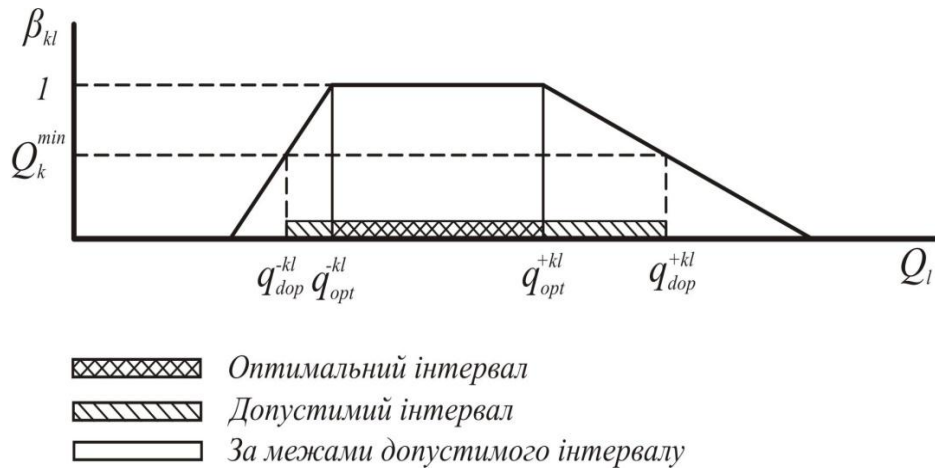


Рис.2. Графічне зображення функції $\beta_{kl}(x)$

Критерій оптимізації може бути представлений у вигляді

$$F = \sum_k (E_{i_k j_k}^k + \alpha(1 - Q_{i_k j_k}^k) + \beta T_{i_k j_k}^k) \rightarrow \min, \quad (7)$$

де α – ваговий коефіцієнт якості; β – ваговий коефіцієнт часу.

Цей критерій є частковим випадком загального критерію (1), причому цільова функція у (7) є зростаючою на будь якій послідовності точок, на якій цільова функція з (1) є спадною. Межами її визначення є множина варіантів $R^* = \{(S_{i_k}, Z_{j_k}) : k = 1..I\} : Q_{i_k j_k}^k \geq Q_k^{\min}, T_{i_k j_k}^k \leq T_k^{\max}, \forall k = 1..I\}$, а коефіцієнти α і β визначаються методом експертної оцінки.

Алгоритм вибору є таким: для кожного компонента тензора (2) обчислюють якість за (6) з урахуванням значень тензорів (3) та (4); формують тензор (5) – тензор (2) замінюють на вектор $(E_{ij}^k, Q_{ij}^k, T_{ij}^k)$; по кожному процесу W_k знаходять пари індекси (i_k, j_k) з множини $\{(i, j) : Q_k \geq Q_k^{\min}, T_k \leq T_k^{\max}\}$, для яких $F_k = E_{i_k j_k}^k + \alpha(1 - Q_{i_k j_k}^k) + \beta T_{i_k j_k}^k \rightarrow \min$; формують множину машин з номерами $\{j_k\}$.

Метод перевірено на прикладі вибору машин для операцій «культивуація» і «боронування» ґрунту в плодовому маточно-живцевому саду. Були отримані дійсні значення якості обробітку ґрунту, витрат енергетичних ресурсів і часу (табл. 1).

Таблиця 1

Значення дійсних параметрів обробітку ґрунту в плодовому саду

Склад машино-тракторного агрегату	Назва операції	Продуктивність, га/год.	Якість обробітку ґрунту*	Витрати пального, л / год.
Т-70 +КСГ- 3,3	культивуація	0,9	0,87	9,8
Т-70 +БДС-3,5	боронування	1,9	0,78	9,0
МТЗ-80 +БДС-3,5	боронування	2,34	0,82	11,5
* Показник: коефіцієнт брилистості ґрунту при його щільності 1,56 г/см ³ і вологості 22%.				

З урахуванням даних табл. 1 отримано узагальнений тензор

$$A = \begin{pmatrix} (10,89;0,87;1,11) & 0 \\ 0 & (4,74;0,78;0,53) \\ 0 & (4,92;0,82;0,43) \end{pmatrix}.$$

Після заміни нульовим вектором векторів тензора A , у яких координати компонентів не відповідають обмеженням щодо якості Q^{\min} і часу T^{\max} та обчисленням значень цільової функції (7) з урахуванням коефіцієнтів:

$$\alpha = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 / \lambda_1 \cdot \lambda_2 = 8470,58,$$

де $\delta_1 = 0,36$ – коефіцієнт витрати ресурсу техніки в процесі обробітку ґрунту; $\delta_2 = 20000$ шт./га – вихід живців; $\delta_3 = 3$ грн./шт. – вартість живців; $\lambda_1 = 15$ грн. /л – вартість пального, $\lambda_2 = 0,17$ л/га – середні витрати пального,

$$\beta = \varepsilon / \lambda_1 \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 = 0,13,$$

де $\varepsilon = 3200$ грн. – вартість роботи оператора машини за місяць; $\sigma_1 = 10,1$ л/год. – середні годинні витрати пального; $\sigma_2 = 8$ год. – тривалість робочого дня; $\sigma_3 = 20$ днів – кількість робочих днів на місяць, маємо тензор

$$A = \begin{pmatrix} 1112,13 & 0 \\ 0 & 1868,21 \\ 0 & 1529,58 \end{pmatrix},$$

де мінімальне значення припадає на «Т70+КСГЗ,3» (табл.1).

Висновки. Запропонований метод забезпечує формування оптимального набору машин по кожному технологічному процесу, виходячи з умов компромісу між мінімізацією матеріальних витрат, часу та максимізації якості виконання робіт на операціях. Подальші роботи у цьому напрямку будуть спрямовані на створення класифікаторів вхідних баз даних для автоматизації процесу прийняття рішень.

Література

- 1.Лінник М.К. Основні завдання з механізації та електрифікації сільського господарства у зв'язку із вступом України в СОТ / М.К. Лінник // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха : ННЦ "ІМЕСГ", 2008. – Вип.92. – С. 42–48.
2. Репетов А.Н. Геометрический способ выбора агрегата для внесения минеральных удобрений / А.Н. Репетов, О.М. Лепшеев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – №2. – С.25-26.
3. Павлюченко Е.И. Анализ и совершенствование методики технико-экономического обоснования и оценки проектных решений в строительстве / Е.И. Пвлюченко, Р.Р. Асланова // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2015.– №8.– С.33-37.
4. Ковальчук К.Ф. Интеллектуальная поддержка принятия экономических решений / К.Ф. Ковальчук. – Донецк: ИЭП НАНУ, 1996. – 224с.

ГОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ МАШИН ИЗ МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВ

Караев А.И., Пахаренко В.А., Рубцов Н.А.

Обосновано применение тензорного исчисления для задач принятия решений по выбору оптимального варианта сельскохозяйственных машин из множества альтернатив с учетом особенностей технологий. Качество выполнения технологических операций предложено представлять множествами значений действительных и нормативных параметров, а ресурсы и время – действительными. Приведена математическая модель, посредством которой минимизируется сумма векторов обобщающего тензора с учетом коэффициентов прогнозируемого экономического эффекта и стоимости труда оператора машин.

Ключевые слова: выбор машин, оценивание, критерии, параметрическое пространство, векторные функции, тензоры.

GEOMETRICAL MODELLING OF DECISION-MAKING AS FOR MACHINES CHOOSING FROM THE SET OF ALTERNATIVES

Karaiev A., Pakhareno V., Rubtsov N.

Tensor calculus application has been substantiated for decision-making tasks as for choosing optimum variant of agricultural machines from the set of alternatives taking into account technologies peculiarities. It has been propose to realize the quality of technological operations by the range of real and normative parameters values, while resources and time - by real ones. The mathematical model has been given by means of which the vectors sum of super-concept tensor is minimized subject to forecasting economic effect coefficients and value of machine-operator labor.

Keywords: machine choosing, alternatives, criteria, parametric space, vector functions, tensors.

УДК 331.101.1+656.7.052

СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ СУМІСНОСТІ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Ковальов Ю.М., д.т.н.,

Шмельова Т.Ф., д.т.н.,

Калашнікова В.В., к.т.н.

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)

В роботі на основі моделей ергатичних систем розглядається оптимізація психологічної сумісності операторів із системами відображення інформації та органами управління у ході професійного відбору та навчання операторів, проектування систем відображення та органів управління, розподілу функцій при груповій роботі, контролю стану операторів, організації середовища перебування.

Ключові слова: ергатична система, хвильова модель С-простору, теорія самоорганізації складних систем, оператор, система відображення інформації, психологічна сумісність.

Постановка проблеми. Проблема підвищення ефективності ергатичних систем (скорочення помилок, підвищення надійності, зменшення часу реакції) є важливим аспектом запобігання різного роду інцидентів, і катастроф. Як свідчить статистика, до 80% авіаційних подій відбуваються з причин, пов'язаних із людським фактором. Таким чином, підвищення психологічної сумісності компонентів ергатичних систем є визначальним для підвищення ефективності останніх. У свою чергу, дбати про психологічну сумісність слід не тільки при проектуванні приладів або підборі екіпажів, але й на стадії професійного відбору, навчання, експлуатації ергатичної системи, контролю стану операторів, розподілу їх функцій при груповій роботі, організації середовища перебування, що визначає системний характер проблеми. Автори дотримуються цього підходу, відрізняючи його від загальноприйнятої теорії «людського фактору».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх публікаціях [1] розглядалися способи моделювання ергатичних систем. Відзначалося, що з причин відмінності їх властивостей (відкритість, емерджентність, фінітність, неоднорідність компонентів, нелінійність взаємодій) від аксіоматичних основ класичних методів моделювання та оптимізації, у цілях дослідження систем та підвищення їх ефективності необхідно використовувати методи оптимізації на основі хвильових моделей С-простору та теорії самоорганізації складних систем. Результатом відповідних досліджень

були обґрунтовані і частково впроваджені рекомендації, які, для отримання синергетичного ефекту, слід доповнити та надати системного характеру.

Формулювання цілей статті. Метою статті є представлення способів оптимізацій психологічної сумісності, а також оцінювання їх внеску у підвищення ефективності ергатичних систем.

Основна частина.

1. Людський фактор. Застосування теорії самоорганізації складних систем до дослідження організації людської свідомості [2; 3], разом із традиційними методами дослідження людського фактору [4; 5], дозволяє визначити канали взаємодії людини з оточуючим середовищем, їх групування, специфічні об'єкти сприйняття кожного із каналів, пріоритети і вагові коефіцієнти (табл.1).

Таблиця 1

Система каналів сприйняття людиною навколишнього світу

Рівні і об'єкти сприйняття	Характеристики сприйняття	Канали
Рівень 1 - єдність	Людина і середовище не відокремлені, але можливість цього потенційно існує	Інтуїція 1
Рівень 2 - відокремлення	Усвідомлення себе як самодостатнього і відокремленого від світу	+ Его 1
Рівень 3 - впливу і реакції	Вплив на навколишній світ, відповідні реакції.	+ Воля і розум 2 (Вплив - реакція, "добре чи погано")
Рівень 4 - простір і час	Упорядкування впливів і реакцій за категоріями простору і часу.	+ Бажання, відчуття і розум 2 * 3 (відстеження форм і змін (екстеро-, проприо-, інтероцептори)
Рівень 5 - кольори, звуки, аромати і т.п.	Організація сприйняття органами почуттів	+ Чуттєві сприйняття, 2 * 3 * 5 (?)
Рівні 6, 7 – відтінки, тони тощо	Розрізнення тонів і нюансів	+ Розрізнення тонів, 2 * 3 * 5 * 8 (?)

Відносна розвиненість кожного із каналів лежить у основі визначення психотипів у популяціях, а також психологічних портретів окремих людей. Для цього застосовується батарея тестів, яка складається із трьох груп: проєктивні тести для оцінювання особистості у цілому (Роршаха, «Оцінка темпераменту», психогеоетричний тощо); тести-опитувачі для оцінювання окремих якостей («Перевірка інтуїції», «Оцінка комунікабельності», «Визначення рівня еготизму мови», «Агресивність», «IQ», «Асоціативні здібності» тощо); тести оцінки поточного емоційного стану для уточнення достовірності результатів тестування по першим

двом групам (шкали особистісної та ситуативної тривожності, «Оцінка стресостійкості особистості»).

Кореляції між психотипами, властивими їм способами сприйняття інформації, способами діяльності, ролями у суспільному житті, умовами комфорту наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Кореляції між психотипами, способами сприйняття, ролями у суспільному житті, способами діяльності, умовами комфорту

Психотип	Основний канал	Суспільний стан	Рід діяльності	Основна умова комфорту
збалансована особистість	усі канали гармонійно розвинуті	«універсальні генії»	будь-яка	гармонія із світом
споглядач	інтуїція	брахмани, монахи, містики	духовна	спокій
егоїст	его	раджі, правителі	управлінська	престиж, самодостатність
борець	воля	кшатрії, воїни	військова	трансформованість
підприємливи й дослідник	розум	вайші, підприємці, вчені, селяни	підприємницька, наукова, виробнича	впорядкованість
богемна особистість	екстероцептори	шудри, маргінали	нав'язаний ззовні	сенсорний комфорт

Усі канали присутні в усіх людей; у окремої особистості може бути декілька пріоритетних каналів, що треба враховувати при проектуванні систем відображення інформації та органів управління.

2. *Прилади відображення та органи управління.* Із табл. 2, впливають доцільні способи кодування у системах відображення інформації, а також організації приладів управління (табл. 3).

Таблиця 3

Кодування даних та організація приладів управління

Психотип	Спосіб кодування даних	Орган управління
збалансована особистість	будь-який	будь-який
споглядач	композиційна єдність	точ-скрин
егоїст	виділеність фігур на фоні	голосові команди
борець	контраст форм та кольорів	перемикач
підприємливий дослідник	аналоговий, цифровий	руль, повзунок, ввід з клавіатури
богемна особистість	кольорами	переміщення по шкалі кольорів

Для оцінювання ефективності наведених рекомендацій існують

такі методи, як підрахунок тривалості зорової фіксації; експертного оцінювання; вимірювання швидкодії та помилок оператора при роботі із натурним зразком системи відображення та органів управління.

Відзначимо, що час реакції оператора, судячи з проведеного оцінювання [1], потенційно може скорочуватися у 3,5-4 рази при суттєвому зменшенні кількості помилок.

3. *Комфортне середовище перебування.* Виходячи із табл. 2, констатуємо, що для кожного із психотипів існують свої вимоги до середовища перебування. У табл. 4 наведено можливі стилістичні рішення, що реалізують ці вимоги.

Таблиця 4

Можливі стилістичні рішення комфортного середовища

Психотип	Стилістичні рішення
збалансована особистість	Будь які, за умови естетичної довершеності на усіх рівнях організації середовища перебування
споглядач	еко- та біостилі
егоїст	сучасні інтерпретації барокко
борець	варіації трансформативного простору
підприємливий дослідник	конструктивізм, функціоналізм
богемна особистість	модерн, постмодернізм, ар-деко

У [6] вони були конкретизовані для задач проектування житла, зокрема, при одночасному проживанні людей різних психотипів. Експертні оцінки показали покращення психологічного комфорту. Можна припустити, що реалізація подібних рекомендацій при проектуванні середовища перебування операторів матиме позитивні наслідки – зменшення втомлюваності, підвищення продуктивності, покращення концентрації, зменшення кількості помилок. Проте експериментальна перевірка цих припущень не проводилася.

4. *Розподіл функцій при груповому управлінні.* Згідно табл. 2, представники окремих психотипів грають різні ролі у суспільному житті. Тож доцільно при груповій роботі підбирати операторів для виконання найбільш природних для них функцій (табл. 5).

Таблиця 5

Розподіл функцій у групі операторів у залежності від психотипу

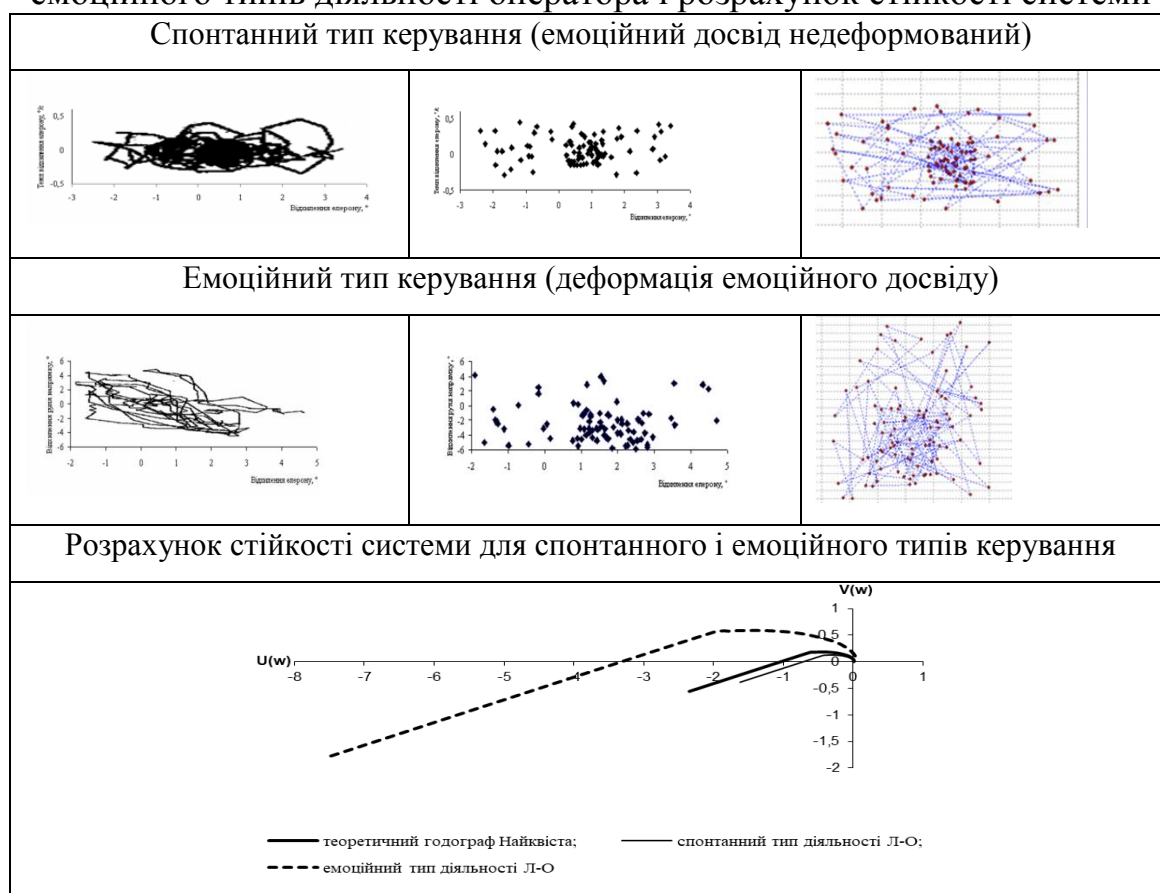
Психотип	Функції у команді операторів
збалансована особистість	генерація нестандартних рішень
споглядач	прогноз нештатних ситуацій
егоїст	керівництво групою
борець	швидкі прості коригуючі дії
підприємливий дослідник	повільні складні коригуючі дії
богемна особистість	регулювання емоційного фону

Ефективність реалізації цих рекомендацій має оцінюватися для конкретної системи у ході натурального експерименту.

5. *Контроль поточного стану операторів* включає оцінювання фізіологічних і психоемоційних показників. При цьому використання теорії самоорганізації доцільне для визначення кількості та взаємозв'язку показників, а також здатності оператора реагувати на зміни у стані системи [1]. Визначення емоційного стану базуються на вимірюванні фізіологічних характеристик. При цьому необхідне дослідження без втручання в умови операторської діяльності. Так, у авіації поширеними засобами оцінки стану пілота є параметри пілотування, переговори екіпажу та радіообмін з диспетчером.

Таблиця 6

Фазові портрети відхилення елеронів, дисперсії спонтанного і емоційного типів діяльності оператора і розрахунок стійкості системи



Для оперативного визначення деформацій емоційного стану пілота застосовано концепцію психічної діяльності, в основу якої покладено властивість людини затримувати або прискорювати плин суб'єктивного часу відносно реального [3-5]. Спонтанне (оптимальне) пілотування характеризується правильністю та своєчасністю дій в позаштатній ситуації. Із зростанням емоціонального напруження можливий перехід до потенційно небезпечних видів психічної діяльності: емоційної – із випередженням дій відносно реального часу та розсудливої – із запізненням дій відносно реального часу. Дії пілота в усіх режимах діяльності визначені фазовими траєкторіями

відхилення елеронів і руля напрямку [5]. Для своєчасного розпізнавання небезпечного емоційного стану пропонується застосування методів фазової площини, дисперсійного аналізу, динамічного моделювання [3; 5]. В табл. 6 наводяться фазові портрети і відповідні розрахункові годографи Найквіста для визначення стійкості ергатичної системи при деформації емоційного стану від оптимального до емоційного типу діяльності. Для оптимального типу керування повітряним судном годограф Найквіста не охоплює критичну точку $(-1;j0)$ і система є стійкою. Годограф Найквіста у разі емоційного типу керування повітряним судном охоплює критичну точку $(-1;j0)$, що свідчить про нестійкість системи.

Відтак, моніторинг емоційного стану, діагностика його деформацій та визначення функціональної стійкості оператора дозволить своєчасно попередити розвиток польотної ситуації в бік погіршення. Виходячи з цього, запропоновано інтелектуальну систему управління (ІСУ) моніторингу та діагностики стану оператора, а також представлено алгоритми психоемоційного діагностування і моніторингу людини за допомогою ІСУ; моделювання, аналізу і синтезу ІСУ; удосконалення ергатичної системи [2; 3; 5].

6. Уточнення до вимог професійного відбору. Для професійного відбору можуть використовуватися перелічені у п.1 тести; при цьому результати такого тестування є основою рекомендацій щодо навчання, роботи з конкретним типом системи відображення інформації (п.2) та підготовкою до певної ролі у груповій роботі (п.4).

7. Удосконалення програм професійного навчання. Не вдаючись до розбору конкретних програм підготовки [1], відзначимо необхідність їх диференціації виходячи не тільки із технічних особливостей ергатичної системи, але й психотипу оператора.

Висновки. Запропоновано систему удосконалень різних аспектів функціонування ергатичних систем, засновану на підвищенні психологічної сумісності її компонентів, а також оцінювань ефективності подібних заходів. Подальші роботи у цьому напрямку пов'язані із експериментальною перевіркою у умовах експлуатації систем, а також реалізацією нових концепцій катастроф та засобів їх запобігання, що впливають із системного підходу.

Література

1. Мхитарян Н. М. Эргономические аспекты сложных систем / Н.М.Мхитарян, Г. В. Бадеян, Ю. Н. Ковалев. – К.:Наукова думка, 2004. – 599 с.
2. Socio-Technical Decision Support in Air Navigation Systems: Emerging Research and Opportunities: monusript / [T. Shmelova, Yu.Sikirda, N. Rizun, Abdel-Badeeh M. Salem, Yu. N. Kovalyov] //

- International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research. – USA, Pennsylvania, 2017. – P. 305.
3. Shmelova T. Models of personality and activities of Remotely Piloted Aircraft System's operator / T. Shmelova, Y. Kovaluov, V. Shostak // 4th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC-2016). – Kyev: Proceeding, 2016. – P.121-125.
 4. Лейченко С. Д. Человеческий фактор в авиации : монография в 2-х книгах / С. Д. Лейченко, А. В. Малышевский, Н. Ф. Михайлик. – Кн. 1. – Кировоград : ИМЕКС, 2006. – 512 с.
 5. Харченко В.П. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2012. – 292 с.
 6. Kalashnikova V.V. Optimization of the elite dwelling with the indicators of psychological comfort [Text]: / V.V. Kalashnikova // Technical and applied scientific publication «Meridian ingineresc». – Chishinau: Technical University of Moldova, 2015. – Edition 2. – P.54-63.

СИСТЕМНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ковалев Ю.Н., Шмелева Т.Ф., Калашникова В.В.

В работе на основе моделей эргатической систем рассматривается оптимизация психологической совместимости операторов с системами отображения информации и органами управления в ходе профессионального отбора и обучения операторов, проектирования систем отображения и органов управления, распределения функций при групповой работе, контроля состояния операторов, организации среды обитания.

Ключевые слова: эргатическая система, система отображения информации, теория самоорганизации систем, психологическая совместимость.

SYSTEM OPTIMIZATION OF PSYCHOLOGICAL COMPATIBILITY IN HME-SYSTEMS

Kovaluov Y.N., Shmelova T.F., Kalashnikova V.V.

On the basis of the structure and functioning models of human-machine-environment systems, optimization of the psychological compatibility of operators, information display systems, controls at all stages of organization and operation of HME systems is considered: professional selection and training of operators, design of display systems and controls, distribution of functions at group work of operators, control of the current psycho-emotional state of operators with the purpose of increasing the efficiency of ergatic systems.

Keywords: HME system, theory of complex systems self-organization, information display system, psychological compatibility.

УДК 515.2

ТРАНСФОРМУВАННЯ СФЕРИЧНОЇ ХРЕСТОПОДІБНОЇ СТЕРЖНЕВОЇ КОНСТРУКЦІЇ В УМОВАХ НЕВАГОМОСТІ

Куценко Л.М., д.т.н.,

Національний університет цивільного захисту України

(м. Харків, Україна)

Запольський Л.Л., к.т.н.

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

(м. Київ, Україна)

Досліджено геометричну модель розкриття в умовах невагомості стержневої конструкції, аналогічної подвійному сферичному маятнику. Для ініціювання руху змодельовані дії імпульсних реактивних двигунів, встановлених на кінцевих точках ланок конструкції.

Ключові слова: подвійна сферична стержнева конструкція, розкриття конструкції у невагомості, рівняння Лагранжа другого роду.

Постановка проблеми. Компоненти великогабаритних космічних стержневих конструкцій доставляються на орбіту у згорнутому вигляді. Після чого необхідно їх трансформувати з метою надання стержням запланованої просторової форми. Зазначене трансформовування здійснюються за допомогою механічної операції *розкриття* [1]. У даній роботі розкриття подвійної (для прикладу) стержневої конструкції розглядається як аналог «коливання» подвійного сферичного маятника у невагомості. Зазначимо, що термін «маятник» у випадку невагомості застосовувати не коректно. Тому далі вживатимемо термін «подвійна сферична стержнева конструкція».

При реалізації розкриття подвійної сферичної стержневої конструкції у невагомості виникає проблема вибору способів активації її руху. В якості засобів ініціювання розкриття пропонується використовувати імпульсні реактивні двигуни (типу піропатронів), встановлених на кінцевих точках ланок стержневої конструкції. Динаміку процесу розкриття конструкції доцільно досліджувати на основі варіаційного принципу Лагранжа. При цьому необхідно адаптувати до невагомості «коливання» подвійного сферичного маятника. При складанні рівнянь Лагранжа другого роду потенціальну енергію консервативної механічної системи вважатимемо «близькою до нуля» [2]. Піротехнічні пристрої набагато легші і дешевші

порівняно з засобами ініціювання розкриття конструкції, такими, як електродвигуни або пружинні пристрої з термопам'яттю. Крім того, піротехнічні пристрої економічно рентабельні у випадках, коли операцію розкриття необхідно використати на орбіті лише один раз. Все це вказує на доцільність дослідження моделей розкриття стержневих конструкцій в умовах невагомості з імпульсними двигунами на кінцевих точках їх ланок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На практиці більш вживаними є каркасні тросові системи розкриття, де за допомогою електродвигунів та тросів здійснюється синхронізація зміни величин кутів між суміжними ланками. У роботах [3, 4] наведені математичні моделі процесу розкриття багатоланкової каркасної конструкції сонячної батареї із тросовою системою синхронізації. При цьому на основі аналізу кінематичної схеми системи розкриття необхідно обрати розміри радіусів роликів і передатного відношення двох типів шестерних механізмів, що забезпечують задану послідовність фіксації ланок. Для дослідження процесу розкриття сонячної батареї використане рівняння Лагранжа другого роду [4]. Але застосування тросової системи розкриття на практиці обмежено розмірами конструкції та необхідністю синхронізувати дію електродвигунів, що є самостійною задачею при великій кількості ланок. Для чисельного аналізу процесу розкриття конструкцій, що трансформуються, використовують можливості сучасних пакетів моделювання динаміки механічних систем. Робота [5] присвячена методу розрахунку розкриття великогабаритних конструкцій з використанням програмних комплексів MSC.Software. В роботі [6] наведено приклад розрахунку розкриття за допомогою комплексу автоматизованого динамічного аналізу багатокomпонентних механічних систем EULER. Але зазначені програмні продукти не розраховані без відповідних надбудов на реалізацію інерційного способу розкриття багатоланкових конструкцій. Інші варіанти систем розкриття наведені у огляді літератури [7].

Формулювання цілей статті. Розробити геометричну модель розкриття в умовах невагомості стержневої конструкції, аналогічної подвійному сферичному хрестоподібному маятнику. Для ініціювання руху конструкції змодельовати дію імпульсних піротехнічних реактивних двигунів, встановлених на кінцевих точках ланок конструкції.

Основна частина. Розглянемо рух подвійної сферичної стержневої конструкції у невагомості. Оберемо її хрестоподібну модифікацію. Узагальненими координатами вважатимемо кути $u_1(t)$ і $v_1(t)$, а також $u_2(t)$ і $v_2(t)$, утворені, відповідно, горизонтальними проекціями стержнів з віссю Ox , і цими стержнями з віссю Oz (рис. 1).

Перша ланка початковою точкою прикріплена до нерухомої точки O , а серединні точки ланок довжиною $2r_1$ і $2r_2$ співпадають. Нерухомість точки кріплення O забезпечується завдяки її приєднанню до космічного апарату, маса якого на порядки більша маси вантажу маятника. На кінцях стержнів закріплені вантажі масами m_1 і m_2 .

Ініціювання коливань подвійної сферичної стержневої конструкції у невагомості здійснюється шляхом вибору напрямку дії та величини імпульсів, наданих прикінцевим точкам ланок маятника за допомогою реактивних двигунів імпульсного типу. Віртуальний вектор \mathbf{R}_{V1} одержуємо внаслідок дії імпульсу за напрямком розкриття кута v_1 , а віртуальний вектор \mathbf{R}_{U1} одержуємо внаслідок дії імпульсу за напрямком розкриття кута u_1 . Сумарний реальний вектор $\mathbf{R}_1 = \mathbf{R}_{U1} + \mathbf{R}_{V1}$ визначає необхідний напрямок дії імпульсу першого реактивного двигуна.

Аналогічно, віртуальний вектор \mathbf{R}_{V2} одержуємо внаслідок дії імпульсу за напрямком розкриття кута v_2 , а віртуальний вектор \mathbf{R}_{U2} одержуємо внаслідок дії імпульсу за напрямком розкриття кута u_2 . Сумарний реальний вектор $\mathbf{R}_2 = \mathbf{R}_{U2} + \mathbf{R}_{V2}$ визначає необхідний напрямок дії імпульсу другого реактивного двигуна.

Ці вимоги до організацій дії рушіїв коливання стержневої конструкції висуває конкретні умови до конструкції сферичного шарніру, розташованого між ланками конструкції. А саме, сферичний шарнір у вузлі повинен забезпечувати розкриття його ланок за умови існування двох осей обертання, яка проходить через центральну точку шарніру. Цього можна досягти завдяки належній конструкції сферичного шарніру вузла маятника, описаній, наприклад, в [8].

Розрахунки коливання хрестоподібного сферичного маятника виконаємо за допомогою лагранжіана за умови відсутності дисипативних сил і з врахуванням «нульової» потенціальної енергії:

$$L = 0,5r_1m_1(x'_A{}^2 + y'_A{}^2 + z'_A{}^2) + 0,5r_1m_1(x'_B{}^2 + y'_B{}^2 + z'_B{}^2) + \\ + 0,5r_2m_2(x'_C{}^2 + y'_C{}^2 + z'_C{}^2) + 0,5r_2m_2(x'_D{}^2 + y'_D{}^2 + z'_D{}^2), \quad (1)$$

де $x_A(t) = r_1 \cos(u_1(t)) \sin(v_1(t));$

$$y_A(t) = r_1 \sin(u_1(t)) \sin(v_1(t));$$

$$z_A(t) = r_1 \cos(v_1(t));$$

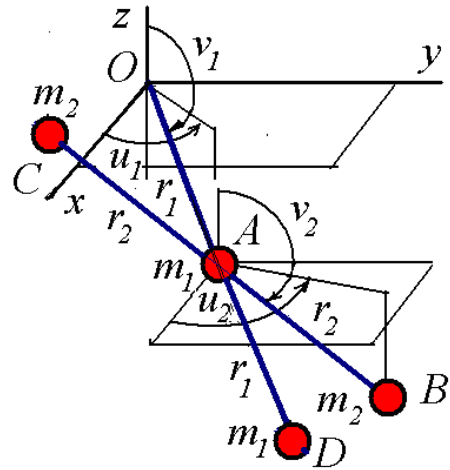


Рис. 1. Схема сферичної хрестоподібної стержневої конструкції

$$\begin{aligned}
x_B(t) &= r_1 \cos(u_1(t)) \sin(v_1(t)) + r_2 \cos(u_2(t)) \sin(v_2(t)); \\
y_B(t) &= r_1 \sin(u_1(t)) \sin(v_1(t)) + r_2 \sin(u_2(t)) \sin(v_2(t)); \\
z_B(t) &= r_1 \cos(v_1(t)) + r_2 \cos(v_2(t)); \\
x_C(t) &= r_1 \cos(u_1(t)) \sin(v_1(t)) - r_2 \cos(u_2(t)) \sin(v_2(t)); \\
y_C(t) &= r_1 \sin(u_1(t)) \sin(v_1(t)) - r_2 \sin(u_2(t)) \sin(v_2(t)); \\
z_C(t) &= r_1 \cos(v_1(t)) - r_2 \cos(v_2(t)); \\
x_D(t) &= 2r_1 \cos(u_1(t)) \sin(v_1(t)); \\
y_D(t) &= 2r_1 \sin(u_1(t)) \sin(v_1(t)); \\
z_D(t) &= 2r_1 \cos(v_1(t)).
\end{aligned} \tag{2}$$

З використанням лагранжіану L утворимо систему чотирьох рівнянь Лагранжа другого роду:

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial u_1'} \right) - \frac{\partial L}{\partial u_1} &= 0; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_1'} \right) - \frac{\partial L}{\partial v_1} = 0; \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial u_2'} \right) - \frac{\partial L}{\partial u_2} &= 0; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_2'} \right) - \frac{\partial L}{\partial v_2} = 0.
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\text{Тут } u_1' = \frac{d}{dt} u_1(t); \quad v_1' = \frac{d}{dt} v_1(t); \quad u_2' = \frac{d}{dt} u_2(t); \quad v_2' = \frac{d}{dt} v_2(t).$$

похідні функції опису узагальнених координат. З причини громіздкості в розгорнутому вигляді рівняння (3) не наводяться. Воно існує в електронному вигляді у середовищі *maple*. Зазначимо, що аналітичні вирази для рівнянь Лагранжа другого роду, як правило, є надто громіздкими. Тому бажано користуватись комп'ютерними пакетами, спроможними оперувати з аналітичними виразами. Наприклад, пакет *maple* дозволяє оперувати з наближеним розв'язком диференціального рівняння як з функцією.

При розв'язанні системи рівнянь (3) слід враховувати координати таких векторів: довжин ланок маятника: $\mathbf{L}=\{r_1, r_2\}$; значень мас вантажів: $\mathbf{m}=\{m_1, m_2\}$; значень початкових кутів відхилень: $\mathbf{U}_0=\{u_1(0), v_1(0), u_2(0), v_2(0)\}$, а також значень швидкостей, наданих кутам відхилень: $\mathbf{U}_0'=\{u_1'(0), v_1'(0), u_2'(0), v_2'(0)\}$. Систему рівнянь Лагранжа другого роду (3) розв'язано наближено методом Рунге-Кутти в середовищі математичного пакету *maple*. Одержані розв'язки умовно позначено символами $U_1(t)$, $V_1(t)$, $U_2(t)$, $V_2(t)$. Це дозволяє у просторовій системі координат $Oxyz$ за допомогою формул (2) визначити «реальні» координати кінцевих вузлових точок другої ланки маятника в момент часу t . Для обчислення цих координат у виразах (2) опису координат вузлових елементів маятників необхідно

формально замінити малі літери u і v на великі U і V . Наближений вигляд траєкторії переміщення кінцевої точки одержимо, сполучивши обчислені близькі точки відрізками.

Одержані залежності для функцій узагальнених координат дозволяють спостерігати за взаємним положенням ланок конструкції протягом певного відрізка часу. Можна обрати той момент часу, коли подвійна сферична стержнева конструкція набуде необхідної для досліджень просторової форми. Крім того, можна побудувати графіки зміни у часі величин кутів як функцій узагальнених координат, а також перших та других похідних цих функцій. А це, в свою чергу, дозволяє оцінити силові характеристики системи в момент фіксування (стопоріння) розкриття. Силові характеристики обчислюються як добуток відповідної маси на значення другої похідної функції узагальненої координати (тобто прискорення). У випадку, коли значення силових характеристик є недопустимими, то за допомогою комп'ютерної анімації можна визначити інший момент часу, коли в процесі розкриття стержнева конструкція набуде іншої прийнятної форми.

Для запобігання хаотичності при формоутворенні конструкції необхідно параметри підібрати так, щоб кінцева точка другої ланки рухалась по циклічній нехаотичній траєкторії. Наявність циклічних траєкторій кінцевої точки другої ланки вважатимемо критерієм нехаотичності руху елементів стержневих конструкцій. Циклічні нехаотичні траєкторії кінцевих точок визначаємо способом «фокусування» сім'ї кривих [9, 10].

Наведемо приклад трансформування у невагомості шести подвійних хрестоподібних стержневих конструкцій зі спільною точкою кріплення. Така конструкція може ілюструвати модель силового каркасу космічного об'єкту. У початковому положенні стержневі конструкції розташовані в межах умовної площини [11, 12]. Значення параметрів в умовних величинах. Кути між початковими розташуваннями стержневих конструкцій складають $\pi/3$.

Приклад. Нехай $r_1=1$; $r_2=2$; $m_1=1$; $m_2=1$. Початковими значеннями оберемо $U_0=\{0, \pi/2, -\pi, \pi/2\}$, $U'_0=\{1, 1, -0.5, 0.5\}$. Час інтегрування $T = 9$. На рис. 4 наведено циклічну траєкторію руху точки кінцевої точки A , а на рис. 5 зображено положення трьох стержневих конструкцій в момент часу $t=1,4$.

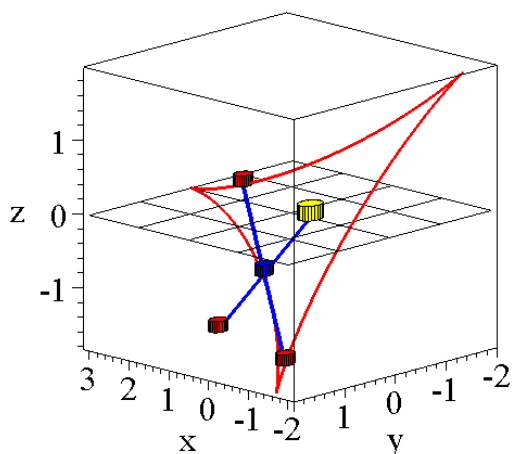


Рис. 2. Траєкторія руху кінцевої точки другої ланки

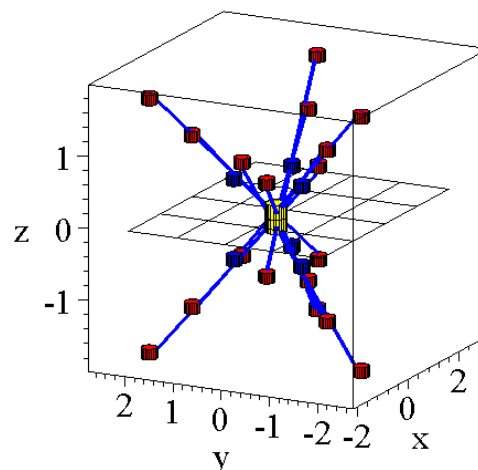


Рис. 3. Положення трьох стержневих конструкцій в момент часу $t=1,4$

На рис. 4 - 7 наведено графіки функцій узагальнених координат, а також графіки силових характеристик F_1 і F_2 , побудованих з використання залежностей для другої похідної функцій узагальнених координат. На рис. 8 зображено фазові траєкторії узагальнених координат.

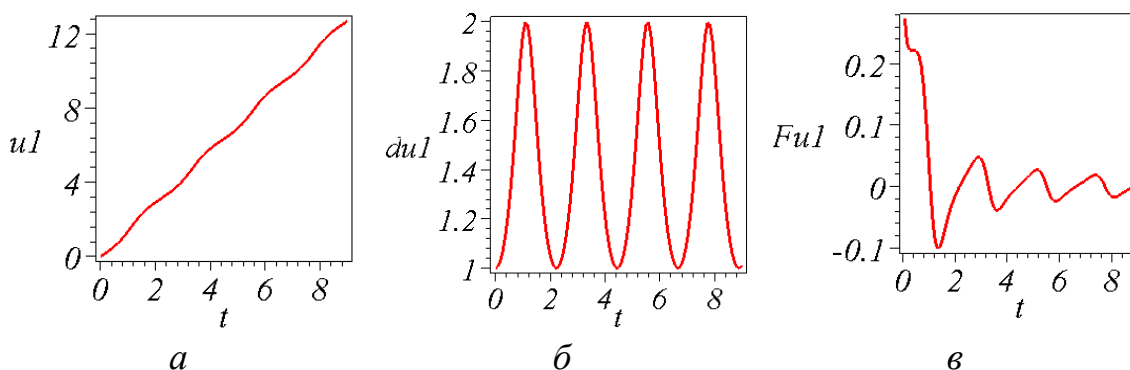


Рис. 4. Графіки узагальненої координати $u_1(t)$ першої ланки:
a – $u_1(t)$; *б* – $du_1(t)/dt$; *в* – Fu_1 обчислене через $d^2u_1(t)/dt^2$

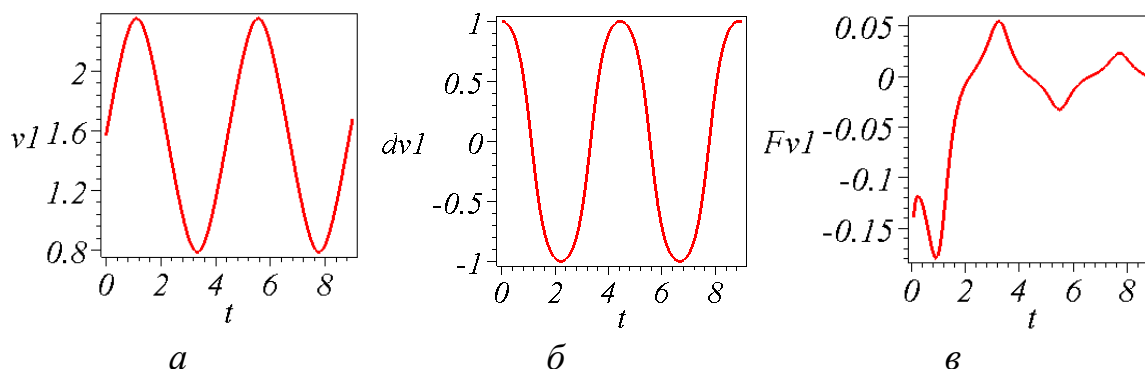


Рис. 5. Графіки узагальненої координати $v_1(t)$ першої ланки:
a – $v_1(t)$; *б* – $dv_1(t)/dt$; *в* – Fv_1 обчислене через $d^2v_1(t)/dt^2$

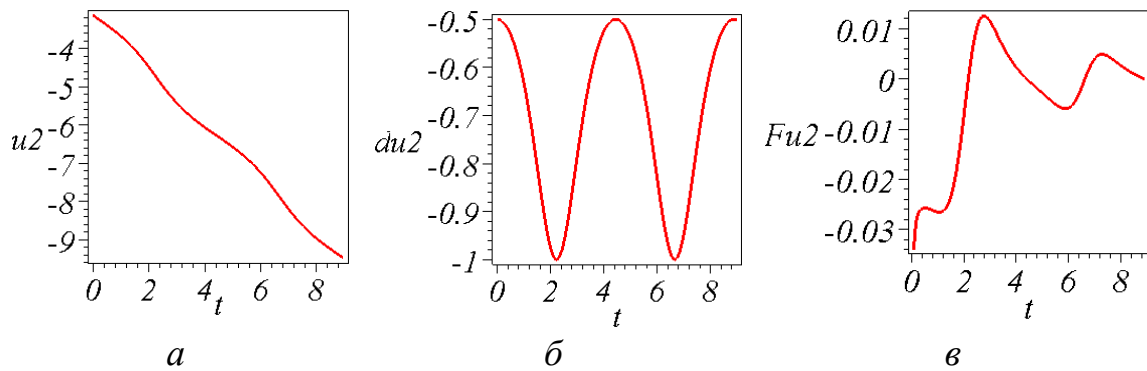


Рис. 6. Графіки узагальненої координати $u_2(t)$ другої ланки:
 $a - u_2(t)$; $б - du_2(t)/dt$; $в - Fu_2$ обчислене через $d^2u_2(t)/dt^2$

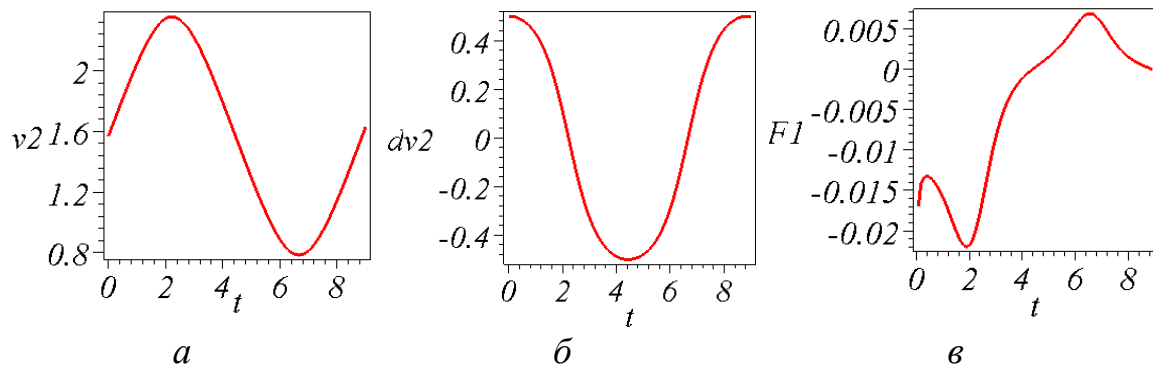


Рис. 7. Графіки узагальненої координати $v_2(t)$ другої ланки:
 $a - v_2(t)$; $б - dv_2(t)/dt$; $в - Fv_2$ обчислене через $d^2v_2(t)/dt^2$

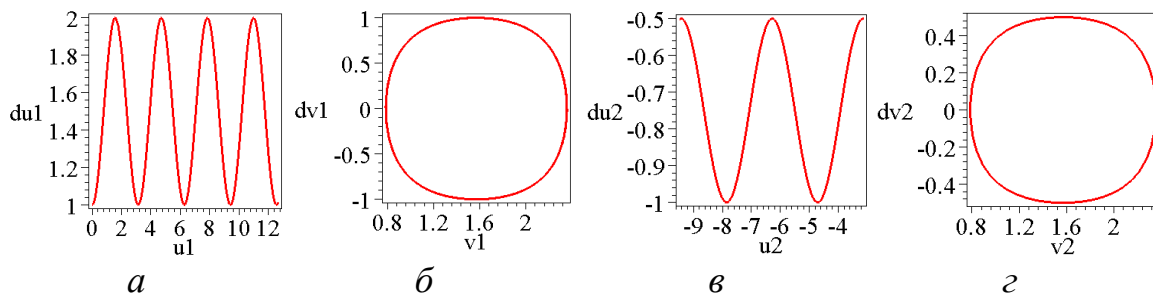


Рис. 8. Фазові траєкторії узагальнених координат:
 $a - u_1(t)$; $б - v_1(t)$; $в - u_1(t)$; $г - v_2(t)$

Висновки. В роботі розглянуто ідеалізовану геометричну модель розкриття стержневої конструкції, подібної до подвійного сферичного маятника. Одержані результати дозволяють обчислити і побудувати:

- циклічну нехаотичну траєкторію кінцевої точки другої ланки стержневої конструкції;
- фази розташування ланок двохланкових стержневих механізмів в довільний момент часу процесу розкриття;
- графіки зміни у часі величин кутів як функцій узагальнених

- координат, а також перших та других похідних цих функцій;
- графіки швидкості, прискорення та силової характеристики зміни величин кутів як функцій узагальнених координат;
 - фазові траєкторії функцій узагальнених координат, які відповідають циклічній нехаотичній траєкторії кінцевої точки другої ланки;
 - варіанти розкриття декількох двохланкових стержневих механізмів зі спільною нерухомою точкою.

Література

1. Shengnan Lu. A new family of deployable mechanisms based on the Hoekens linkage Mechanism and Machine Theory [Text] / Lu Shengnan, Zlatanov Dimiter, Ding Xilun, Molfino Rezia. – 2014. – Vol.73. – P.130–153.
2. Szuminski W. Dynamics of multiple pendula without gravity [Електроний ресурс] / W. Szuminski // Chaotic Modeling and Simulation. – 2014. – Issue 1. – P.57–67. Режим доступу: http://www.cmsim.eu/papers_pdf/january_2014_papers/7_CMSIM_Journal_2014_Szuminski_1_57-67.pdf.
3. Deployable Perimeter Truss with Blade Reel Deployment Mechanism [Електроний ресурс] / NASA's Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California (01 March 2016). Режим доступу: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/mechanics-and-machinery/24098>.
4. Бушуев А. Ю. Математическое моделирование процесса раскрытия солнечной батареи большой площади [Текст] / А. Ю. Бушуев, Б. А. Фарафонов // Математическое моделирование и численные методы. – 2014. – № 2. – С.101–114.
5. Щесняк С. Проектирование и расчет крупногабаритных раскрывающихся конструкций с помощью программных комплексов MSC.Software [Текст] / С.Щесняк, А. Романов // CADmaster. – 2009. – № 2–3. – С.28—36.
6. Бойков В. Г. Программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем EULER [Текст] / В. Г. Бойков // САПР и графика. – 2009. – № 9. – С.17–20.
7. Зимин В. Н. Особенности расчета раскрытия крупногабаритных трансформируемых конструкций различных конфигураций [Текст] / В. Н. Зимин, А. В. Крылов, В. Е. Мешковский, А. Н. Сдобников, Ф. Р. Файзуллин, С. А. Чурилин // Наука и Образование. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – № 10. – С.179–191.
8. Bomba R. Computer Simulation of a 3D, 3Link, Diver with Cross

- Product Driven PD Control [Text] / R. Bomba. – University of Rochester, Rochester, New York, 2008. – 299 p.
9. Семків О.М. Графічний комп'ютерний спосіб визначення нехаотичних траєкторій коливань маятникових систем [Текст] / О.М. Семків // Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університету. – Харьков: ХНАДУ, 2016. – Вып. 72. – С. 94–101.
 10. Development of Projection Technique for Determining the Non-Chaotic Oscillation Trajectories in the Conservative Pendulum Systems / O. Semkiv, O. Shoman, E. Sukharkova and others // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Mathematics and Cybernetics. – № 2/4 (86). – 2017. – С.48–57.
 11. Geometrical modeling of the inertial unfolding of a multi-link pendulum in weightlessness / L. Kutsenko, O. Shoman, O. Semkiv, L. Zapolsky, I. Adashevskaya and others // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 6/7 (90). – 2017. – P. 42-50.
 12. Куценко, Л. М. Ілюстрації до геометричного моделювання інерційного розкриття багатоланкового маятника у невагомості [Електронний ресурс] / Л. М. Куценко // Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4868>.

ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

Куценко Л.Н., Запольский Л.Л.

Исследована геометрическая модель раскрытия в условиях невесомости стержневой конструкции, аналогичной двойному сферическому маятнику. Для инициирования движения смоделированы действия импульсных реактивных двигателей, установленных на конечных точках звеньев конструкции.

Ключевые слова: двойная сферическая стержневая конструкция, раскрытие конструкции в невесомости, уравнение Лагранжа второго рода.

TRANSFORMING THE SPHERICAL CROSS-CUTTING ROD STRUCTURES IN WEIGHTLESSNESS

Kutsenko L., Zapolskiy L.

A geometric model of the opening under weightless conditions of a rod structure analogous to a double spherical pendulum is investigated. To initiate the motion, the actions of impulse jet engines simulated at the end points of the links of the structure are simulated.

Keywords: double spherical rod structure, construction opening in weightlessness, Lagrange equation of the second kind.

УДК 514.18

КОВЗАННЯ ЧАСТИНКИ ПО ШОРСТКІЙ ПЛОЩИНІ, ЯКА ЗДІЙСНЮЄ ПОСТУПАЛЬНІ КОЛИВАННЯ ПО ЕПІЦИКЛОЇДІ

Несвідомін В.М., д.т.н.,

Бабка В.М., к.т.н.,

Несвідомін А.В., к.т.н.

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

Досліджено ковзання частинки по шорсткій площині, яка здійснює поступальні коливання по епіциклоїді в цій площині.

Ключові слова: шорстка площина, ковзання частинки, поступальні коливання, епіциклоїда, траєкторія, швидкість.

Постановка проблеми. В більшості технологічних процесах пов'язаних з взаємодією сипучого матеріалу і рухомої шорсткої поверхні, остання здійснює переносний коливальний рух по прямій або ж по колу. Цікаво дослідити ковзання частинки по коливальній площині, яка здійснює переносний поступальний рух по епіциклоїді. Складність дослідження ковзання частинки по такій рухомій шорсткій площині залежить від параметрів епіциклоїди та початкових умов кидання частинки. Рішення цієї проблеми можливе за рахунок розробки комп'ютерної моделі з інтерактивним режимом дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналітичні основи руху частинки по шорстких поверхнях робочих органів с.-г. машин наведено в класичних працях [2, 3]. Застосування супровідного тригранника траєкторії для опису руху частинки по поверхні показано в праці [4].

Формулювання цілей статті. Розробити аналітичне та програмне забезпечення для середовища символьної алгебри Maple [1] комп'ютерну модель ковзання частинки по шорсткій площині, яка здійснює поступальні коливання по епіциклоїді в цій площині.

Основна частина. Нехай маємо шорстку похилу площину:

$$R(u, v) = R[u \cos(\beta), v, -u \sin(\beta)], \quad (1)$$

де β – кут повороту горизонтальної площини $R[u, v, 0]$ навколо осі Oz декартової системи координат $Oxyz$;

u, v – аргументи координатних ліній площини $R(u, v)$.

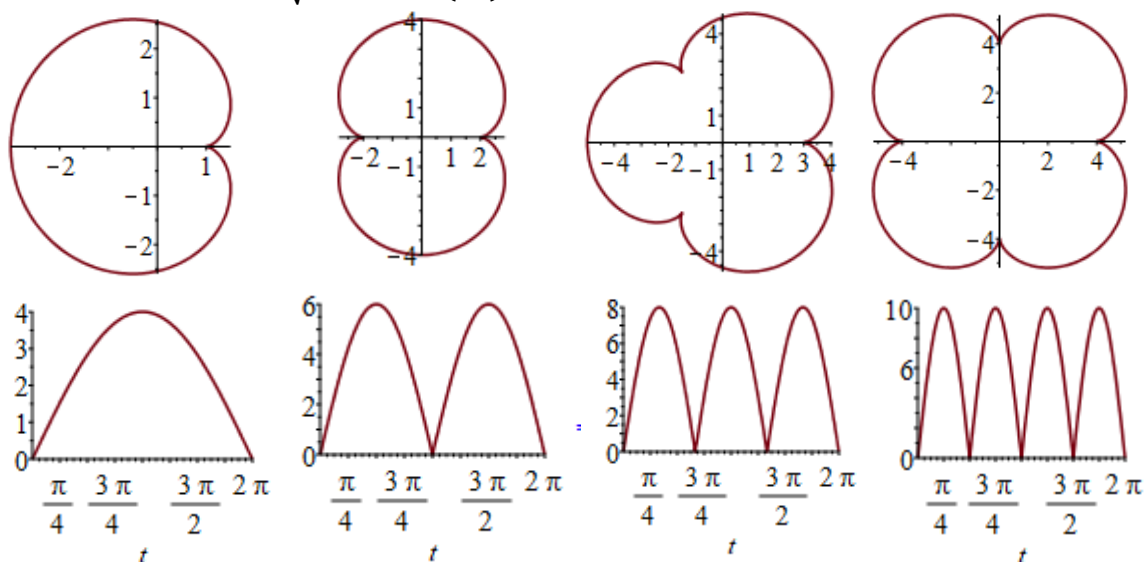
Нехай напрямною кривою переносного руху площини $R(u, v)$ є епіциклоїда з параметричним рівнянням вигляду:

$$r(t) = r[a(a+b)(\cos(t) - \frac{\cos((b+1)t)}{b+1}), a(a+b)(\sin(t) - \frac{\sin((b+1)t)}{b+1})],$$

де a, b – параметри форми епіциклоїди.

Ковзання частинки в шорсткій площині суттєво залежить від її

переносного руху, в даному випадку від параметрів форми a, b епіциклоїди. На рис.1 побудовано зображення траєкторії довільної точки площини в залежності від параметрів форми a, b епіциклоїди та їх швидкість. Звернемо увагу, що на відміну від переносного руху площини по колу, її швидкість змінюється зигзагоподібно від нуля до значення $(b+1)a\sqrt{2-2\cos(bt)}$.



а) $a = 1, b = 1$ б) $a = 1, b = 2$ в) $a = 1, b = 3$ г) $a = 1, b = 4$

Рис.1. Траєкторії переносного руху площини та графіки її швидкості

Рівняння переносного руху площини по епітрохоїді, яка лежить в цій площині матиме вигляд:

$$\mathbf{M}(t) = \mathbf{M} \begin{bmatrix} a(\sin(\omega t) \sin(b\omega t) + \cos(\omega t)) (b - \cos(b\omega t) + 1)) \cos(\beta); \\ a(-\sin(\omega t) \cos(b\omega t) - \cos(\omega t) \sin(b\omega t) + \sin(\omega t)) (b + 1)); \\ -a(\sin(\omega t) \sin(b\omega t) + \cos(\omega t)) (b - \cos(b\omega t) + 1)) \sin(\beta), \end{bmatrix} \quad (2)$$

де t, c – час;

ω, c^{-1} – параметр переносного руху.

Оскільки при поступальному русі площини відсутнє Коріолісове прискорення, то виведення закону руху частинки для такого випадку значно спрощується. Так, абсолютна траєкторія площини при її поступальному русі є сумою вектор-функцій (1) і (2):

$$\mathbf{H}(u, v, t) = \mathbf{R}(u, v) + \mathbf{M}(t) = \begin{bmatrix} a(\sin(\omega t) \sin(b\omega t) + \cos(\omega t)) (b - \cos(b\omega t) + 1)) \cos(\beta) + u \cos(\beta), \\ a(-\sin(\omega t) \cos(b\omega t) - \cos(\omega t) \sin(b\omega t) + \sin(\omega t)) (b + 1)) + v, \\ -a(\sin(\omega t) \sin(b\omega t) + \cos(\omega t)) (b - \cos(b\omega t) + 1)) \sin(\beta) - u \sin(\beta). \end{bmatrix} \quad (3)$$

Векторне рівняння руху частинки у шорсткій площині, яка здійснює поступальні переміщення в просторі має вигляд:

$$m \mathbf{w} = mg \mathbf{G} - f \left(\pm F_g \cos(\widehat{\mathbf{N}, \mathbf{G}}) \pm F_c \cos(\widehat{\mathbf{N}, \mathbf{n}}) \right) \boldsymbol{\tau}_p, \quad (4)$$

де: m – маса частинки;

\mathbf{w} – вектор абсолютного прискорення частинки;

$\tau_\rho = \frac{v_\rho}{|v_\rho|}$ - одиничний вектор відносної швидкості частинки;

N - вектор нормалі вздовж траєкторії у відносному русі частинки;

$G = [0, 0, -1]$ - одиничний вектор сили тяжіння;

$F_g = mg$ - сила тяжіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$F_c = m V^2 k$ - відцентрова сила, де V - абсолютна швидкість частинки, а k - кривина абсолютної траєкторії частинки.

В проекціях на орти $u \equiv R'_u$ і $v \equiv R'_v$ тригранника $OuvN$ векторне рівняння руху частинки (4) у функції часу t буде мати вигляд:

$$\begin{cases} Ou := m W \cos(\widehat{R'_u, w}) = F_g \cos(\widehat{R'_u, G}) - f F_N \cos(\widehat{R'_u, \tau}) \\ Ov := m W \cos(\widehat{R'_v, w}) = F_g \cos(\widehat{R'_v, G}) - f F_N \cos(\widehat{R'_v, \tau}) \end{cases} \quad (5)$$

Вище наведене аналітичне забезпечення (1)-(5) складає основу розробленого додатку до системи комп'ютерної алгебри Maple [1] дослідження ковзання частинки по шорсткій площині R , яка здійснює поступальні переміщення по напрямній $M(t)$. В середовищі Maple автоматично формується закон руху частинки (5), рівняння яких є настільки громіздкими, що приводити їх тут не має можливості.

Наведемо результати експериментальних досліджень ковзання частинки по шорсткій рухомій площині при таких змінних параметрів, як коефіцієнт тертя $f = 0.3$, початкової швидкості $V_0 = 2 \text{ м/с}$ кидання, куту $\beta = 0$ положення площини в залежності різного кута α_0 кидання частинки та параметрів a і b форми напрямної епіциклоїди. На рис.2 побудовано абсолютну $r(t)$, відносну $\rho(t)$ траєкторії частинки, графіки її абсолютної $V(t)$ та відносної $V_\rho(t)$ швидкостей для рухомої площини $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$ в залежності від кута $\alpha_0 = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ кидання частинки, параметрів форми епіциклоїди $a = 1, b = 1$. Для цих вихідних параметрів всі частинки кинуті в різні сторони під кутами α_0 зупиняться вже через проміжок $t \cong 6 \text{ с}$ – в момент, коли швидкість переносного руху площини дорівнюватиме нулю.

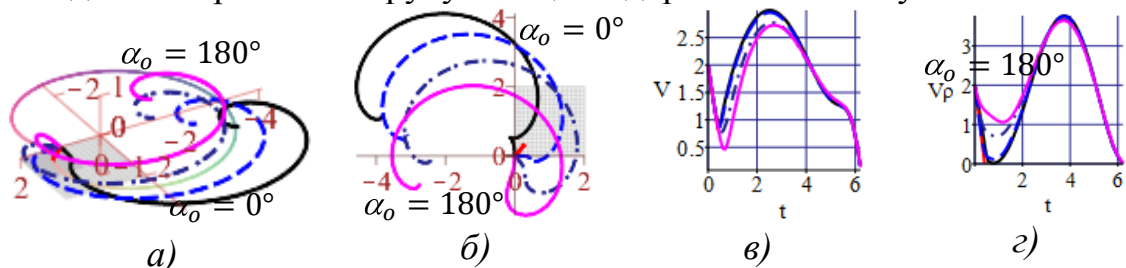


Рис.2. Траєкторії $r(t)$, $\rho(t)$ та графіки швидкостей $V(t)$, $V_\rho(t)$ частинки в залежності від кута α_0 її кидання при $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$, $a = 1$, $b = 1$

Для того щоб частинки не зупинялися ковзати в площині, досить збільшити параметр ω до значення $\omega = 1.2 \text{ с}^{-1}$ (рис.3). В цьому випадку всі частинки віддаляючись від початку координат через

проміжок часу $t = 2.5\text{с}$ будуть наближатися до конгруентних траєкторій в різних місцях рухомої шорсткої площини.

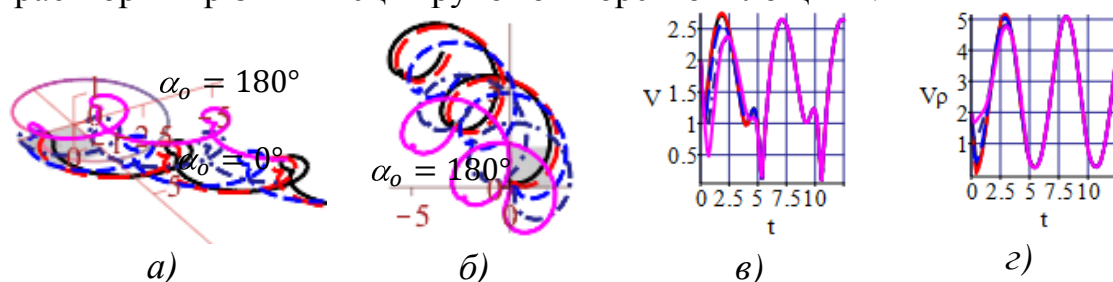


Рис.3. Траєкторії $\mathbf{r}(t)$, $\boldsymbol{\rho}(t)$ та графіки швидкостей $V(t)$, $V_{\rho}(t)$ частинки в залежності від кута α_0 її кидання при $\omega = 1.2 \text{ с}^{-1}$, $a = 1$, $b = 1$

Змінимо форму переносної траєкторії площини по епіциклоїді - візьмемо значення параметра форми $a = 1$, $b = 2$ і $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$. На відміну від попередніх випадків, епіциклоїда має дві точки звороту 1-го роду (рис.4). Зрозумілим є збільшення вдвічі частоти зміни абсолютної $V(t)$ та відносної $V_{\rho}(t)$ швидкостей частинок, які ніколи вже не зупиняться.

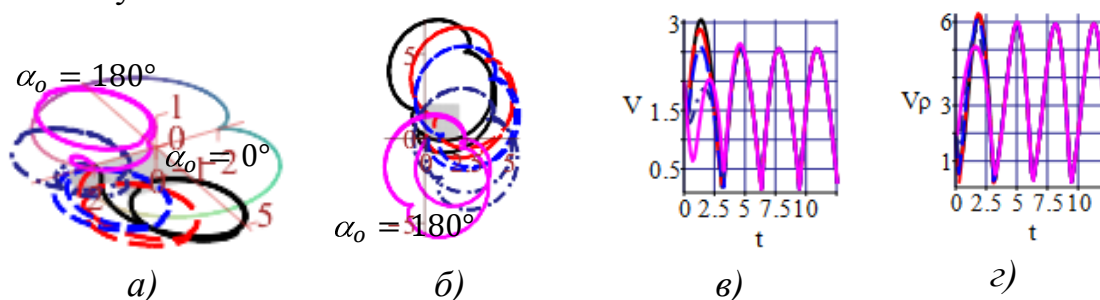


Рис.4. Траєкторії $\mathbf{r}(t)$, $\boldsymbol{\rho}(t)$ та графіки швидкостей $V(t)$, $V_{\rho}(t)$ частинки в залежності від кута α_0 її кидання при $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$, $a = 1$, $b = 2$

Із збільшенням параметра форми b епіциклоїди до значення $b = 3$ – переносна траєкторія площини має вже три точки звороту (рис.5). Можна побачити деяке зменшення амплітуди абсолютної $V(t)$ швидкості та збільшення відносної $V_{\rho}(t)$ швидкості частинок при їх стабілізації ковзання – при $t > 3 \text{ с}$.

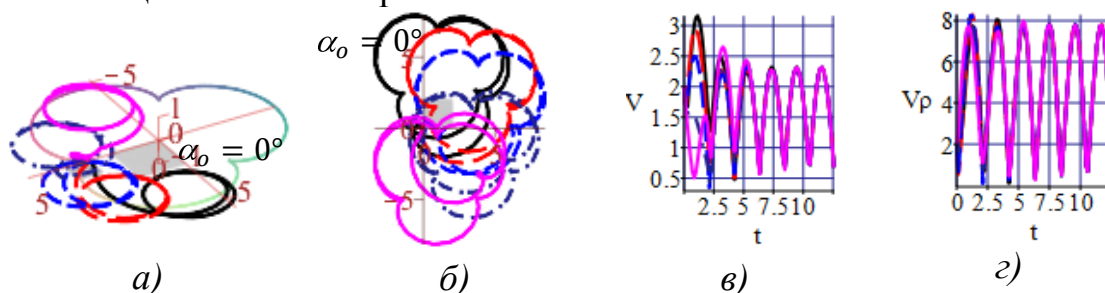


Рис.5. Траєкторії $\mathbf{r}(t)$, $\boldsymbol{\rho}(t)$ та графіки швидкостей $V(t)$, $V_{\rho}(t)$ частинки в залежності від кута α_0 її кидання при $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$, $a = 1$, $b = 3$

Аналогічно було досліджено траєкторно-кінематичні властивості ковзання частинки по шорсткій коливальній площині по епіциклоїді в залежності від коефіцієнта тертя f , початкової швидкості V_0 кидання, куту β положення.

Висновки. З'ясовано, що зміна параметра b форми епіциклоїди, який впливає на кількість точок звороту, збільшує частоту відносної швидкості частинки та її амплітуду – частинки переходять в режим стаціонарного руху по конгруентних епіциклоїдах.

Література

1. Аладьев В.З. Программирование и разработка приложений в Maple / В.З.Аладьев, В.К.Бойко, Е.А.Ровба. – Гродно: ГрГУ, 2007. – 458 с.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.
3. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
4. Несвідомін А.В. Комп'ютерне моделювання руху частинки по нерухомих шорстких поверхнях в проекціях на орти супровідного тригранника траєкторії: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.01.01 "Прикладна геометрія та інженерна графіка" / А.В.Несвідомін. – К., 2016. – 24 с.

СКОЛЬЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ ПО ШОРСТОКОЙ ПЛОСКОСТИ, КОТОРАЯ СОВЕРШАЕТ ПОСТУПАТЕЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПО ЭПИЦИКЛОИДЕ

Несвидомин В.Н., Бабка В.Н., Несвидомин А.В.

Проведены исследования скольжения частицы по шероховатой плоскости, которая осуществляет поступательные колебания по эписциклоиде в этой плоскости.

Ключевые слова: шероховатая плоскость, скольжения частицы, поступательные колебания, эписциклоида, траектория, скорость.

SLIDING OF A PARTICLE ON A PLANE THAT MAKES PERIODIC OSCILLOUS VIBRATIONS ON EPICYCLOID

Nesvidomin V., Babka V., Nesvidomin A.

Investigations of the slip of a particle along a rough plane that carries out translational oscillations along an epicycloid are carried out.

Key words: rough surface, particle slip, translational oscillations, epicycloid, trajectory, velocity.

УДК 514.18

ОРНАМЕНТЫ НА ОСНОВЕ СЕМЕЙСТВ КРИВЫХ, ЗАПОЛНЯЮЩИХ ПРАВИЛЬНЫЙ ШЕСТИУГОЛЬНИК

Ницын А.Ю., д.т.н.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт» (Украина)

Рассмотрена кривая Госпера как кривая, вписанная в правильный шестиугольник. Предложено семейство кривых, проходящее через все точки правильного шестиугольника. Составлен орнамент в виде семейства кривых, целиком заполняющего плоскость.

***Ключевые слова:* кривая Госпера, орнаменты, покрытие плоскости.**

Постановка проблемы. Плоскость можно покрыть как квадратами, так и правильными шестиугольниками. При этом конструкцией, вписанной в исходный геометрический образ, можно покрыть плоскость так, чтобы с помощью аффинных преобразований получить конструкцию, состоящую из множества повторяющихся частей. Кроме того, с помощью тех же аффинных преобразований можно получить орнамент, подобный исходной конструкции. На наш взгляд, наибольшую эстетическую ценность имеют орнаменты, у которых большая часть является подобием его меньшей части. Одними из конструкций, которые подобны конструкции, построенной на предыдущем шаге, являются орнаменты на основе кривых Пеано, то есть кривых, целиком заполняющих плоскость. Однако кривые Пеано, имеющие эстетическую ценность, можно пересчитать по пальцам. К таким кривым относятся кривые Гильберта, Серпинского, Госпера, а также кривая, опубликованная нами в предыдущей статье [1]. Поэтому разработка кривых Пеано как основы для конструирования орнаментов является актуальной задачей графического дизайна.

Анализ последних достижений и публикаций. К сожалению, монографии, посвящённой кривым, целиком заполняющим плоскость, не существует. Краткие сведения о кривых Пеано разбросаны по монографиям, посвящённым теории множеств, теории функций действительного переменного и фрактальной геометрии [2–7].

Формулирование целей статьи. Таким образом, цель статьи – продолжение работы по построению кривых Пеано, имеющих эстетическую ценность.

Основная часть. Кривые Пеано, проходящие через все точки некоторого квадрата, то есть целиком заполняющие его внутренность, были рассмотрены нами в предыдущей статье [1]. Теперь рассмотрим кривые, проходящие через все точки некоторого правильного шестиугольника. Выделим отсек плоскости, ограниченный правильным шестиугольником. Покроем шестиугольник правильными треугольниками. Тогда под точками плоскости, ограниченной шестиугольником, будем понимать точки пересечения высот правильных треугольников, покрывающих шестиугольник.

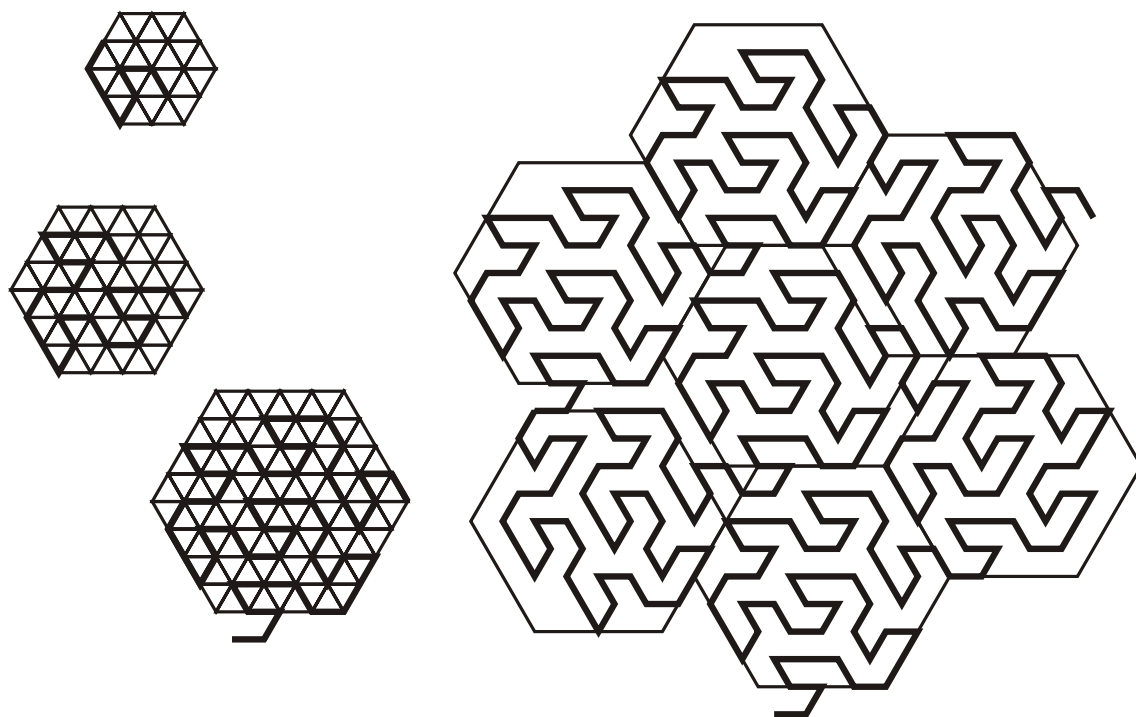


Рис. 1. Кривая Госпера после 4-х итераций

Покажем на рис. 1 начальные шаги построения кривой Госпера. Как показывает рисунок, при построении кривой Госпера под точкой плоскости понимается не точка пересечения высот правильного треугольника, а одна из его сторон. Кроме того, кривые Госпера, соответствующие первым 3-м итерациям, не заполняют полностью соответствующие шестиугольники, а на 3-й итерации даже выходят за границу соответствующего шестиугольника. Впрочем, на 4-й итерации кривая Госпера проходит через все точки плоскости, находящиеся внутри границы кривой Госпера, то есть не вполне корректное заполнение плоскости, наблюдаемое на первых 3-х итерациях, уже не сказывается на построении кривой Госпера на 4-й итерации. Обратим внимание, что на 4-й итерации кривая Госпера представляет собой фигуру, называемую «островом» и состоящую из

фигуры, полученной на предыдущей итерации, и шести таких же фигур, расположенных вокруг центральной фигуры.

Рассмотрим покрытие плоскости фигурой, проходящей через все точки правильного шестиугольника. Будем понимать под точками плоскости, ограниченной шестиугольником, одну из точек, находящихся внутри правильных треугольников, покрывающих шестиугольник. При этом точки, принадлежащие вершинам правильных треугольников, мы не будем рассматривать как точки плоскости, ограниченной шестиугольником.

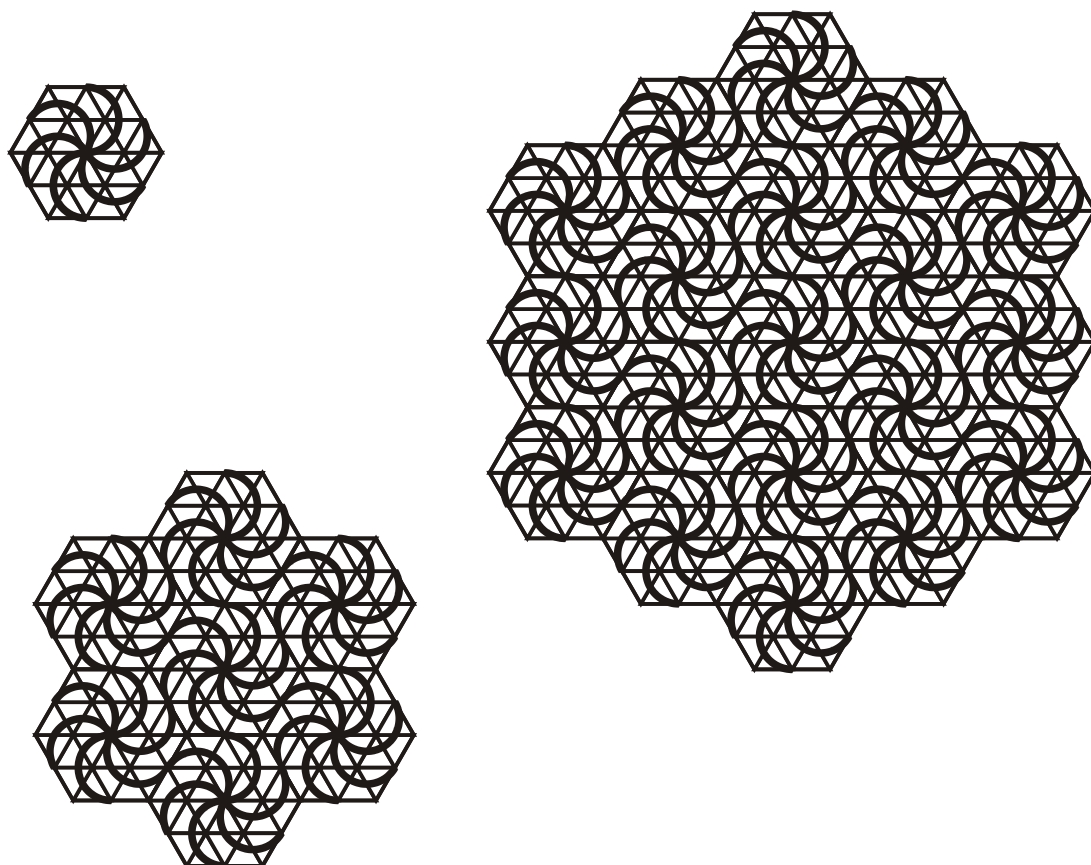


Рис. 2. Авторский вариант семейства кривых, целиком заполняющего плоскость, после 3-х итераций

Покажем на рис. 2 авторский вариант фигуры, образованной семейством линий, целиком заполняющим плоскость. Поскольку мы условились считать точками плоскости только те точки, что принадлежат внутренней области правильных треугольников, покрывающих шестиугольник, мы можем утверждать, что кривые, проходящие через точки плоскости, очерченной шестиугольником, не пересекаются в его центральной точке. Отсюда следует, что фигура, полученная с помощью параллельных переносов правильного исходного шестиугольника, представляет собой семейство кривых,

целиком заполняющих плоскость и не пересекающихся ни в одной её точке.

Введём в плоскость точки, принадлежащие вершинам правильных треугольников. Тогда семейства кривых, целиком заполняющие правильные шестиугольники, объединятся в одно семейство кривых, имеющих бесконечную длину. Кроме того, удалим все правильные шестиугольники и покрывающие их правильные треугольники, и получим орнамент в виде семейства кривых, извивающихся наподобие змей на голове горгоны Медузы, – персонажа древнегреческого мифа о подвигах Персея. Покажем на рис. 3 полученный орнамент и будем называть его «Головой Медузы Горгоны».

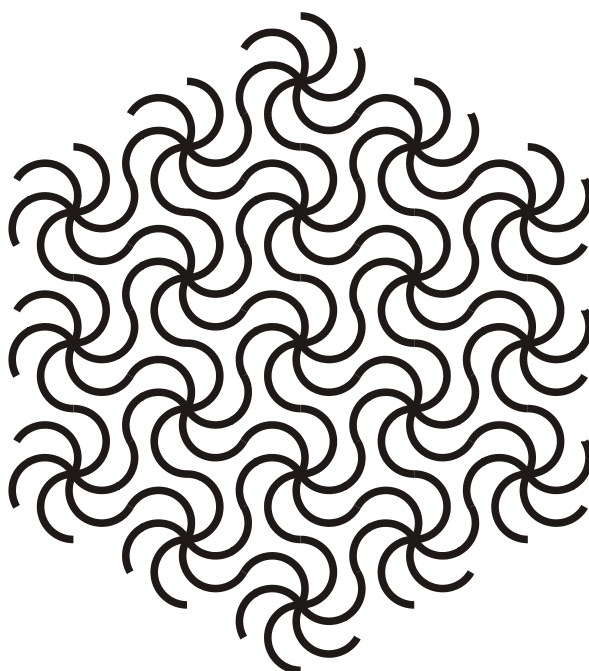


Рис. 3. Орнамент «Голова Медузы Горгоны»

Обратим внимание, что кривые, составляющие орнамент «Голова Медузы Горгоны», образуют фигуры, повторяющиеся во всех частях орнамента. Выделим цветом отдельные фигуры, и получим орнамент, который в искусствоведении называется «бесфоновым», то есть орнамент, в котором рисунок, вынесенный на передний план, образует рисунок, удалённый на задний план. При этом оба рисунка являются равноценными, и если рисунок на переднем плане представить рисунком заднего плана, то получим орнамент, который будет отличаться от его первоначального варианта только цветами переднего и заднего планов. Покажем на рис. 4 «бесфоновый» орнамент, образованный семейством кривых, заполняющих всю плоскость и нигде не пересекающихся друг с другом.

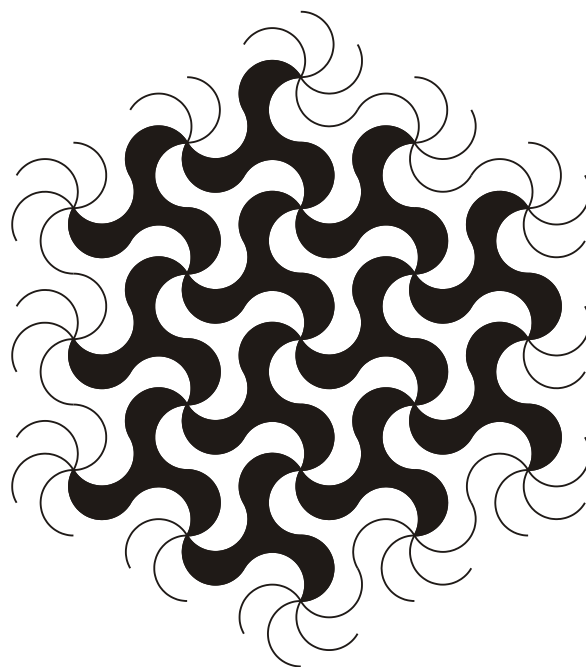


Рис. 4. «Бесфоновый» вариант орнамента «Голова Медузы Горгоны»

Выводы. Таким образом, в статье рассмотрено построение кривой Госпера как кривой, вписанной в правильный шестиугольник. Предложено семейство кривых, проходящее через все точки правильного шестиугольника. Составлен орнамент в виде семейства кривых, целиком заполняющего плоскость, с помощью аффинных преобразований семейства кривых, проходящего через все точки правильного шестиугольника. Обращено внимание, что полученное семейство кривых образует орнамент, составленный из множества совершенно одинаковых по форме фрагментов, то есть является «бесфоновым». Поэтому составление «бесфоновых» орнаментов и будет темой наших дальнейших исследований.

Литература

1. Ницын А. Ю. Кривые Пеано в конструировании орнаментов / А. Ю. Ницын // Сучасні проблеми моделювання. – Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. – Вип. 9. – С. 103–108.
2. Лузин Н. Н. Теория функций действительного переменного / Н. Н. Лузин. – М. : Учпедгиз, 1948. – 319 с.
3. Александров П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию / П. С. Александров. – М. : Наука, 1977. – 367 с.
4. Пайтген Х. О. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем / Х. О. Пайтген, П. Х. Рихтер. – М. : Мир, 1993. – 176 с.

5. Морозов А. Д. Введение в теорию фракталов / А. Д. Морозов. [2-е изд.]. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.
6. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
7. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах / Р. Кроновер. – М. : Техносфера, 2006. – 488 с.

ОРНАМЕНТИ НА ОСНОВІ СІМЕЙ КРИВИХ, ЩО ЗАПОВНЮЮТЬ ПРАВИЛЬНИЙ ШЕСТИКУТНИК

Ніщин А.Ю.

Розглянуто криву Госпера як криву, що вписується в правильний шестикутник. Запропоновано сім'ю кривих, що проходить через всі точки правильного шестикутника. Складено орнамент у вигляді сім'ї кривих, що цілком заповнює площину.

Ключові слова: крива Госпера, орнаменти, покриття площини.

ORNAMENTS ON THE BASIS OF FAMILIES OF CURVES, FILLING A REGULAR HEXAGON

Nitsyn A.

The curve of Gosper as a curve, inscribed in a regular hexagon, is considered. The family of curves, passing through all points of regular hexagon, is offered. An ornament as a family of curves, wholly filling a plane, is formed.

Keywords: curve of Gosper, ornaments, covering of plane.

УДК 514.18

АНАЛІТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ УТВОРЕННЯ ІЗОТРОПНИХ ЛІНІЙ НА УЯВНИХ ПОВЕРХНЯХ ОБЕРТАННЯ

Пилипака С.Ф., д.т.н.,

Муквич М.М., к.т.н.*

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

У роботі визначено аналітичні залежності утворення просторових ізотропних ліній, які лежать на уявних поверхнях обертання, віднесених до ізометричної сітки уявних координатних ліній. Знайдено параметричні рівняння ізотропних ліній та мінімальних поверхонь, побудованих на основі уявного циліндра, віднесеного до ізометричної сітки уявних координатних ліній.

Ключові слова: ізотропна лінія, мінімальна поверхня, лінійний елемент поверхні, середня кривина поверхні.

Постановка проблеми. Розширення способів аналітичного опису ізотропних ліній та мінімальних поверхонь зумовлене задачами проектування поверхонь технічних форм та архітектурних конструкцій. Геометрична форма мінімальної поверхні забезпечує рівномірний розподіл зусиль при взаємодії оболонки з середовищем без врахування крайових ефектів [1, с. 152]. Умова рівності нулю величини середньої кривини H мінімальної поверхні у всіх її точках є необхідною умовою мінімальності площі відсіку поверхні, обмеженого плоскою або просторовою кривою (контуром) на цій поверхні [2, с. 683].

Відомими є сучасні дослідження три-періодичних мінімальних поверхонь (або мінімальних поверхневих структур) та вивчення можливості їх застосування: від біологічних мембран до штучного синтезу будівельних матеріалів. Три-періодичні мінімальні поверхневі структури, які характеризуються оптимізованими фізичними властивостями, ідентифікуються у багатьох природних системах [3].

Задача знаходження аналітичного опису мінімальних поверхонь приводить до диференціального рівняння Ейлера-Лагранжа [2, с. 683] в частинних похідних, яке у загальному випадку не інтегрується.

Проблема спрощення аналітичного опису мінімальних поверхонь та отримання їх параметричних рівнянь, починаючи з робіт

* Науковий консультант – д.т.н., професор Пилипака С.Ф.

С. Лі (S. Lie), реалізується за допомогою методів теорії функцій комплексної змінної [2, с. 685]. Аналітичний опис мінімальних поверхонь та приєднаних мінімальних поверхонь здійснюють у комплексному просторі з ізотропними лініями у ролі ліній сітки переносу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для знаходження аналітичного опису мінімальних поверхонь за допомогою функцій комплексної змінної необхідно знайти параметричні рівняння ізотропних ліній нульової довжини. Моделювання ізотропних ліній на основі ізотропного параметричного многочлена Лагранжа розглянуто у роботі [4]. Ряд робіт [5, 6] авторів статті присвячена задачі знаходження параметричних рівнянь ізотропних ліній, які лежать на поверхнях обертання, віднесених до ізометричної (або ізотермічної) сітки координатних ліній [7, с. 54]. При цьому потребує дослідження проблема аналітичного опису ізотропних ліній, які належать уявним поверхням обертання, віднесеним до ізометричної (або ізотермічної) сітки координатних ліній.

Формулювання цілей статті. Визначити аналітичні залежності утворення просторових ізотропних ліній, які лежать на уявних поверхнях обертання, віднесених до ізометричної сітки уявних координатних ліній. Знайти параметричні рівняння ізотропних ліній та мінімальних поверхонь, побудованих на основі уявного циліндра, віднесеного до ізометричної сітки уявних координатних ліній.

Основна частина. Розглянемо уявну поверхню, утворену при обертанні меридіана, заданого параметричними рівняннями $\varphi = \varphi(\tau)$; $\psi = \psi(\tau)$, на деякий кут, комплексна величина якого дорівнює: $(a + bi) \cdot w$, де $a, b \in R$; $w \in [0; 2\pi)$; i – уявна одиниця. Параметричні рівняння цієї уявної поверхні обертання є функціями комплексної змінної і мають вигляд:

$$\begin{aligned} X(\tau; w) &= \varphi(\tau) \cdot \cos[(a + bi)w]; & Y(\tau; w) &= \varphi(\tau) \cdot \sin[(a + bi)w]; \\ Z(\tau; w) &= \psi(\tau). \end{aligned} \quad (1)$$

Вирази коефіцієнтів першої квадратичної форми [7, с. 40] уявної поверхні (1), заданої рівняннями $X(\tau, w)$, $Y(\tau, w)$, $Z(\tau, w)$, мають вигляд [7, с. 40]:

$$\begin{aligned} E &= (X'_\tau)^2 + (Y'_\tau)^2 + (Z'_\tau)^2 = (\varphi'_\tau)^2 + (\psi'_\tau)^2; \\ F &= X'_\tau \cdot X'_w + Y'_\tau \cdot Y'_w + Z'_\tau \cdot Z'_w = 0; \\ G &= (X'_w)^2 + (Y'_w)^2 + (Z'_w)^2 = (a + bi)^2 \cdot \varphi^2(\tau). \end{aligned}$$

Лінійний елемент [7, с. 53] уявної поверхні (1) запишеться у вигляді:

$$ds^2 = ((\varphi'_\tau)^2 + (\psi'_\tau)^2) \cdot d\tau^2 + (a + bi)^2 \cdot \varphi^2(\tau) \cdot dw^2. \quad (2)$$

Перетворимо вираз (2) до вигляду:

$$ds^2 = (a + bi)^2 \cdot \varphi^2(\tau) \cdot \left[\frac{(\varphi'_\tau)^2 + (\psi'_\tau)^2}{(a + bi)^2 \cdot \varphi^2(\tau)} \cdot d\tau^2 + dw^2 \right]. \quad (3)$$

Уведемо заміну: $dt^2 = \frac{(\varphi'_\tau)^2 + (\psi'_\tau)^2}{(a + bi)^2 \cdot \varphi^2(\tau)} \cdot d\tau^2$, тоді вираз (3) можна

записати у вигляді:

$$ds^2 = (a + bi)^2 \cdot \varphi^2(\tau) \cdot [dt^2 + dw^2] \quad (4)$$

Лінійний елемент (4) поверхні (1) визначає ізометричну (або ізотермічну) координатну сітку поверхні [7, с. 54].

Перетворивши вираз указаної заміни, отримаємо умову переходу від ортогональної до ізометричної сітки координатних ліній для уявної поверхні (1):

$$t = \frac{1}{a + bi} \cdot \int \frac{\sqrt{(\varphi'_\tau)^2 + (\psi'_\tau)^2}}{\varphi(\tau)} \cdot d\tau. \quad (5)$$

Приклад. Розглянемо поверхню уявного циліндра, заданого параметричними рівняннями:

$$\begin{aligned} X(\tau; w) &= r \cdot \cos[(a + bi) \cdot w]; \\ Y(\tau; w) &= r \cdot \sin[(a + bi) \cdot w]; \quad Z(\tau; w) = \tau, \end{aligned} \quad (6)$$

де r – радіус основи циліндра; $w \in [0; 2\pi)$; $\tau, a, b \in R$.

Знайдемо умову переходу до ізометричної сітки координатних ліній, підставивши вирази $\varphi(\tau) = r$; $\psi(\tau) = \tau$ у (5), і, після перетворень, отримаємо залежність:

$$t = \frac{1}{(a + bi) \cdot r} \cdot \int d\tau = \frac{\tau}{(a + bi) \cdot r} + C_1,$$

де C_1 – довільна стала інтегрування.

Нехай $C_1 = 0$, тоді умову переходу до ізометричної сітки координатних ліній запишемо у вигляді:

$$\tau = (a + bi) \cdot r \cdot t.$$

Підставивши останній вираз у (6), отримаємо параметричні рівняння уявного циліндра, віднесеного до ізометричної сітки координатних ліній:

$$\begin{aligned} X(t; w) &= r \cdot \cos[(a + bi) \cdot w]; \\ Y(t; w) &= r \cdot \sin[(a + bi) \cdot w]; \quad Z(t; w) = (a + bi) \cdot r \cdot t, \end{aligned} \quad (7)$$

де r – радіус основи циліндра; $t, a, b \in R$; $w \in [0; 2\pi)$.

Тоді лінійний елемент уявного циліндра (7), віднесеного до ізометричної сітки координатних ліній, має вигляд:

$$ds^2 = (a + bi)^2 \cdot r^2 \cdot [dt^2 + dw^2] \quad (8)$$

Розклавши на множники вираз (8), отримаємо:

$$ds^2 = (a + bi)^2 \cdot r^2 \cdot (dt - i \cdot dw)(dt + i \cdot dw),$$

де i – уявна одиниця. Прирівнюючи до нуля праву частину останньої рівності, після інтегрування отримаємо:

$$t = i \cdot w + C \quad \text{або} \quad t = -i \cdot w + C, \quad (9)$$

де C – довільна стала інтегрування.

Лінійний елемент (8) уявного циліндра визначає довжину будь-якої лінії, яка йому належить. Тому при підстановці виразів (9) у параметричні рівняння уявного циліндра (7) отримаємо параметричні рівняння двох сімей уявних ізотропних ліній нульової довжини. Зокрема, при підстановці виразу $t = i \cdot w + C$ у рівняння (7) для кожного значення C отримаємо параметричні рівняння ізотропної лінії, яка лежить на поверхні уявного циліндра:

$$\begin{aligned} x(w) &= r \cdot \cos[(a + bi) \cdot w]; \\ y(w) &= r \cdot \sin[(a + bi) \cdot w]; \quad z(w) = (a + bi) \cdot r \cdot (i \cdot w + C). \end{aligned} \quad (10)$$

Для знаходження рівнянь мінімальної та приєднаної до неї мінімальної поверхні у рівняннях (10) уведемо заміну: $w = u + i \cdot v$.

Відокремивши дійсну та уявну частину для кожної з функцій (10), отримаємо рівняння мінімальної поверхні (C – довільна стала):

$$\begin{aligned} X(u, v) &= r \cdot \cos(au - bv) \cdot \operatorname{ch}(bu + av); \\ Y(u, v) &= r \cdot \sin(au - bv) \cdot \operatorname{ch}(bu + av); \quad Z(u, v) = r(-bu - av + ac); \end{aligned} \quad (11)$$

та приєднаної мінімальної поверхні:

$$\begin{aligned} X^*(u, v) &= -r \cdot \sin(au - bv) \cdot \operatorname{sh}(bu + av); \\ Y^*(u, v) &= -r \cdot \cos(au - bv) \cdot \operatorname{sh}(bu + av); \quad Z^*(u, v) = r \cdot (au - bv + bc). \end{aligned} \quad (12)$$

На рис.1 зображено відсіки мінімальної та приєднаної поверхонь, побудованих за рівняннями (11) і (12) відповідно, при $a = 1$; $b = 2$; $r = 1$; $C = 0$; $u \in [-0,9; \dots, 0,9]$; $v \in [-0,9; \dots, 0,9]$.

Коефіцієнти першої квадратичної форми мінімальної поверхні (11) та приєднаної поверхні (12) дорівнюють:

$$E = G = (a^2 + b^2) \cdot r^2 \cdot \operatorname{ch}(bu + av); \quad F = 0.$$

Коефіцієнти другої квадратичної форми мінімальної поверхні (11) дорівнюють:

$$L = -N = (a^2 - b^2) \cdot r; \quad M = -2abr.$$

Коефіцієнти другої квадратичної форми приєднаної мінімальної поверхні (12) дорівнюють:

$$L^* = -N^* = 2abr; \quad M^* = (a^2 - b^2) \cdot r.$$

Коефіцієнти першої та другої квадратичних форм побудованих поверхонь (11) та (12), перетворюють вираз середньої кривини H для кожної із указаних поверхонь, до нуля.

Вираз (8) можна розкласти на множники у вигляді:

$$ds^2 = (a + bi)^2 \cdot r^2 \cdot (dw - i \cdot dt)(dw + i \cdot dt).$$

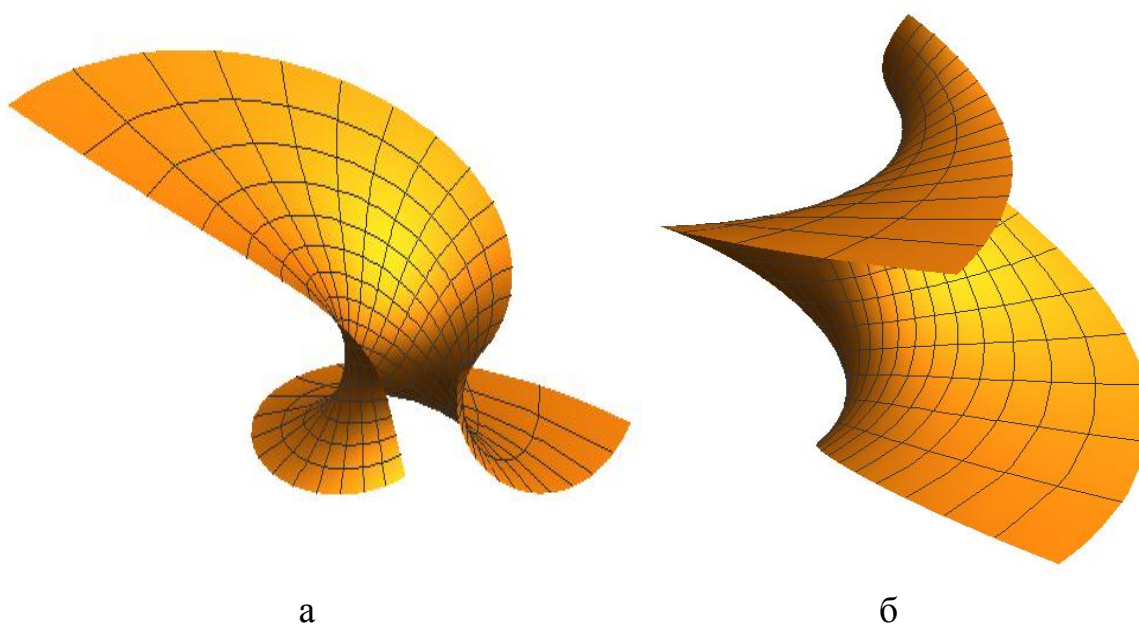


Рис. 1. Відсіки мінімальних поверхонь, побудованих на основі ізотропної лінії (10):

- а) відсік мінімальної поверхні, побудованої за рівняннями (11);
 б) відсік приєднаної мінім. поверхні, побудованої за рівняннями (12)

Тоді з аналогічних міркувань можна знайти аналітичний опис двох сімей ізотропних ліній та відповідних мінімальних поверхонь, які мають спільні метричні властивості та властивості кривини із мінімальними поверхнями (12), (13).

Висновки. На поверхні уявного циліндра для кожного значення C можна побудувати чотири сім'ї ізотропних ліній, і кожній лінії поставити у відповідність мінімальну поверхню та приєднану до неї. Утворені мінімальні поверхні та приєднані мінімальні поверхні мають спільні метричні властивості та спільні властивості кривини поверхні.

Література

1. Гуляев В.И. Расчёт оболочек сложной формы [Текст] / В.И. Гуляев, В.А. Баженов, Е.А. Гоцуляк, В.В. Гайдайчук. – К.: Будівельник, 1990. – 192 с.
2. Математическая энциклопедия [Текст] / [гл. ред. И. М. Виноградов]. – Т. 3. – М.: «Сов. энциклопедия», 1982. – С. 683–690.
3. Han Lu. An overview of materials with triply periodic minimal surfaces and related geometry: from biological structures to self-assembled systems [Електроний ресурс] / Lu Han, Shunai Che // Advanced Materials. – 2018. – Vol. 30. – Issue 17. – P. 1705708. Available at: <https://doi.org/10.1002/adma.201705708>
4. Аушева Н.М. Конструювання поверхонь та ортогональних сіток на основі ізотропного параметричного многочлена Лагранжа

- [Електроний ресурс] / Н.М. Аушева // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2016. – № 59. – С. 16-22. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/МТР_2016_59_7
5. Пилипака С.Ф. Конструирование минимальных поверхностей с помощью изотропных кривых, лежащих на поверхности тора [Текст] / С.Ф. Пилипака, Н.Н. Муквич // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture». – Vol. 18, No 3. – Lublin – Rzeszov, 2016. – С. 101 – 110.
 6. Пилипака С.Ф. Утворення мінімальних поверхонь за допомогою ізотропних кривих, які лежать на поверхні обертання астроїди [Текст] / С.Ф. Пилипака, М.М. Муквич // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016.– №6. – С. 91–95.
 7. Фиников С. П. Теория поверхностей [Текст] / С. П. Фиников. – М. – Л.: ГТТИ, 1934. – 206 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОТРОПНЫХ ЛИНИЙ НА МНИМЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ВРАЩЕНИЯ

Пилипака С.Ф., Муквич Н.Н.

Определены аналитические зависимости образования пространственных изотропных линий, лежащих на мнимых поверхностях вращения, отнесённых к изометрической сети мнимых координатных линий. Получены параметрические уравнения изотропных линий и минимальных поверхностей, построенных на основании мнимого цилиндра.

Ключевые слова: изотропная линия, минимальная поверхность, линейный элемент поверхности, средняя кривизна поверхности.

ANALYTICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION OF ISOTROPIC LINES ON THE IMAGINARY SURFACES OF REVOLUTION

Pylypaka S., Mukvich M.

The article analyzes the dependence of the formation of spatial isotropic lines that lie on the imaginary surfaces of rotation, which are assigned to the isometric grid of imaginary coordinate lines. Parametric equations of isotropic lines and minimal surfaces constructed on the basis of an imaginary cylinder are found.

Key words: isotropic line, minimal surface, linear surface element, mean curvature of surface.

УДК 514.18

МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ОБРАЗІВ ПЛОСКИХ КРИВИХ З ЛАНКАМИ ОДНАКОВОЇ ДОВЖИНИ

Скочко В. І., к.т.н.*

Київський національний університет будівництва і архітектури
(Україна)

При побудові дискретних образів кривих ліній на площині може виникнути потреба у тому, щоб відстані між суміжними точками цього образу були однаковими. В якості одного з варіантів вирішення даної задачі пропонується використання дискретних образів, подібних до реальних механічних систем із накладанням на їх вільні вузли спеціальних функціональних умов в процесі пошуку їх координат. Даний підхід базується на принципах пошуку умовних екстремумів функцій багатьох змінних.

Ключові слова: дискретний образ, умовний екстремум функцій.

Постановка проблеми. Часто в процесі проектування технічних форм різноманітних об'єктів виникає потреба у побудові їх плоских перерізів, зокрема при визначенні траєкторій руху робочих механізмів й інструментів машин і обладнання, які пошарово здійснюють механічну обробку або формування різних матеріалів та заготовок, а також при 3D друці. В силу того, що характер роботи комп'ютерного обладнання, контролерів та механізмів, які задіяні у створенні технічних об'єктів, є дискретним, неперервним функціям форми цих об'єктів також властивий дискретний характер, а дані про відповідні форми зберігаються у вигляді векторів, або матриць. Окрім того, коли мова йде про технічні форми, що в процесі експлуатації мають піддаватися механічним впливам різної природи, ці форми, як правило, розраховуються на міцність та стійкість. Інженери та науковці прагнуть не допускати виникнення концентрації напружень на поверхнях результуючих об'єктів. Для цього слід забезпечувати максимальну однорідність поверхонь та їх плоских перерізів й уникати наявності випадкових точок спеціального типу (перегину, звороту, розгалуження ізольованих точок та ін.). В той же час, сталого кроку дискретизації по окремих осях стає вже недостатнім для досягнення даної мети.

Одним із можливих шляхів часткового вирішення даної проблеми є побудова дискретних образів плоских кривих (ДОПК) у кожному перерізі з заданням сталої відстані між суміжними точками.

* Науковий консультант – д.т.н., професор Плоский В.О.

Однак, в цьому випадку пошук координат точок дискретно представленої кривої стає досить непростою задачею, яка вимагає оперування натуральними параметрами кривої (довжиною, наприклад). Отже, пошук точних та наочних підходів до побудови ДОПК з ланками однакової довжини є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В публікаціях [1] та [2] було представлено два способи побудови ДОПК функцій, заданих в неявній формі. Один із цих способів передбачає задання на площині моделей, що інтерпретують деякі сітчасті структури (механічні стрижневі системи) та перебувають у стані статичної рівноваги під дією зовнішніх навантажень. Початкове формоутворення таких моделей відбувається у відповідності до статико-геометричного методу (СГМ) формування дискретних образів [5]. Рівняння рівноваги вільних вузлів моделі одержуються шляхом проєкціювання векторів сил $\bar{\mathfrak{T}}_i$, що діють на вузол ззовні, та векторів внутрішніх зусиль відсічених стрижнів $\bar{R}_{i,j}$ на координатні осі. В найбільш універсальній та узагальненій формі ці рівняння для довільного i -го вузла виглядатимуть наступним чином:

$$\sum_{j=1}^k (s_j - s_i) \cdot \aleph_{i,j} + \mathfrak{T}_{s_i} = 0. \quad (1)$$

тут s – узагальнююче позначення координат x та y ; k – кількість незафіксованих вузлів конструкції, суміжних з i -м; $\aleph_{i,j}$ – параметри умовної жорсткості ланок, що виражаються відношеннями абсолютних величин поздовжніх зусиль у цих ланках $R_{i,j}$ до їх довжин $\delta_{i,j}$:

$$\aleph_{i,j} = R_{i,j} / \delta_{i,j}. \quad (2)$$

Після одержання початкової форми в процесі вирішення системи рівнянь типу (1) відносно невідомих координат, здійснюється корегування параметрів $\aleph_{i,j}$ моделі шляхом складання та ітераційного розв'язання системи параметричних рівнянь стану усіх ланок [3, 4]. Ці рівняння у найбільш простій формі мають наступний вид:

1) для ланок, що з'єднують два вільні вузли (S_a і S_b):

$$\sum_{i=1}^{l-1} \delta_{a,i}^2 \cdot \aleph_{a,i} + \chi \cdot \delta_{a,b}^2 \cdot \aleph_{a,b} + \sum_{j=1}^{m-1} \delta_{b,j}^2 \cdot \aleph_{b,j} - (\varphi_a + \varphi_b) + B_{a,b} = 0; \quad (3)$$

2) для ланок, що з'єднують вільний і зафіксований вузли (S_a і S_{fix}):

$$\sum_{i=1}^{l-1} \delta_{a,i}^2 \cdot \aleph_{a,i} + \chi \cdot \delta_{a,fix}^2 \cdot \aleph_{a,fix} - \varphi_a + (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix}) + B_{a,fix} = 0, \quad (4)$$

де l і m – кількість вузлів суміжних із a -м та b -м (або fix -м) вузлами; χ – константа, величина якої обумовлюється топологією моделі; φ_a і φ_b – вузлові значення скалярного потенціалу (поля цільової функції); $R_{s_{fix}}$ – проєкції зусиль у ланках, що з'єднуються з зафіксованими вузлами; $B_{a,b}$ і $B_{a,fix}$ – загальні операційні константи інтегрування.

Процес корегування параметрів $\aleph_{i,j}$ здійснюється шляхом поетапної заміни поточних значень потенціалів φ_i (значень досліджуваної функції ς) на обумовлені постановкою задачі очікувані їх величини φ'_i . В результаті спільного розв'язання систем рівнянь типу (1), (3) та (4) одержуються шукані координати вільних вузлів та відповідні параметри $\aleph_{i,j}$. Якщо мова не йде про пошук деякої ізолінії скалярного поля, то очікуване значення потенціалу φ'_i має в усіх вільних вузлах моделі дорівнювати нулю й відповідати значенням досліджуваної функції ς в точках, що належать її графіку:

$$\varphi'_i = \varsigma(x_i, y_i) = 0. \quad (5)$$

В [5] було продемонстровано спосіб побудови дискретних кривих з рівними ланками для інтерпретації моделей з навантаженнями нормальними до кривої у кожній її точці на основі СГМ.

Формулювання цілей статті. Розробка способу побудови ДОПК із заданими довжинами ланок.

Основна частина. Перш за все, розглянемо природу рівнянь (3) та (4). Вони одержуються інтегруванням рівнянь (1) по координатах s_a і s_b (або s_{fix}) з подальшим додаванням проінтегрованих тотожностей та з урахуванням заміни коефіцієнтів при спільних для обох тотожностей довжинах $\delta_{a,b}$ (або $\delta_{a,fix}$). Інтегральне рівняння деякого окремого i -го вузла, згідно має наступний вигляд [6]:

$$\sum_{j=1}^k \delta_{i,j}^2 \cdot \aleph_{i,j} - \varphi_i + G_i = 0, \quad (6)$$

де G_i – константа інтегрування окремого i -го рівняння рівноваги.

Ліву частину рівняння (6) можна розглядати як локальну цільову функцію, мінімум якої визначається при її диференціюванні, а також одержанні й розв'язанні рівнянь типу (1). Тоді умову рівновіддаленості суміжних вузлів ДОПК можна ввести до рівняння (6) на основі наступного твердження: якщо координати кожного i -го вузла моделі, при умові належності графіку досліджуваної функції ς , водночас задовільнятимуть рівнянням кіл з центрами у двох суміжних $(i-1)$ -му та $(i+1)$ -му вузлах, а радіуси даних кіл (r_{i-1} та r_{i+1}) будуть однаковими й рівними L , то й уся побудована дискретна крива складатиметься з ланок однакової довжини L . Дане твердження проілюстроване на рисунку 1. Спираючись на це твердження, побудуємо функцію Лагранжа з множниками $\lambda_{i,i-1}$ та $\lambda_{i,i+1}$. Функція матиме вид [7]:

$$F_i = \sum_{j=1}^k \delta_{i,j}^2 \cdot \aleph_{i,j} - \varphi_i + \lambda_{i,i-1} \cdot f_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}) + \lambda_{i,i+1} \cdot f_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}) + G_i, \quad (7)$$

$$\text{де} \quad f_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}) = (x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2 - L^2, \quad (8)$$

$$f_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}) = (x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 - L^2. \quad (9)$$

Маючи функцію Лагранжа (7) з введеними в неї умовами (8) та (9), знайдемо умовні екстремуми цієї функції, визначивши часткові похідні по x_i , y_i , $\lambda_{i,i-1}$ та $\lambda_{i,i+1}$ й, прирівнявши одержані похідні до нуля. Одержимо уточнені рівняння статичної рівноваги вільних вузлів моделі (для скорочення замінімо дві тотожності з x та y на одну рівність із s):

$$\sum_{j=1}^k (s_j - s_i) \cdot \aleph_{i,j} + \wp_{s_i} = 0, \quad (10)$$

$$(x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2 - L^2 = 0, \quad (11)$$

$$(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 - L^2 = 0, \quad (12)$$

де $\wp_{s_i} = \Im_{s_i} - 2 \cdot [\lambda_{i,i-1} \cdot (s_{i-1} - s_i) + \lambda_{i,i+1} \cdot (s_{i+1} - s_i)]. \quad (13)$

Як видно з рисунку 1, можливі випадки, коли рівняння типу (10) – (12) визначатимуть положення усіх вільних вузлів моделі, що мають належати кривій досліджуваної функції ζ , окрім 1-го (першого) й n -го (останнього) вузлів, оскільки ці два вузли мають задовольняти умові належності лише по одному колу, описаному навколо 2-го й $(n-1)$ -го вільних вузлів відповідно. В цих випадках, для 1-го й n -го вузлів функції Лагранжа матимуть наступну спрощену форму:

$$F_1 = \sum_{j=1}^k \delta_{1,j}^2 \cdot \aleph_{1,j} - \Phi_1 + \lambda_{1,2} \cdot f_2(x_2, y_2) + G_2, \quad (14)$$

де $f_2(x_2, y_2) = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 - L^2; \quad (15)$

$$F_n = \sum_{j=1}^k \delta_{n,j}^2 \cdot \aleph_{n,j} - \Phi_n + \lambda_{n,n-1} \cdot f_{n-1}(x_{n-1}, y_{n-1}) + G_n, \quad (16)$$

де $f_{n-1}(x_{n-1}, y_{n-1}) = (x_{n-1} - x_n)^2 + (y_{n-1} - y_n)^2 - L^2. \quad (17)$

Рівняння рівноваги цих вузлів виглядатимуть наступним чином:

$$\sum_{j=1}^k (s_j - s_2) \cdot \aleph_{2,j} + \wp_{s_2} = 0, \quad (18)$$

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 - L^2 = 0, \quad (19)$$

де $\wp_{s_2} = \Im_{s_2} - 2 \cdot \lambda_{1,2} \cdot (s_2 - s_1); \quad (20)$

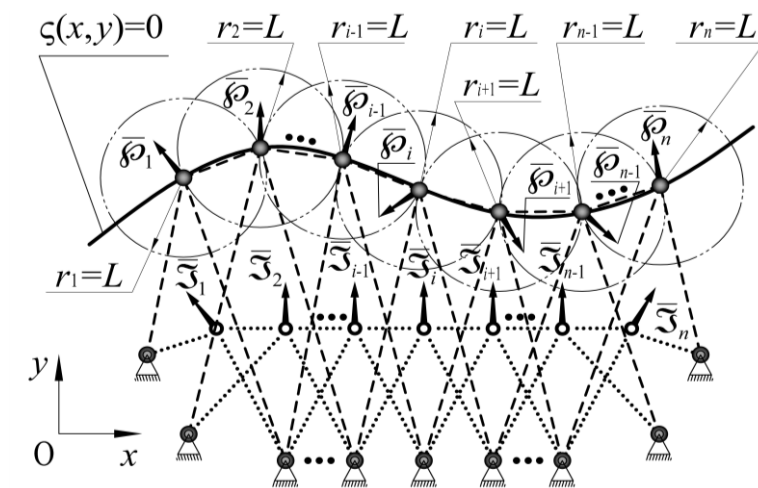
$$\sum_{j=1}^k (s_j - s_n) \cdot \aleph_{n,j} + \wp_{s_n} = 0, \quad (21)$$

$$(x_{n-1} - x_n)^2 + (y_{n-1} - y_n)^2 - L^2 = 0, \quad (22)$$

де $\wp_{s_n} = \Im_{s_n} - 2 \cdot \lambda_{n,n-1} \cdot (s_{n-1} - s_n). \quad (23)$

Складаючи рівняння типу (10) – (13), (18) і (19) та (21) і (22) для кожного вільного вузла моделі, одержимо систему з $(4 \times (n - 2) + 2 \times 2)$

$= 4 \times (n - 1)$ рівнянь (де n – кількість вільних вузлів). Розв'язуючи цю систему відносно невідомих координат та параметрів λ , отримаємо шукану форму ДОПК функції ζ .



Умовні позначення: ——— – неперервний графік функції ζ ; - - - - - – шуканий дискретний образ графіка функції ζ ; – дискретний образ, одержаний у першому наближенні; ● і ○ – вільні вузли дискретного образу в початковій та шуканій формах відповідно; ▴ – зафіксовані вузли дискретного образу.

Рис.1. Принцип побудови ДОПК з ланками однакової довжини

Висновки. Запропонований підхід можна успішно використовувати для моделювання дискретних образів функцій, записаних як у явній формі, так і неявній. Окрім того, даний підхід є досить гнучким, оскільки передбачає побудову не лише класичних моделей багатоланкових ниток, але й складних (в тому числі непланарних) моделей сітчастих структур, що інтерпретують характер роботи реальних механічних стрижневих систем, зокрема плоских безмоментних ферм, рам тощо.

Література

1. Скочко В. І. Дискретна візуалізація плоских кривих, заданих функціями в неявній формі / В. І. Скочко // Містобудування та територіальне планування. – К. : КНУБА, 2017. – Вип. 64. – С. 372-383.
2. Скочко В. І. Формоутворення каркасів технічних форм, заданих на площині неявними функціями / В. І. Скочко // Підводні технології. – К. : КНУБА, 2017. – Вип. 7. – С. 3-17.
3. Скочко В. І. Рівняння параметрів стану та положення в'язей сітчастих структур / В. І. Скочко, Л. О. Скочко // Основи і фундаменти. – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 34. – с 47-57.
4. Скочко В. І. Рівняння параметрів стану та положення в'язі, що

- сполучає вільний та закріплений вузли сітчастої структури / В. І. Скочко // Містобудування та територіальне планування. – К. : КНУБА, 2014. – С. 521-527.
5. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Спеціальні розділи. Випуск 1 / [С. М. Ковальов, М. С. Ігумен, С. І. Пустюльга, В. Є. Михайленко и др.]; за ред. В. Є. Михайленка. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2006. – 256 с.
 6. Kulikov P. The Principles of Discrete Modeling of Rod Constructions of Architectural Objects / P. Kulikov, O. Ploskiy, V. Skochko // Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture / Polish Academy of Sciences. – Lublin-Rzeszow, 2014. – vol. 16 (8). – С.3-10.
 7. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Изд. перераб. / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев; под ред. Г. Гроше, В. Циглера. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 976 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ОБРАЗОВ ПЛОСКИХ КРИВЫХ СО ЗВЕНЬЯМИ ПОСТОЯННОЙ ДЛИНЫ

Скочко В.И.

При построении дискретных образов кривых линий на плоскости может возникнуть потребность в том, чтобы расстояния между смежными точками этого образа были одинаковыми. В качестве одного из вариантов решения данной задачи предлагается использование дискретных образов, подобных реальным механическим системам с наложением на их свободные узлы специальных функциональных условий в процессе поиска их координат. Данный подход основывается на принципах поиска условных экстремумов функций многих переменных.

Ключевые слова: дискретный образ, условный экстремум функции.

MODELING OF DISCRETE IMAGES OF PLANE CURVES WITH CONSTANT LENGTH OF LINKS

Skochko V.

When constructing discrete images of curved lines on a plane, there may be a need for the distances between consecutive points of this image to be the same. One of the variants of solving this problem is the use of discrete images similar to real mechanical systems with special functional conditions applied to their free nodes in the process of finding their coordinates. This approach is based on the principles of searching for conditional extrema of functions of several variables.

Key words: discrete image, conditional extremum of a function.

УДК 004.94

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРИБОРІВ СПЕЦІАЛЬНОГО МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Сліпченко В.Г., д.т.н.,
Полягушко Л.Г.*

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

У роботі описується система автоматизованого проектування конструкцій корпусів спеціальних медичних пристроїв – гіпоксикаторів. Отримані 3D моделі та креслення корпусів блоку управління та дихального контуру приладу для різних комплектацій. По результатах проектування створено екземпляри конструкцій, що пройшли дослідження та отримали методичні рекомендації до застосування в медичній практиці.

Ключові слова: *система автоматизованого проектування, конструкція корпусу, гіпоксикатор, гіпокситерапія.*

Постановка проблеми. У зв'язку з широким використанням в спортивній та медичній практиці немедикаментозного методу підвищення адаптаційних властивостей організму до негативних збудників навколишнього середовища – інтервальних нормобаричних гіпоксичних тренувань, актуальною задачею є розробка спеціальних приборів – гіпоксикаторів [1]. Для скорочення терміну виробництва, зменшення затрат та підвищення якості пристроїв пропонується система автоматизованого проектування конструкції корпусів гіпоксикаторів. Ця система дозволяє створювати різноманітні конфігурації для різних типів користувачів, яких можна класифікувати за такими критеріями: вік, фізична підготовка та захворювання пацієнтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виходячи з аналізу існуючих систем автоматизованого проектування, на сьогодні існує безліч прикладів реалізації спеціалізованих САПР медичного спрямування, але вони всі направлені на створення протезів кінцівок [2], зубів [3], атласів тіла [4] тощо, а для проектування медичних приладів використовуються такі системи як, SolidWorks, ANSYS, КОСМОС-3D, що призначені для інших цілей і у них відсутній набір деталей та компонентів для проектування та аналізу медичного обладнання.

* Науковий керівник – д.т.н., професор Сліпченко В.Г.

Формулювання цілей статті. Метою статті є системи автоматизованого проектування конструкції корпусів гіпоксикатора, що складається зі спеціалізованих блоків: дихальної камери і блоку управління.

Основна частина. Система автоматизованого проектування корпусів гіпоксикатора призначена для автоматизації процесу побудови геометричних моделей різних видів корпусів пристрою та оптимізації їх конструкції за різними критеріями.

Структурна схема системи автоматизованого проектування зображено на рисунку 1.

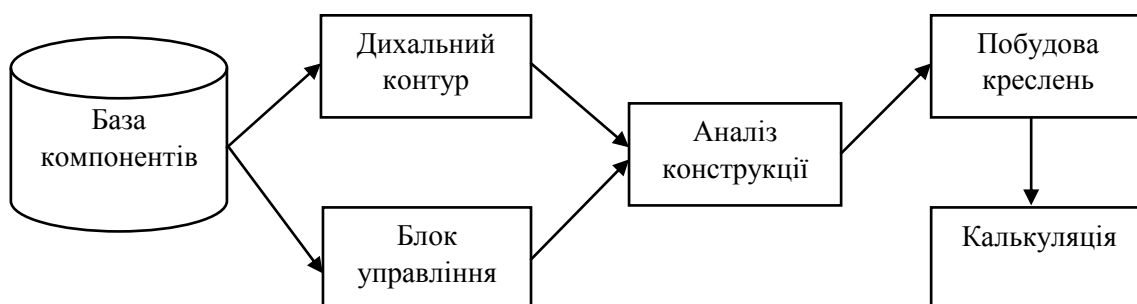


Рис. 1. Структурна схема САПР

Підсистема «База компонентів/інструментів» призначена для зберігання та актуалізації бази компонентів/інструментів необхідних для проектування блоку управління та дихального контуру.

Підсистема «Дихальний контур» призначена для проектування конструкції дихального контуру пристрою, що ділиться на дихальну камеру та систему подачі пацієнтові газової гіпоксичної суміші. Ця підсистема виконує такі задачі: побудова системи подачі газової суміші пацієнтові відповідно до заданих умов, побудова картриджа поглинача вуглекислого газу відповідно до заданих умов (розрахунок необхідної кількості поглинача вуглекислого газу), побудова дихальної камери відповідно до заданих умов, оптимізація корпусу дихальної камери під різні види матеріалів (пластик/метал), збереження моделі на диск.

Підсистема «Блок управління» призначена для проектування конструкції корпусу блоку управління пристрою, що складається з плат, мікроконтролера та вимірювальних пристроїв. Ця підсистема виконує такі задачі: завантаження електронних схем мікроконтролеру та плат і побудова їх тривимірних моделей, оптимальне розміщення компонентів блоку управління відповідно до заданих умов (мінімальний розмір чи розмір відповідного типу), оптимізація корпусу блока під різні види матеріалів (пластик/метал), побудова тривимірної моделі блоку управління, збереження моделі на диск.

Підсистема «Аналіз конструкції» призначена для аналізу конструкції блоку управління та дихального контуру. Ця підсистема виконує наступні задачі: аналіз конструкції на стійкість та обрахунок розмірів і об'ємів контуру, визначення оптимального розміру резервної ємності для однієї процедури, аналіз та розрахунки параметрів для картриджа поглинач вуглекислого газу в залежності від фізіологічних параметрів пацієнта.

Підсистема «Побудова креслень» призначена для побудови збірних та подетальних креслень різних блоків пристрою відповідно до вимог ДСТУ, створення специфікації для креслень корпусу блока управління відповідно до вимог ДСТУ та збереження на диск та друк вихідних креслень.

Підсистема «Калькуляція» призначена для розрахунку собівартості отриманої моделі пристрою за відповідною інформацією у базі даних.

Приклади побудови тривимірних моделей корпусів блока управління та дихальної камери зображено на рисунках 2 і 3 відповідно.

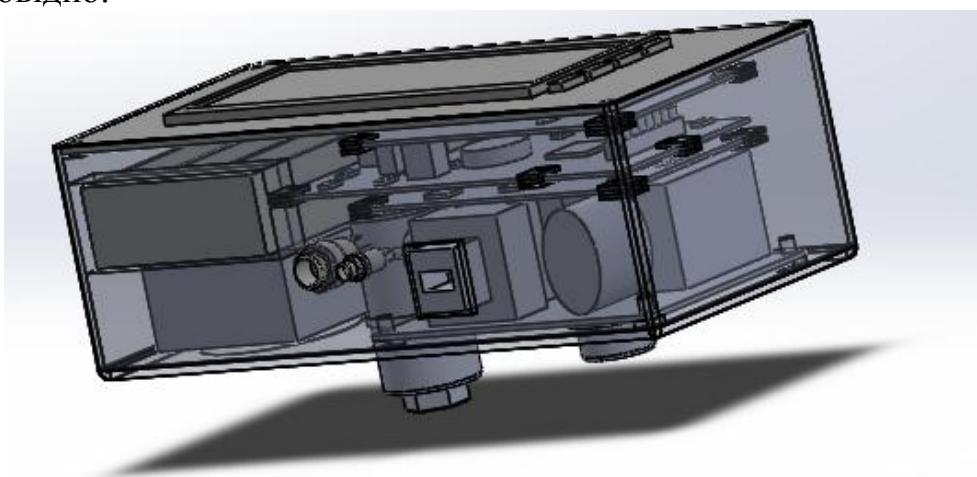


Рис. 2. Приклад 3D модель блока управління

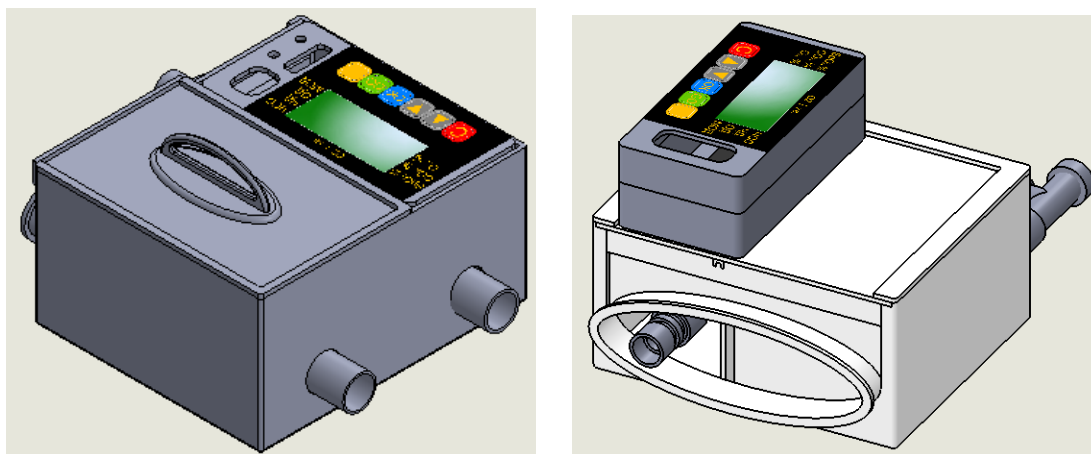


Рис. 3. Приклади 3D модель дихальної камери

Приклад збірного креслення корпусу блоку управління з пластика представлено на рис. 4.

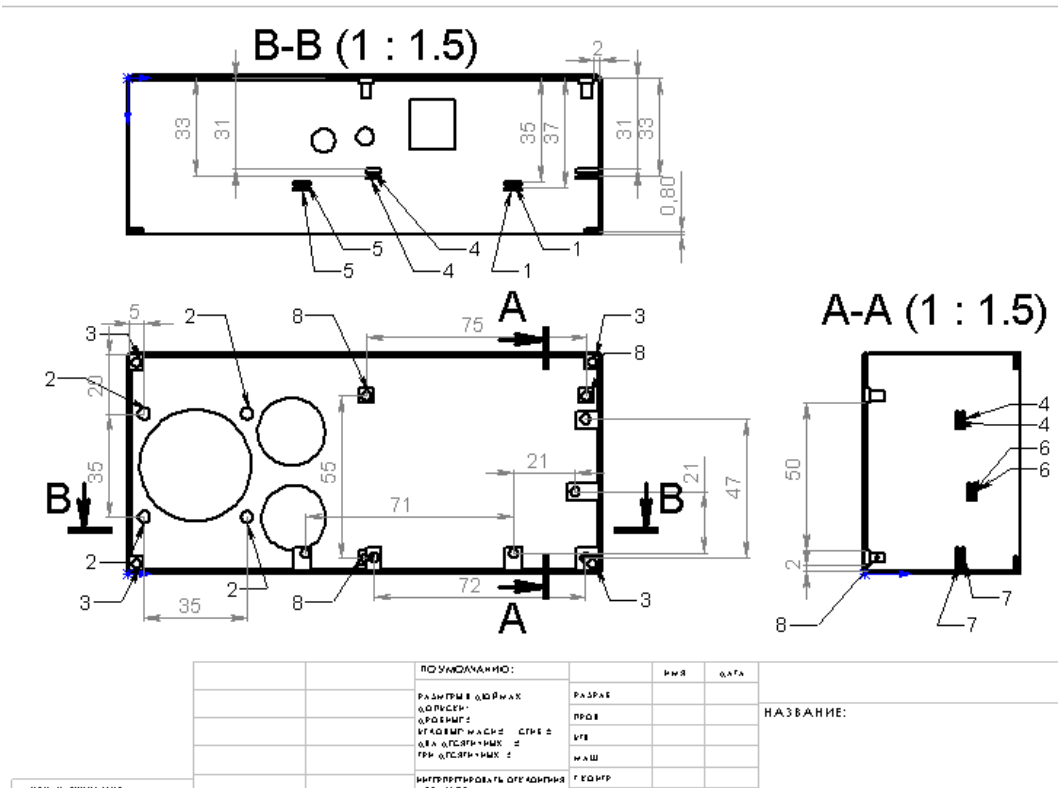


Рис. 4. Приклад збірного креслення корпусу блоку управління

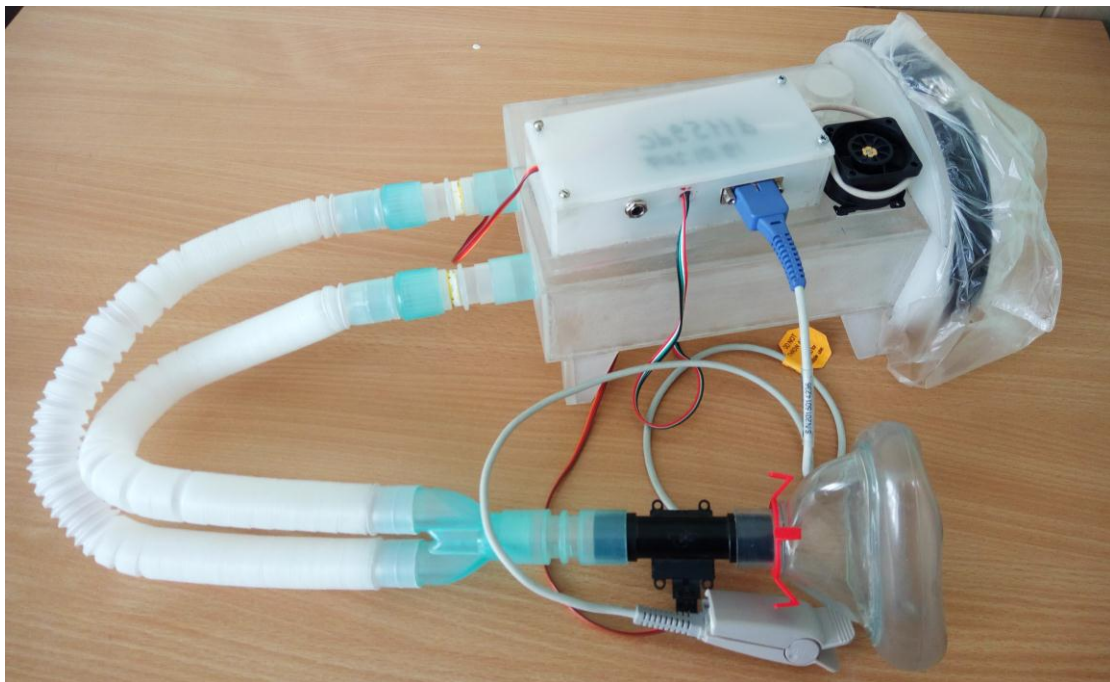


Рис. 5. Зовнішній вигляд

По результатам проектування створено екземпляри (рис. 5) конструкції гіпоксикатора (автоматизованого програмно-апаратного комплексу для проведення гіпокситерапії [5]) для різних вікових груп, які пройшли клінічні дослідження та рекомендовано до використання в медичній практиці [6].

Висновки. Запропонована система проектування АПАК для гіпокситерапії дозволила скоротити час та грошові витрати на виготовленні різних моделей конструкції комплексу. Також ця система може використовуватися для проектування дихальних пристроїв різного призначення. Подальші роботи у цьому напрямку будуть спрямовані на розширення функцій аналізу конструкцій та розширення бази компонентів новими моделями вимірювальних пристроїв.

Література

1. Гіпоксія як метод підвищення адаптаційної здатності організму / О.В.Коркушко та ін.; за заг. ред. О.В. Коркушко, В.Г. Сліпченко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 482 с.
2. Eltorai A.E. Three-Dimensional Printing in Orthopedic Surgery / A.E.Eltorai, E. Nguyen, A. H. Daniels // Orthopedics. – 2015. – Nov. № 38 (11). – P. 684-687. doi: 10.3928/01477447-20151016-05.
3. Bertolini Mde M. The use of CAD/CAM technology to fabricate a custom ceramic implant abutment: a clinical report / M. Bertolini Mde, J. Kempen, E.J. Lourenço, M. Telles Dde // J Prosthet Dent. – 2014. – № 111(5). – P. 362-366. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.08.016.
4. Гвоздев В.Е. Анализ технологии трехмерного анатомического атласа / В.Е. Гвоздев, Р.В. Насыров, И.С. Тиунов // Технические науки. Фундаментальные исследования. – 2012. – №9. – С. 370-374.
5. Slipchenko V. Development of hardware and software of the complex for hypoxotherapy / V. Slipchenko, L. Poliagushko, V. Kotunov // Technology audit and production reserves. – 2018. – № 2/2(40). – P.22-28. doi: 10.15587/2312-8372.2018.128802.
6. Застосування інтервальних нормобаричних гіпоксичних тренувань у хворих похилого віку з хронічним обструктивним захворюванням легень / Е.О. Асанов, В.Г. Сліпченко, Л.Г.Полягушко та ін. – Київ : Політехніка, 2017. – 28 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Слипченко В.Г., Полягушко Л.Г.

В работе описывается система автоматизированного проектирования конструкций корпусов специальных медицинских устройств – гипоксикаторов. Полученные 3D модели и чертежи корпусов блока управления и дыхательного контура прибора для различных комплектаций. По результатам проектирования созданы экземпляры конструкций, которые прошли исследования и получили методические рекомендации к применению в медицинской практике.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, конструкция корпуса, гипоксикатор, гипокситерапия.

SYSTEM OF AUTOMATED DESIGN OF THE SPECIAL MEDICAL DEVICE

Slipchenko V., Poliagushko L.

This paper describes the system of automated design of structures for special medical devices - hypothecators. Obtained 3D models and drawings of the control unit and the respiratory contour of the device for various types of equipment. According to the results of the design, specimens have created that have studied and received methodical recommendations for use in medical practice.

Key words: computer-aided design, structure, hypoxycator, hypoxic therapy.

УДК 536.3

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІДБИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ

Тормосов Ю.М., д.т.н.,

Саенко С.Ю., к.т.н.

*Харківський державний університет харчування та торгівлі
(Україна)*

В роботі шляхом комп'ютерного моделювання доведено достовірність методики визначення профілю відбивача, який забезпечує рівномірне сумарне опромінення поверхні продукту.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання теплообміну випромінюванням, інфрачервоне обладнання, профілювання рефлекторів, теплотехнічні системи.

Постановка проблеми. Встановити методами комп'ютерного моделювання розподіл густини теплового потоку на поверхні в інфрачервоних (ІЧ) апаратах для сушіння. Оцінити достовірність теоретичних підходів до визначення їхніх форм, що були запропоновані у попередніх працях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У традиційному інфрачервоному обладнанні харчових виробництв та ресторанного господарства відбивачі променевого потоку зазвичай не використовуються або використовуються такі їхні профілі, що неспроможні утворити рівномірний променевий потік на поверхні продукту [1]. Це частково зумовлено відсутністю теоретичного розв'язку відповідної задачі. Отже, розробка науково обґрунтованої методики профілювання рефлекторів, які позбавлені цього недоліку, є актуальною проблемою. У попередніх дослідженнях [2 – 4] було отримано теоретичні розв'язки так званих «обернених задач» із визначення профілів відбивачів для обладнання із найрізноманітнішими формами поверхонь приймачів без урахування втрат теплоти на рефлекторі.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є доведення доцільності використання раціональних профілів відбивачів, а також перевірка достовірності отриманої раніше методики визначення таких профілів шляхом комп'ютерного моделювання. Запропонована концепція шляхом розв'язку «оберненої задачі» в разі використання MathCAD надає профіль відбивача, що забезпечує рівномірне опромінення. Прийнятність такого способу верифікації була доведена раніше [2].

Основна частина. У роботі розглянемо два випадки теплотехнічних систем: перший із двома випромінювачами та двома відбивачами (рис. 1); другий – із одним випромінювачем та одним відбивачем (рис. 2).

Розглянемо теплотехнічну систему, схему якої подано на рис. 1. Вона складається з лінійного випромінювача 1, циліндричних відбивача 2 та приймача тепла 3. У праці [3] наведено концепцію визначення форми перерізу відбивача.

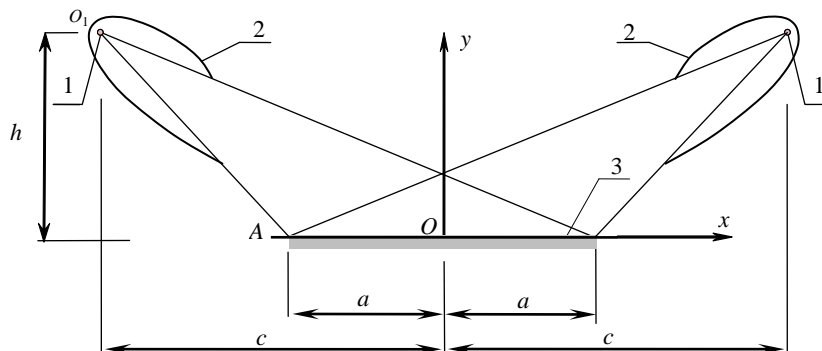


Рис. 1. Теплотехнічна система із двома відбивачами

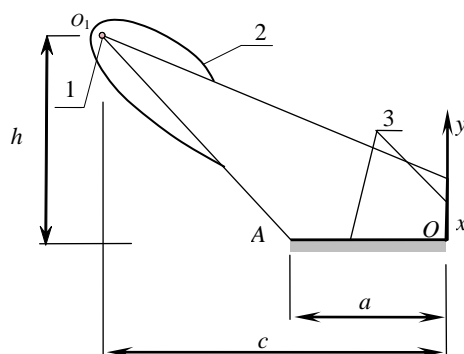


Рис. 2. Теплотехнічна система з одним відбивачем

Візьмемо випромінювач потужністю 1000 Вт із довжиною 500 мм. Довжина теплових хвиль складає 1,2 мкм, відповідно кути падіння теплових променів на рефлектор дорівнюють кутам віддзеркалення.

Моделювання руху променів та розподілу теплоти на робочій поверхні будемо робити у програмі TracePro. Цю програму використовують для моделювання процесів, які описуються законами оптики, зокрема тих, що ґрунтуються на твердженні: кут падіння променя дорівнює куту віддзеркалення, а саме за цим законом розповсюджуються теплові промені. Для отримання достовірних результатів слід моделювати апарати, в яких використовуються інфрачервоні випромінювачі, оскільки для діапазону хвиль, що випромінюють ці джерела, конвективна складова зводиться до мінімуму [5].

Крім того, програма дозволяє моделювати рух променів у робочій камері, задавати спектр потоку, призначати потужність випромінювача, призначати різним поверхням різні фізичні властивості, задавати ступінь поглинання енергії тощо.

Для моделювання розподілу теплоти та руху променів необхідно побудувати тривимірну модель установки. Для цього використаємо AutoCAD. Для моделювання рефлектора в AutoCAD скористаємось програмою в MathCAD, яка дає низку координат точок рефлектора. Використовуючи команду побудови сплайна, побудуємо сплайн, що відповідає формі рефлектора. Наприкінці отримуємо твердотільну тривимірну модель, яку можна ввести до програми Trace Pro.

Щоб отримати числовий розв'язок у Trace Pro, треба задати кількість теплових променів, що виходять із джерела. Комп'ютерна програма випадковим чином вибирає точки на випромінювачі та напрямки руху променів, що виходять із них, і автоматично обчислює їх траєкторії.

Просторовий розподіл густини потоку випромінювання моделюється шляхом розрахунку траєкторій окремих випадкових променів, і точність розв'язку відповідає їх кількості. Розподіл променів у робочій камері для випадку з одним випромінювачем (рис. 2) наведено на рис. 3.

Очевидно, що геометрія руху променів збігається з теоретичною. Виявилось, що для отримання реалістичної картини розподілу променевого потоку, треба брати кількість променів не менше мільйона [5]. Опромінювання приймача показано на рисунку 4. Зміна інтенсивності опромінювання подається як зміна кольорів поверхні, але навіть монохромне зображення дозволяє констатувати, що густина теплового потоку на поверхні робочого тіла є сталою величиною (наявність на рисунках місць із незначною зміною кольорів пояснюється похибками методу комп'ютерного обчислення).

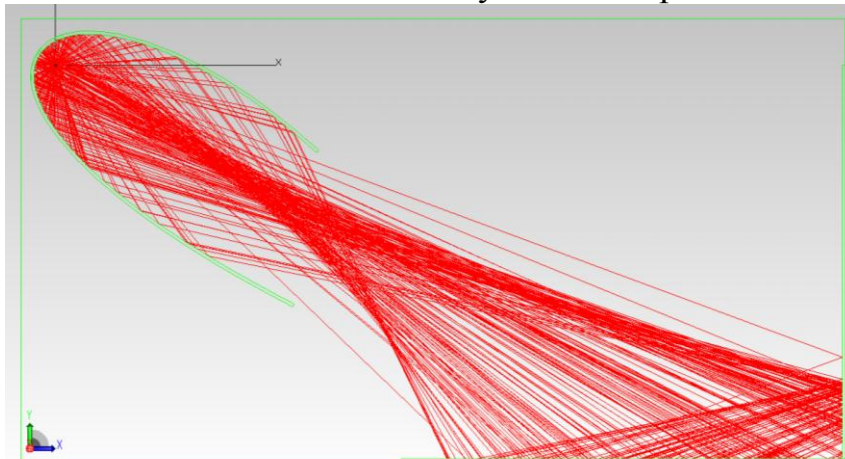


Рис. 3. Розподіл променів у робочій камері

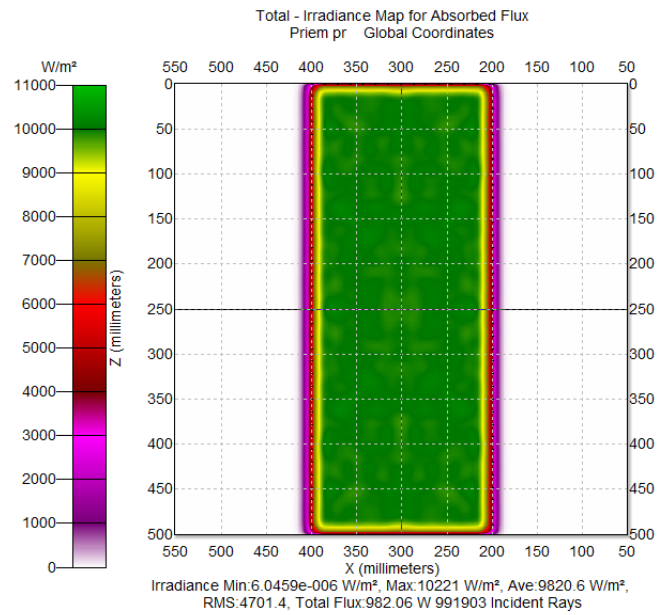


Рис. 4. Картина опромінення поверхні

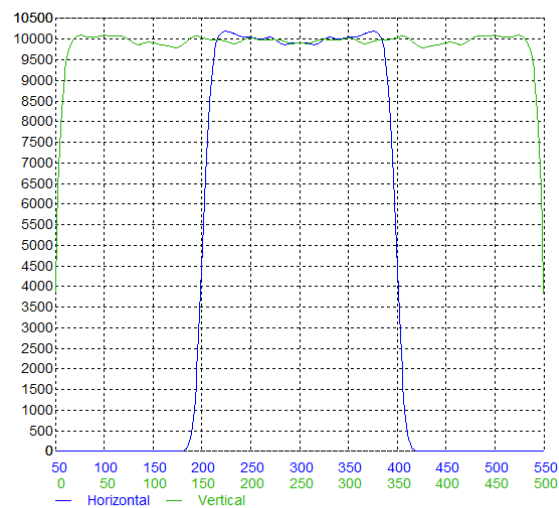


Рис. 5. Значення теплового потоку по горизонталі та вертикалі

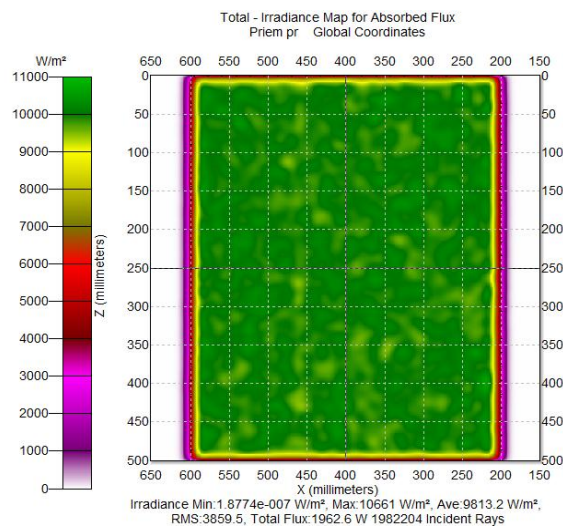


Рис. 6. Картина опромінення поверхні

На рис. 4 та на рис. 5 показано розподіл густини теплового потоку на робочій поверхні для схеми, наведеної на рис. 2.

Розподіл теплового потоку на поверхні від системи, зображеної на рис. 1, наведено на рис. 6 та рис 7.

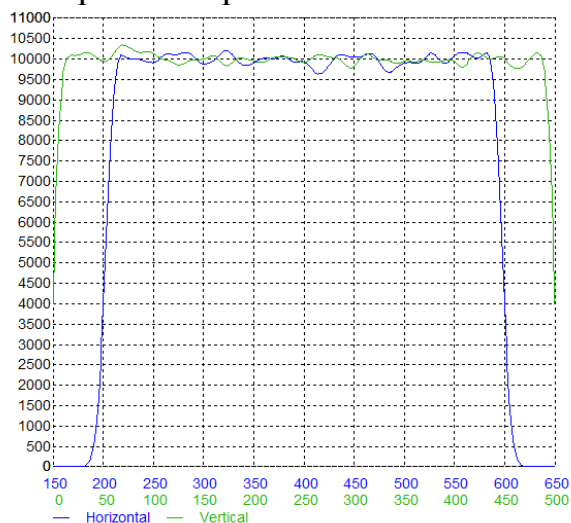


Рис. 7. Значення теплового потоку по горизонталі та вертикалі

Висновки. Шляхом комп'ютерного моделювання за умови використання програми TracePro доведено достовірність теорії складання форми рефлектора, що розглянуто у праці [2]. На рисунках бачимо, що додавання перпендикулярної стінки до системи не вплинуло на рівномірність теплового потоку на приймачі, а це дає змогу конструювати сушильні шафи з опромінюванням продукту з одного боку, що впливає на енергозбереження процесу сушіння й на зменшення вартості кінцевого продукту.

Література

1. Черевко О. І. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів. Навч. посібник / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна. — Х.: ХДАТОХ, 2000. — 332 с.
2. Саєнко С. Ю. Визначення раціональних форм рефлекторів сушарок / С. Ю. Саєнко, В. П. Плевако, І. П. Педорич // Прикладна геометрія та інженерна графіка / Таврійський держ. агротехнол. ун-т. — Мелітополь, 2012. — Т. 54. — №4. — С. 117–125.
3. Плевако В. П. Визначення форм рефлекторів теплотехнічних установок, які забезпечують заданий розподіл тепла на приймачах довільних перерізів / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко // Геометричне та комп'ютерне моделювання / Харк. держ. ун-т харч. та тор. — Х., 2007. — № 17. — С. 75–90.
4. Тормосов Ю. М. О форме цилиндрического отражателя для равномерного нагрева полосы плоскости / Ю. М. Тормосов //

Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. АПБ Украины. – Вып. 11. – Харьков: Фолио, 2002. – С.201-205.

5. Саєнко С. Ю. Моделювання розповсюдження теплових променів у ІЧ-апаратах харчової промисловості засобами TracePro / С. Ю. Саєнко, В. П. Плевако // Геометричне та комп'ютерне моделювання / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2009. – № 25. – С. 57–62.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРАЖАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Тормосов Ю.М., Саєнко С.Ю.

В работе путем компьютерного моделирования доказана достоверность методики определения профиля отражателя, который обеспечивает равномерное суммарное облучение поверхности продукта.

Ключевые слова: компьютерное моделирование теплообмена излучением, инфракрасное оборудование, профилирование рефлекторов, теплотехнические системы.

CODRYINGMPUTER MODELING OF THE REFLECTIVE SYSTEM OF CHAMBER FOR DRYING

Tormosov Y., Saenko S.

In work by computer modeling proved the reliability of the method of determining the profile of the reflector, which provides uniform total irradiation of the surface of the product.

Key words: computer modeling of heat exchange by radiation, infrared equipment, profiling of reflectors, heat engineering systems.

УДК 514.18

ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНО-ІНТЕРПОЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ СТАНУ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Холковський Ю. Р., к.т.н.

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)

У роботі наведений нетрадиційний дискретно-інтерполяційний підхід, пов'язаний із розгляданням вузлів інтерполяції, як більш складних об'єктів, ніж точка. На основі даного підходу розроблений дискретно-інтерполяційний метод побудови відповідних геометричних моделей складних об'єктів та середовищ для аналізу та прогнозування їх стану.

Ключові слова: дискретні функції, однопараметрична множина, інтерполяція, вузол інтерполяції, дискретно-інтерполяційна матриця.

Постановка проблеми. Моделювання складних багатопараметричних об'єктів та середовищ, прогнозування та контроль їх стану є сучасною, актуальною та доволі складною проблемою. Пояснюється це, в першу чергу, тим, що моделювання, прогнозування й контроль стану систем, середовищ та їх компонентів є стохастичним процесом. А це впливає, в свою чергу, з того, що, наприклад, природні екологічні системи, енергетичні, кліматичні, гідрологічні, геоморфологічні, геологічні, гідравлічні тісно взаємопов'язані одна з одною, й неможливо ізольовано розглядати певну окрему конкретну екологічну чи будь-яку іншу систему. До того ж такі системи або середовища мають доволі складну структуру та велику кількість різноякісних параметрів. Більш того, параметри таких систем та середовищ є суттєво неоднорідними й часто залежать від зовнішніх факторів, які інколи просто неможливо передбачити.

У більшості випадків моделювання складних технічних об'єктів, багатопараметричних різноманітних природних та штучних технічних середовищ і подальшого їх інженерного проектування йдеться про математичне, а саме геометричне моделювання у вигляді деяких поверхонь, які можуть являти собою певні технічні форми, моделювати розподіл компонентів різноманітних певних середовищ тощо. Необхідно зазначити, що часто такі складні об'єкти чи середовища практично не піддаються аналітичному опису, тобто не можливо отримати їх аналітичні континуальні моделі. Тому пошук і створення математичних моделей таких об'єктів для прогнозування їх

стану є сучасною досить актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі практично досить рідко зустрічаються окремі випадки розглядання питань геометричного моделювання багатопараметричних систем та середовищ, а також побудови їх математичних моделей. Особливо це стосується таких багатопараметричних систем і середовищ, як, наприклад, екологічні, енергетичні, кліматичні, гідрологічні, геоморфологічні, геологічні, гідравлічні системи, які відрізняються великою кількістю різноманітних і різноякісних параметрів, і для яких аналіз та прогнозування стану, як вже зазначалося, є вкрай важливими практичними задачами. Зазначимо, що алгоритми та методи саме геометричного моделювання складних багатопараметричних систем та середовищ із побудовою їх математичних моделей у літературних джерелах практично відсутні, звідки й впливають наступні цілі дослідження.

Формулювання цілей статті. Метою даного дослідження є вивчення складних багатопараметричних об'єктів та середовищ, розробка методів та алгоритмів побудови дискретних математичних моделей щодо моделювання складних багатопараметричних середовищ.

Основна частина. Розглянемо, наприклад, побудову дискретних математичних моделей таких складних багатопараметричних середовищ, як екологічні. Для виокремлення антропогенної складової на фоні природних біосферних процесів використовується екологічний моніторинг, що являє собою інформаційну систему спостережень, оцінювання й прогнозування змін у стані компонентів довкілля. В умовах неконтрольованого впливу людини на навколишнє середовище, сучасної глобальної екологічної кризи робота з організації екологічного моніторингу, обробки його результатів та прогнозування майбутнього стану певної екосистеми, очевидно, набуває особливої значущості.

Методологія та технологія, що пропонуються автором полягають у виборі раціональних методів геометричного моделювання складних багатопараметричних екологічних процесів та середовищ, прогнозування екологічної безпеки певної території та процесів, що відбуваються на ній.

Як уже зазначалось вище, цілком очевидно, що екосистеми та середовища, маючи багатокомпонентність та стохастичний характер, не піддаються аналітичному опису, тобто неможливо створити їх континуальну модель. Отже, вихід, на наш погляд, полягає у доцільності використання дискретних геометричних моделей у вигляді певних дискретних чисельних масивів, елементами яких є відповідні компоненти екосистем та середовищ.

Отримання таких моделей можливе на основі дискретно-інтерполяційного підходу й, відповідно, запропонованого автором дискретно-інтерполяційного методу моделювання багатопараметричних об'єктів, систем та середовищ [1, с. 156; 2, с. 204]. Вказаний метод базується на використанні дискретно-інтерполяційних схем із застосуванням інтерполяційних поліномів Лагранжа. Оптимальність вибору інтерполяційних поліномів Лагранжа серед інших пов'язана з необов'язковою рівномірністю у розташуванням вузлів інтерполяції, а також з можливістю представлення по кожному параметру різної кількості вузлів інтерполяції.

Це пов'язано з тим, що при геометричному моделюванні багатопараметричних об'єктів систем та середовищ у багатьох випадках виникає необхідність та задача побудови однопараметричної множини певних об'єктів. Моделлю певної системи чи середовища, що задана аналітично, а у переважній більшості дискретно, може бути, з математичної, а саме геометричної точки зору, деяка поверхня або гіперповерхня.

Нетрадиційність та оригінальність запропонованого автором підходу полягає у тому, що під терміном "вузли інтерполяції" надалі розуміються не точки, як у традиційному математичному розумінні, а більш складніші математичні та фізичні об'єкти: наприклад, лінії, поверхні або ж навіть певні процеси та системи, що представлені у вигляді деяких функціоналів як сукупності їх властивостей і параметрів [4, с. 51].

Схема розташування саме таких вузлів інтерполяції надалі й розуміється як схема інтерполяції. Особливо зазначимо, що подібний підхід щодо моделювання екологічних систем, процесів чи екологічних ситуацій у літературі практично відсутній.

Однопараметричні множини, що отримані таким чином є дискретними математичними моделями певних процесів, систем та середовищ, у тому числі й екологічних. Важливо підкреслити, що елементом таких множин є деяка дискретна функція, що у загальному випадку може бути представлена як дискретний чисельний масив, розмірність якого може варіюватись у певних межах.

Інтерполювання таких функцій, які можуть бути задані неявно або параметрично, зводиться до розміщення у вузлах інтерполяції рівнянь або дискретних масивів і отримання деякого функціонала з вектором параметрів, що включає в себе інтерполяційний параметр, координатні змінні, параметри, що характеризують форму й положення об'єктів, компоненти та параметричні характеристики екологічних процесів, систем та середовищ [2, с. 204].

Надзвичайно важливим є той факт, що саме такий підхід

дозволяє включати в однопараметричну множину системи та процеси, що мають різну структуру і навіть різні властивості. Тому застосування запропонованого дискретно-інтерполяційного методу до моделювання, наприклад, складних екологічних систем, а також середовищ, що характеризуються великою кількістю різноякісних параметрів є, на нашу думку, перспективним.

Зазначимо, що дискретний підхід можна вважати більш загальним, оскільки від неперервно-аналітичної моделі практично завжди можна перейти до дискретної, а в нашому випадку – до дискретно-інтерполяційної. Отже, за нашого підходу інтерполяційний поліном Лагранжа набуває такого вигляду [2, с. 204]:

$$\Phi(u)_n = \sum_{i=0}^{n-1} F_i(p_1, p_2, \dots, p_m) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}, \quad (1)$$

де u – параметр інтерполяції, $F(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – вузлова функція, p_1, p_2, \dots, p_k – параметри вузлової функції, а саме, екологічні різноструктурні та різноякісні параметри (показники забруднення, рівень концентрації певних речовин, врахування природних особливостей середовищ тощо), n – кількість вузлів інтерполяції.

Багатопараметричні системи та середовища, на прикладі екологічних, можуть бути настільки складними структурно й параметрично, що використання апарату одновимірної інтерполяції може виявитися недостатнім. Тому у таких випадках доцільно використати, наприклад, апарат двовимірної інтерполяції. Враховуючи запропонований дискретно-інтерполяційний метод моделювання, власне, ось у чому полягає його сутність:

У випадку двовимірної інтерполяції можна знайти вид степеневого многочлена $\Phi_{m,n}(u,v)$ степеня m по u та n по v , та визначити значення функціонала F у довільній точці з параметрами (u,v) . Геометрично це означає, що при двовимірній інтерполяції через вузлові точки проходить деяка поверхня $z = \Phi_{m,n}(u, v)$.

$$\Phi_{m,n}(u,v) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} F_{i,j}(p_1, p_2, \dots, p_k) \prod_{\substack{p=0 \\ p \neq i}}^{m-1} \prod_{\substack{q=0 \\ q \neq j}}^{n-1} \frac{(u - u_i)(v - v_j)}{(u_p - u_i)(v_q - v_j)}. \quad (2)$$

У таких випадках через вказані вище вузли інтерполяції проходить певна гіперповерхня, що є многочленом n змінних, а формула матиме аналогічний вигляд із врахуванням n -вимірності.

Використаємо поняття дискретно-інтерполяційної екоматриці [3, с. 308]. Нехай $F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m)$ – багатопараметрична

неявно задана функція. Сформуємо її у вигляді деякого функціонала $\Phi(\mathbf{p}_{i,j})$, що заданий матрицею $\mathbf{M}[\mathbf{i}, \mathbf{j}]$. Визначимо, що

$$\mathbf{F}(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \dots, \mathbf{p}_k, \dots, \mathbf{p}_m) = \mathbf{M}[\mathbf{i}, \mathbf{j}]. \quad (3)$$

Тобто $\mathbf{M}[\mathbf{i}, \mathbf{j}]$ і є вузловою дискретно-інтерполяційною екологічною матрицею.

$$M[i, j] = \begin{pmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & \dots & P_{1,n} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & \dots & P_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m,1} & P_{m,2} & \dots & \dots & P_{m,n} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Тоді $\Phi(\mathbf{p}_{i,j})$ отримаємо як

$$\Phi(\mathbf{p}_{i,j}) = \sum_{i=0}^{n-1} M_i(i, j) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}. \quad (5)$$

Вираз $\Phi(\mathbf{p}_{i,j})$ являє собою узагальнену дискретно-інтерполяційну екоматрицю, яка і є дискретною геометричною моделлю певної системи чи екологічного, енергетичного, гідрологічного, геоморфологічного, геологічного, гідравлічного середовищ.

Висновки. Таким чином, запропонований дискретно-інтерполяційний підхід щодо моделювання складних багатопараметричних середовищ дає нам змогу моделювати складні екологічні та інші системи, процеси і середовища, що характеризуються великою кількістю різноманітних та різноякісних параметрів і властивостей, а також, відповідно й спрогнозувати поведінку таких систем та середовищ, розвиток процесів у них.

Література

1. Холковський Ю. Р. Інтерполяція дискретних масивів у загальному випадку як спосіб моделювання багатопараметричних об'єктів та процесів / Ю.Р. Холковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип.4. – Т51. – С. 156-160.
2. Холковський Ю. Р. Моделювання багатопараметричних процесів та систем на основі дискретно-інтерполяційного підходу в екології / Ю.Р. Холковський // Праці VIII Всеукраїнських наукових Талійвських читань. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. – С. 204-208.
3. Холковський Ю. Р. Дискретно-інтерполяційна екоматриця як геометрична модель багатопараметричних процесів та систем в екології / Ю.Р. Холковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету «Прикладна геометрія та

- інженерна графіка». – Мелітополь: ТГАТУ, 2012. – Вип.4, Т55. – С. 308-311.
4. Холковський Ю. Р. Моделювання складних просторових форм із використанням дискретно-інтерполяційного підходу / Ю.Р. Холковський // Труды 14-й международной научно-практической конференции «Современные проблемы геометрического моделирования». – Мелітополь: ТГАТУ, 2012. – С. 51-57.
 5. Холковский Ю. Р. Дискретно-интерполяционный подход при моделировании многопараметрических экологических систем / Ю.Р. Холковский // Сборник материалов 9-ой международной конференции «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». – Минск 2013. – С. 268-272.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНО-ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СРЕД

Холковский Ю.Р.

В работе приведен нетрадиционный дискретно-интерполяционный подход, связанный с рассмотрением узлов интерполяции, как более сложных объектов, чем точка. На основе данного подхода разработан дискретно-интерполяционный метод построения соответствующих геометрических моделей сложных объектов и сред для анализа и прогнозирования их состояния.

Ключевые слова: дискретные функции, однопараметрическое множество, интерполяция, узел интерполяции, дискретно-интерполяционная матрица.

THE USE OF A DISCRETE INTERPOLATION METHOD IN MODELING MULTIPARAMETRIC ENVIRONMENT

Kholkovsky Yu.

The paper presents an unconventional discrete interpolation approach related to the consideration of interpolation nodes as more complex objects than a point. Based on this approach, a discrete interpolation method for constructing the corresponding geometric models of complex objects and environments for analyzing and predicting their state.

Keywords: discrete functions, one-parameter set, interpolation, interpolation unit, discrete-interpolation matrix.

УДК 514.18:692

ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ФОРМОУТВОРЕННЯ ФОНТАНІВ

Церковна О.Г.*

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)

В роботі досліджуються фонтани як самостійні системи в міському середовищі. Визначено вплив зовнішніх факторів та рельєфних умов місцевості на формоутворення оболонки фонтанів як матеріально – технічних об'єктів.

Ключові слова: фонтани як самостійні системи, зовнішні фактори, рельєфні умови місцевості, формоутворення фонтанів.

Постановка проблеми. Розвиток фонтанів як самостійних систем залежав від впливу факторів: релігійних поглядів, світогляду та державного устрою того чи іншого періоду, національних особливостей, навколишнього середовища, природи, розвитку технічних можливостей людства. З появою нових технологій мінялися конструктивні особливості фонтанів, а разом з цим і зовнішня форма (оболонка). Відбуваються істотні зміни в будівництві фонтанів. Відмова від традиційних форм та відношення до фонтанів як малих архітектурних форм (МАФ) викликає появу нових напрямків в формоутворенні фонтанів як матеріально-технічних об'єктів. Тому актуальність теми визначається відсутністю загальних досліджень, які розкривають формоутворення - як матеріальний аспект організації фонтанів в оточуючому середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дана стаття є продовженням досліджень автора [1-3] по вивченню фонтанів як самостійних систем в міському середовищі. Базисом також є існуючі дослідження з формоутворення в архітектурі [4] та гідравлічних розрахунків з визначення напору на фонтанних насадках, кута їх нахилу до горизонту, дальності та висоти фонтанних струменів [5,6].

Формулювання цілей статті. В результаті системного дослідження інтернет-ресурсів, вітчизняного та світового досвіду проектування та будівництва фонтанів як містобудівних архітектурних об'єктів виконати аналіз зовнішніх факторів, що впливають на формоутворення фонтанів (оболонку).

Основна частина. Попередньо дослідження показало, *фонтани* - це складна система, в якій поєднується природа (природне середовище, людина, рослини та інші) та неживі механічні

* Науковий керівник – канд. арх. наук, доцент Болотов Г.І.

компоненти (будівельні матеріали, конструкції, системи очищення, системи водопостачання та водовідведення, системи освітлення та інші). Фонтан як система завжди виступає як витвір мистецтва та «машина для покращення мікроклімату», оснащена всіма сучасними досягненнями техніки, одночасно виконуючи утилітарні та естетичні функції.

Форма – це цілісний кінцевий стан системи, зафіксований в організації просторово-часової структури її компонентів, утворених з функціональних та матеріальних підсистем. Фонтани слід розглядати як складну систему взаємодії природи, соціуму, психофізіологічних особливостей сприйняття людиною матеріально-технічного об'єкта та закладеної знакової інформації. Соціальні, функціональні та художні боки формоутворення фонтанів як самостійних систем вимагають розгорнутого комплексного дослідження.

Слідуючи роботі [4], форма фонтанів як матеріально-технічних об'єктів відноситься до формальної структури - способу розташування та поєднання елементів і частин композиції, що становлять єдине ціле. У контексті дослідження поняття форми (оболонки) буде розглянуто як: вплив зовнішніх факторів до співвідношення внутрішньої структури та обриси: в горизонтальній площині - підстава басейну; у вертикальній площині – параметри, що задають найвищу геометричну висоту та зовнішні силуети (контури).

Для наведення дослідження та прикладів формоутворення фонтанів в міському середовищі, були виділені наступні фонтани: 1. фонтан короля Фахда, узбережжя Червоного моря, м. Джидда Саудівська Аравія (рис.1, а); 2. фонтан «Roshen», що розташовано у руслі р. Південний Буг поблизу острова Фестивальний, м Вінниця, Україна (рис.1, б); 3. фонтан «Веселка» та Південнокорейський міст Банпо – складають гармонійний архітектурний ансамбль, р. Ханган (рис.1, в); 4. фонтан на озері Симфонія м. Куала-Лумпур, Малайзія (рис.1, г).

Аналіз дослідницького матеріалу, показав що формування структури фонтанів залежить від таких зовнішніх факторів, як наявність водоймищ - природних (рис.1 а,б,в) та штучних (рис.1, г) та схеми водопостачання фонтанів.

Водопостачання фонтанів на рис.1 здійснюється за схемою з рециркуляцією води (рис.2 а). В наведених прикладах водоймища ототожнюються з басейном фонтанів (рис.2, а-1) та використовуються як резервуар. Забір води (рис.2, а-2) відбувається насосною системою (рис.2, а-5), вода через очисні системи (рис.2, а-3) проходить по системі напірних водоводів (рис.2, а-4) до системи форсунок (рис.2, а-6).

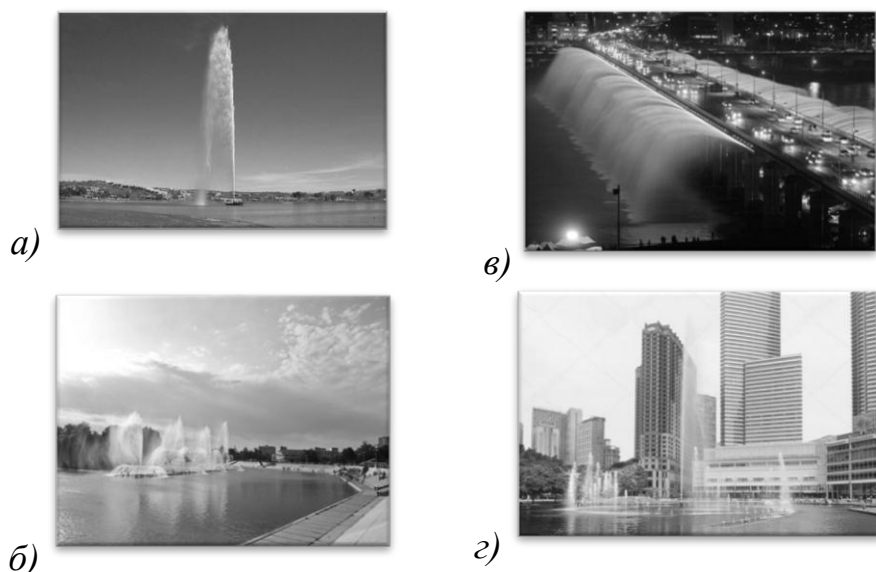


Рис.1. Фонтани як матеріально-технічних об'єкти в міському середовищі

Розрахунок басейну (чаші) визначається за формулою:

$$l = 1.5 * H_v, \quad (1)$$

де l - відстань від краю басейну до найвищого вертикального водяного струменя; H_v - висота вертикального струменя.

Для вертикальних струменів (рис. 2, б) висоту визначають з формули Люгера:

$$H_v = \frac{H}{1 + \varphi * H}, \quad (2)$$

де H - теоретична висота вертикального струменя, а φ - коефіцієнт, який враховує втрату висоти струменя h внаслідок тертя між ним та повітрям:

$$\varphi = \frac{0,25}{d_n + (0,1 * d_n)^3}, \quad (3)$$

d_n - діаметр насадки, мм.

Траєкторія похилого струменя з напором до 7 м близька до параболи (рис. 2, в).

Найбільша висота (Z) струменя, буде дорівнювати:

$$Z = \frac{H}{1 + \varphi * H} * C, \quad (4)$$

де C - вертикальний параметр траєкторії, який залежить тільки від кута α нахилу насадки:

$$C = \sin 2\alpha. \quad (5)$$

За заданої висоти струменя теоретичний напір:

$$H = \frac{Z}{C - \varphi * Z}. \quad (6)$$

Схема вертикального водяного струменя та домінуюча

геометрична точка (O) у вертикальній площині (Y) задає найвищу геометричну висоту та зовнішній силует басейну у горизонтальній площині (X) (рис.2, б).

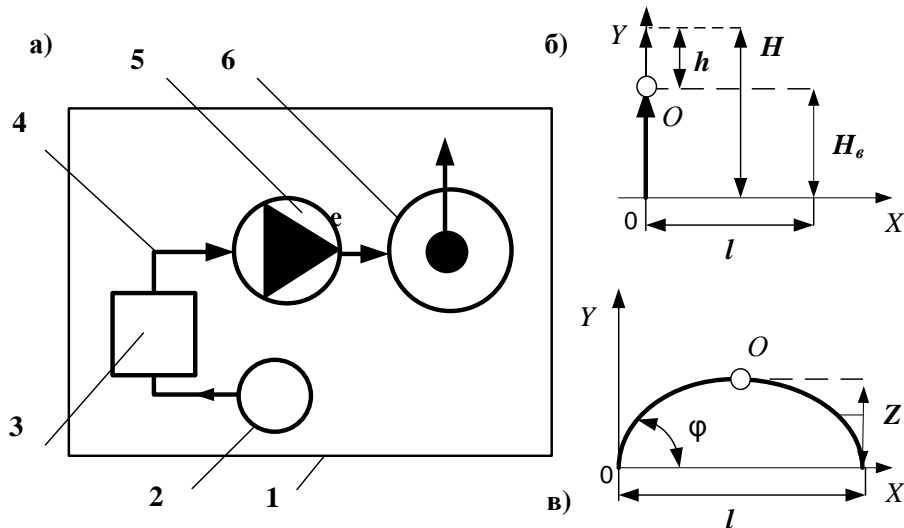


Рис.2. Схема водопостачання фонтану з рециркуляцією води

Схема похилого водяного струменя та домінуюча геометрична точка (O) у вертикальній площині (Y) задає найвищу геометричну висоту та зовнішній силует басейну у горизонтальній площині (X) (рис.2, в).

Формування просторово - композиційної структури фонтанів як системи залежить і від рельєфних умов місцевості. Яскравим прикладом є Вілла д'Есте (рис.2 а, б). Вода подається самопливом від річки, частково поповнюється від міської водопровідної мережі до резервуару розташованому під внутрішнім двором палацу. Палац влаштовано в верхній точці схилу (рис.2, б - 1). На схилі розташовано характерний для італійського ренесансу садово-парковий комплекс, з дотриманням строгої симетрії та геометричних пропорцій. Спільна ось стикає по центру саду, результуюче осьове вирівнювання дає зоряну лінійну перспективу. Сад організовано як послідовність геологічних поділів – терас симетрично розташованих від загальної осі. Головна вісь спрямована від нижнього партеру (рис.2, б - 9) до палацу (рис.2, б - 1). На цій осі найважливішим композиційним вузлом є фонтан «Нептун» (рис.2, б – 3; в), розташований на майданчику нижче підніжжя палацу та три групи кипарисів - на партері, біля водойм поперечної осі та Фонтана драконів, що утворюють потужні вертикальні акценти. Верхня Алея ста фонтанів (рис.2, б - 4; г), облямована вузькою кам'яною водоймою з незліченними скульптурними одноступеневими фонтанами. Алея замикається з одного боку фонтаном «Сивіла» (рис.2, б - 5), з іншого - майданчиком «Тріумфуючий Рим» (рис.2, б - 6). Нижня поперечна вісь проходить біля підніжжя схилу і являє собою ланцюг прямокутних водойм (рис.2, б - 7). У північній частині вона завершується Водяним

органом (рис.2, б - 8), звідки в басейн з висоти 15 м падає водоспад (рис.2, в). Кожен вузол вирішено самотійно, в той же час гармонійно вписано в загальну композицію.

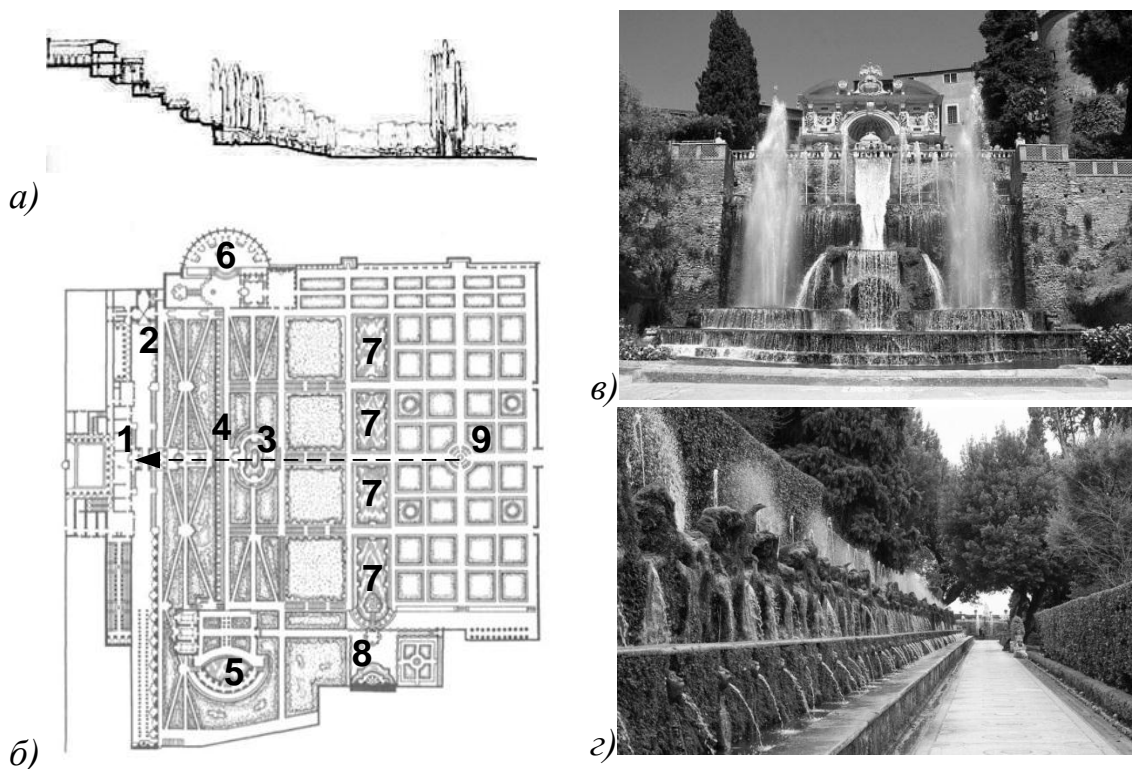


Рис.3. Вілла д'Есте в Тіволі: а - розріз; б – план: 1 - палац, 2 - верхня тераса, 3 - Фонтан «Нептун», 4 - Алея ста фонтанів, 5 - фонтан «Сивіла», 6 – майдан «Тріумфуючий Рим», 7 - водойми, 8 - Водяний орган, 9 - партер; в - водоспад; г - Алея ста фонтанів

Водопостачання фонтанів Вілли д'Есте здійснюється за схемою, що визначено на рис.4 а.

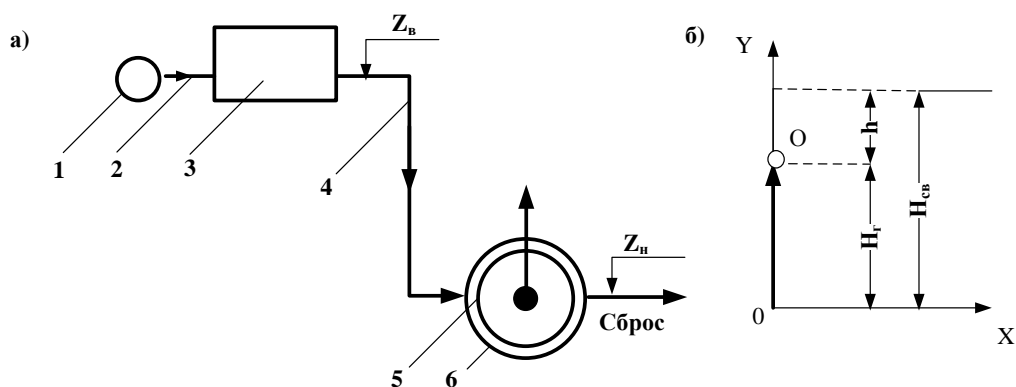


Рис.4. Спрощена схема водопостачання фонтанів Вілли д'Есте:

а) 1- підключення до джерела; 2,4 - система самопливних водоводів; 3 - резервуар чистої води; 5 - форсунка або система форсунок; 6 - басейн фонтану; б) схема вертикального водяного струменю

Необхідний тиск ($H_{св}$) в системі водопостачання фонтанів Вілли д'Есте для отримання розрахункової витрати води розраховується по формулі:

$$H_{св} = H_z + h, \quad (7)$$

де H_z - геометрична висота підйому води, визначається як різниця геодезичних відміток низу резервуара (Z_p) розташованої у вертикальній площині (Y) та відмітки системи форсунок (Z_f) - розташованої на горизонтальній осі X (рис.4, а); h - втрати напору на визначення опору системи водопостачання.

Схема вертикального водяного струменя та домінуюча геометрична точка (О) у вертикальній площині (Y) задає найвищу геометричну висоту та зовнішній силует чаші фонтанів у горизонтальній площині (X) (рис.4 б).

Результати дослідження визначили:

- зовнішні фактори що впливають на формоутворення фонтанів: природні та штучні водоймища. Виявлено ототожнення басейна фонтанів з природним та штучним водоймищем;
- вплив рельєфних умов місцевості на формоутворення фонтанів як матеріально-технічних об'єктів;
- співвідношення (3:2) відстані від краю басейну фонтана до висоти найвищого водяного струменя, що задає домінуюча геометрична т. О;
- зв'язок домінуючої геометричної т.О у вертикальній площині (Y) з зовнішнім силуетом басейна (чаші) фонтанів у горизонтальній площині (X).

Висновки. На формоутворення фонтанів впливає ряд зовнішніх факторів та рельєфні умови місцевості. Виявлено зв'язок зовнішніх чинників з внутрішньою структурою та обрисами в горизонтальній і вертикальній площині.

Література

1. Церковна О.Г. Фонтан как единая функционально – эстетическая система / О.Г. Церковна // Тези доповідей у Міжнародної науково – практичної конференції «Сучасне місто – проблеми та їх вирішення» - О.: ОДАБА, 2017. – С. 101-102.
2. Церковна О.Г. Фонтан як самостійна система в архітектурному середовищі аеропортів/ О.Г. Церковна, Н.В Ткач, А.А. Вороніна// Проблеми розвитку міського середовища: наук.-техн. Збірник. – К.: ЦП «Компринт», 2018. - Вип. 1(20). – С. 210-220.
3. Церковна О.Г. Основные функции фонтанов как единой самостоятельной системы / О.Г. Церковна // Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт): матеріали

- Міжнародної науково-практичної конференції (11 квітня 2018 року) – Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, 2018. – С. 75-78.
4. Чинь, Франсис Д.К. Архитектура: форма, пространство, композиция/ Франсис Д.К. Чинь; пер. с англ. Е.Нетесовой. – М.: АСТ: Астрель, 2005. – 399.
 5. Спышнов П.А. Фонтаны. Описание, конструкции, расчет / П.А. Слышнов. – М.: изд. и 2-я тип. Гос. изд. архитектуры и градостроительства – Образцовая тип. им. Жданова, 1950. – 172 с.
 6. Мандрус В. І. Проектування фонтанних струменів / В. І. Мандрус, В.І. Орел // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 664. – С. 88–92.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ФОНТАНОВ

Церковная О.Г.

В работе исследуются фонтаны как самостоятельные системы в городской среде. Определено влияние внешних факторов и рельефных условий местности на формообразования оболочки фонтанов как материально - технических объектов.

Ключевые слова: фонтаны как самостоятельные системы, внешние факторы, рельефные условия местности, формообразования фонтанов.

INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON FORM FORMATION OF FOUNTAINS

Tserkovna O.

In this paper, fountains are studied as independent systems in an urban environment. The influence of external factors and relief terrain conditions on the shaping of the fountain shell as material and technical objects is determined.

Key words: fountains as independent systems, external factors, relief terrain conditions, fountains shaping.

УДК 514.18; 621.869

АДАПТАЦИЯ ШАБЛОНОВ AUTODESK INVENTOR ДЛЯ ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Черников А.В., д.т.н.,

Рагулин В.Н.,

Смирнов О.В.,

Черепанова Н.В.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
(Украина)*

В работе рассматриваются вопросы адаптации шаблонов Autodesk Inventor на основе применения среды программирования iLogic. Предлагаемые изменения позволяют упростить, в частности, оформление чертежей различных типов зубчатых колес в соответствии со стандартами ГОСТ 2.403-2.408 для использования в учебном процессе и на производстве.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, шаблон, зависимости, геометрические параметры, эскизные обозначения, Inventor.

Постановка проблемы. Внедрение автоматизированных систем моделирования деталей, узлов и агрегатов, а также создание на их основе ассоциативных чертежей существенно ускоряют реализацию проектного задания. Важной составляющей является создание чертежей на основе 3D-моделей деталей, созданных с помощью мастеров проектирования, в частности, «Цилиндрическое/ коническое зубчатое зацепление» и «Червячная передача».

Основные затраты времени конструктора приходятся на оформление чертежей – этот этап автоматизирован менее всего. Поэтому важной задачей становится доработка методов оформления чертежей так, чтобы пользователь, не являющийся программистом, мог эффективнее использовать все возможности пакета.

Анализ последних исследований и публикаций. Использование мастеров проектирования сопровождается ряд затруднений при создании чертежей в соответствии с ЕСКД [1]. Вопросы, связанные с проблемами при создании чертежей различных деталей и узлов описаны в работах [2-5].

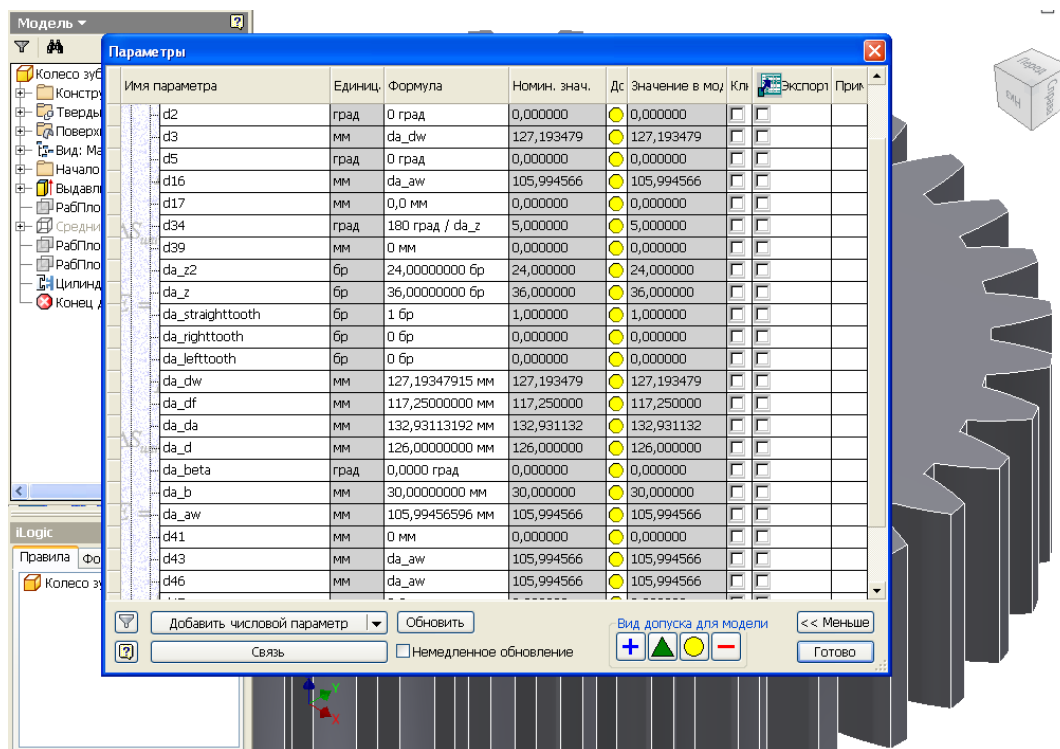
Формулирование целей статьи. Разработать и внедрить в практику проектирования шаблоны для пакета Autodesk Inventor,

сокращающие временные затраты при выполнении чертежей различных типов зубчатых колес.

Основная часть. Решить задачу сокращения времени на заполнение табличных данных чертежей зубчатых колес, червяков, зубчатых реек и т.д. позволяют эскизные обозначения, которые можно создать и сохранить в шаблоне чертежного документа.

В результате использования мастера проектирования зубчатых зацеплений и червячных передач в детали создается ряд параметров со специальными именами. Рассмотрим их использование на примере цилиндрического зубчатого колеса (рис. 1, а).

Автоматическое назначение программой имен параметров в соответствии с вариантом использования мастера проектирования (в частности, создание компонента или элемента) не дают возможность напрямую использовать их в таблице на чертеже. Следует создать пользовательские параметры, оформленные специальным образом, для передачи данных в чертеж для заполнения таблицы (рис. 1, б).



а)

Пользовательские							
mod	мм	da_{dw} / da_z	2,500000	●	2,500000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
nzb	бр	da_z	48,000000	●	48,000000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ddm	мм	da_{dw}	120,000000	●	120,000000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
							модуль
							кол.зубьев
							делительный диаметр

б)

Рис. 1. Окно параметров модели зубчатого колеса

Задаем имена пользовательских параметров, единицы измерения и формулы, по которым они будут рассчитываться через

переменные, созданные мастером проектирования. Настраиваем отображение значений переменных и отмечаем их для экспорта.

Для создания нового эскизного обозначения, в котором будет содержаться таблица параметров по ГОСТ 2.403, в существующем шаблоне чертежа (рис. 2), используя стандартные средства построения, вычерчиваем таблицу по заданным размерам. В соответствующих полях первой строки задаем название, обозначение и величину параметра. Для ввода величины параметра в поле редактирования текста выбираем из выпадающего списка «Тип» → «Прочие свойства» → «Модель» → Имя параметра (например, «mod») и нажимаем кнопку – «Добавить текстовый параметр».

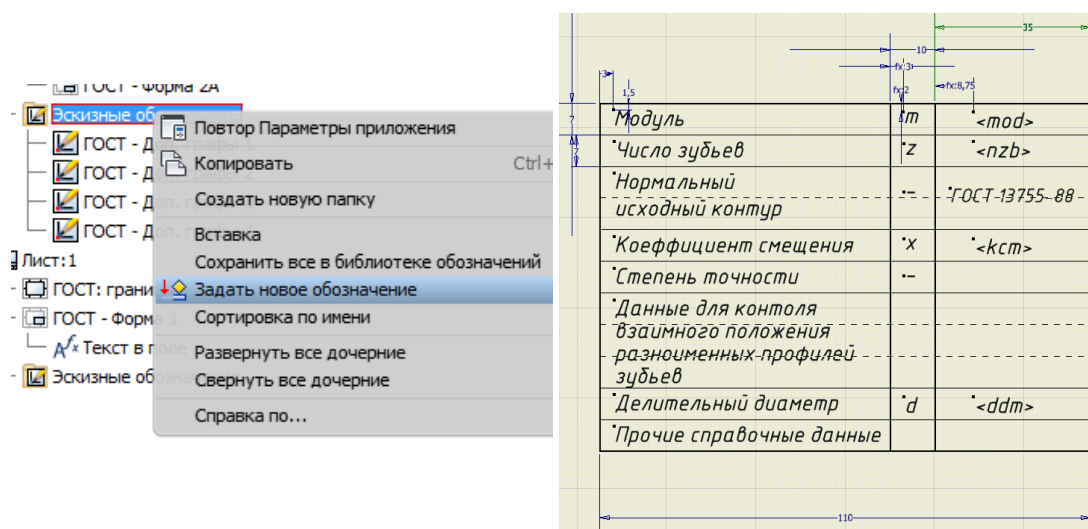


Рис. 2. Создание нового обозначения

После внесения всех необходимых данных, выравнивания текста в ячейках, копируем их в последующие строки, привязываясь к одному из углов ячейки для сохранения зависимостей. Завершаем создание эскиза и задаем название нового эскизного обозначения. Аналогично поступаем с другими таблицами соответствующих ГОСТов. Так как эскизных обозначений 23, то группируем их по категориям при помощи папок с соответствующими названиями (рис. 3, а). Сохраняем файл в папке шаблонов Inventor под именем ХНАДУ_2016.idw.

В дальнейшем при работе с чертежом выбираем созданный шаблон и, после выбора формата листа, в браузере выбираем соответствующую таблицу двойным щелчком мыши и помещаем ее в чертеж, привязываясь к правому верхнему углу поля чертежа. Располагаем далее нужную проекцию изображения зубчатого колеса и получаем заполненную таблицу данных (рис. 3, б).

Выводы. Данный способ позволяет уменьшить временные затраты на оформление таблицы параметров зубчатых колес в соответствии с ГОСТ 2.403-2.408 в программе Autodesk Inventor.

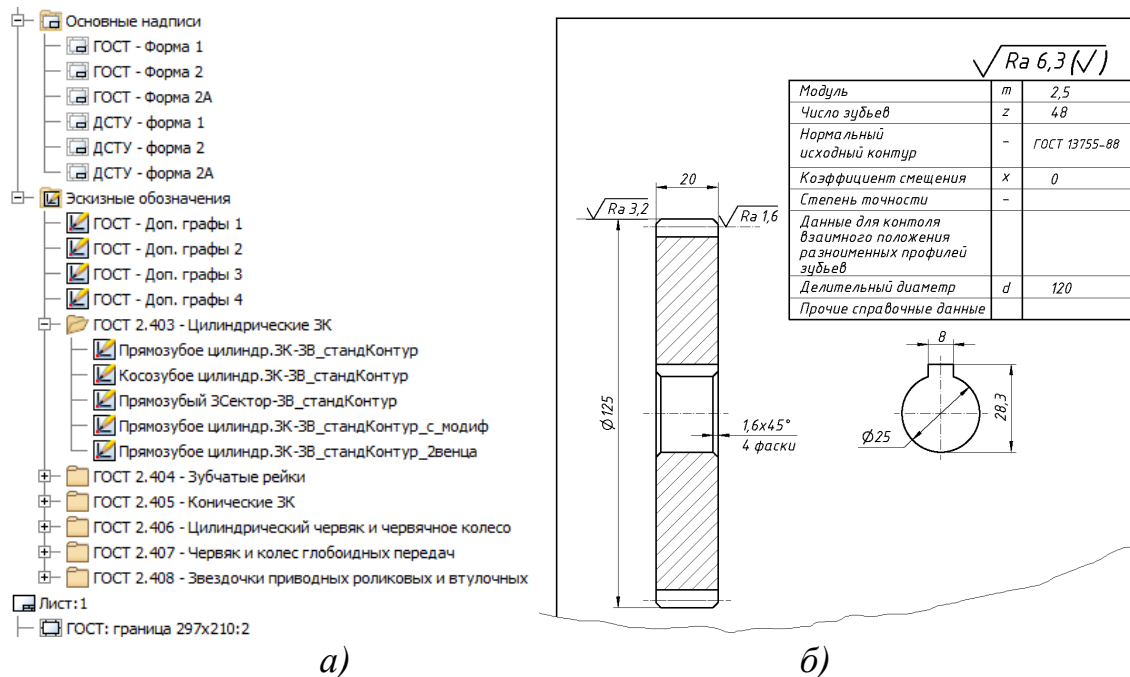


Рис. 3. Результаты работы по адаптации шаблона

Использование iLogic позволяет еще более сократить временные затраты инженера-конструктора по оформлению чертежей в соответствии со стандартами, чтобы он мог уделять основное внимание собственно разработке оптимальной конструкции.

Овладение возможностями создания собственных шаблонов и другими способами адаптации пакета Autodesk Inventor, изученных в рамках дисциплины «Технологии компьютерного проектирования», позволит студентам в дальнейшем стать квалифицированными специалистами в конструировании современных узлов и агрегатов, а также машин и механизмов в целом.

Литература

- Єдина система конструкторської документації. Основні положення: довідник: (Серія «Нормативна база підприємства») / За заг. ред. В.Л. Іванова. – Львів: НТЦ «Леонорм-стандарт», 2001. – 272 с.
- Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ / О.В. Черніков // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. научных трудов. – Вып. 73. – Харьков: ХНАДУ, 2016. – С. 239-244.
- Іванов Є.М. Параметричний підхід до побудови 3D-моделі та кресленика зубчастого колеса в пакеті Autodesk Inventor / Є.М. Іванов, О.О. Порхун, А.С. Тіщенко // Автомобільний транспорт: сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2017. – Вып. 40. – С. 139-146.

4. Грицина Н.И. Проектирование деталей машин с использованием генераторов компонентов и расчетных модулей Autodesk Inventor / Н.И. Грицина // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. научных трудов. – Вып. 69. – Харьков: ХНАДУ, 2015. – С. 13-18.
5. Кириченко И.Г. Анализ программных средств компьютерного проектирования строительных и дорожных машин / И.Г. Кириченко, А.В. Черников // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. научных трудов. – Вып. 65–66. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – С. 68-74.

АДАПТАЦІЯ ШАБЛОНІВ AUTODESK INVENTOR ДЛЯ ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНИКІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ТА НА ВИРОБНИЦТВІ

Черніков О.В., Рагулін В.М., Смірнов О.В., Черепанова Н.В.

У роботі розглядаються питання адаптації шаблонів Autodesk Inventor на основі застосування середовища програмування iLogic. Пропоновані зміни дозволяють спростити, зокрема, оформлення креслеників різних типів зубчастих коліс відповідно до стандартів ГОСТ 2.403-2.408 для використання в навчальному процесі та на виробництві.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, шаблон, залежності, геометричні параметри, ескізні позначення, Inventor.

ADAPTATION OF AUTODESK INVENTOR TEMPLATES FOR DRAWINGS OF GEAR WHEELS IN THE EDUCATIONAL PROCESS AND MANUFACTURING

Chernikov A., Ragulin V., Smirnov O., Cherepanova N.

The paper discusses the adaptation of Autodesk Inventor templates using the iLogic programming environment. The proposed changes make it possible to simplify, in particular, the drawing up of different types of gears in accordance with GOST 2.403-2.408 standards for the educational process and production.

Keywords: computer modeling, templates, dependencies, geometric parameters, sketch notation, Inventor.

УДК 514.18

ВИЗНАЧЕННЯ ДИВЕРГЕНЦІЇ В ТОЧКАХ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНОГО НЕВПОРЯДКОВАНОГО ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ

Черняк В.І., к.т.н.

Кременецький лісотехнічний коледж (Україна)

В роботі розглядається спосіб визначення дивергенції в точках дискретного векторного поля, заданого на невідсортованій множині точок в просторах довільної вимірності.

Ключові слова: дивергенція, дискретне векторне поле, триангуляція.

Постановка проблеми. Дивергенція ($\text{div } \mathbf{a}$) — скалярне поле, яке характеризує густину джерел даного векторного поля \mathbf{a} . Дивергенція показує продукується ($\text{div } \mathbf{a} > 0$) чи поглинається ($\text{div } \mathbf{a} < 0$) векторне поле в даній точці та визначає інтенсивність (густину) цих процесів (1).

Дивергенцією векторного поля \mathbf{a} в тривимірному просторі називається скалярна величина [2]:

$$\text{div } \mathbf{a} = \frac{da_x}{dx} + \frac{da_y}{dy} + \frac{da_z}{dz} . \quad (1)$$

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якщо векторне поле задане на прямокутній сітці, то засоби MATLAB в двовимірному просторі для заданої точки визначають дивергенцію векторного поля за формулою:

$$\text{div } \mathbf{a}_5 = \frac{a_{6x} - a_{4x}}{x_2 - x_1} + \frac{a_{8y} - a_{2y}}{y_2 - y_1} , \quad (2)$$

де $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2 \dots \mathbf{a}_9$ — значення векторного поля \mathbf{a} у відповідних вузлах сітки (рис. 1).

Тестування показало адекватність цього методу тільки при заданні векторного поля на рівномірній регулярній сітці.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розробка способу визначення дивергенції дискретного векторного поля, заданого на невідсортованій множині точок, в просторі довільної вимірності.



Рис. 1. Фрагмент векторного поля в двовимірному просторі, заданого на прямокутній рівномірній сітці

Основна частина. В даній праці розроблено два способи визначення дивергенції векторного поля в заданій точці.

1 спосіб. Градієнт скалярного поля в даній у класичній теорії точці визначається за формулою [2]:

$$\text{gradu} = \frac{\partial u}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \mathbf{j} . \quad (3)$$

Порівнянні формул (1) і (3) показує, що перша координата градієнта скалярного поля a_x є першою складовою дивергенції векторного поля \mathbf{a} , друга координата градієнта скалярного поля a_y є другою складовою дивергенції векторного поля \mathbf{a} , і т. д. Звідси випливає – визначення дивергенції векторного поля \mathbf{a} зводиться до визначення координат градієнтів скалярних полів, які є відповідними координатами векторного поля.

Градієнт скалярного поля визначаємо за методом, описаним в праці [3].

2 спосіб ґрунтується на тому, що координати заданого векторного поля інтерполюються поверхнею другого порядку, після чого визначається дивергенція в шуканій точці за формулою (2).

Алгоритм визначення дивергенції в точці $\mathbf{a5}$ (рис. 1) дискретного неупорядкованого векторного поля в двовимірному просторі буде складатися з таких дій.

1. Апроксимуємо кожен координату векторного поля поверхнею другого порядку.

2. Проводимо через задану точку дві прямі лінії паралельно до осей координат.

3. Будуємо на цих осях точки $\mathbf{a2}$, $\mathbf{a4}$, $\mathbf{a6}$ та $\mathbf{a8}$ (рис. 1) рівновіддалені від точки $\mathbf{a5}$.

4. Визначаємо значення координат векторного поля у вказаних вище точках.

5. Визначаємо дивергенцію поля $\text{div } \mathbf{a}$ формулою (1).

Протестуємо і порівнюємо авторські способи визначення дивергенції і спосіб, реалізований в системі комп'ютерної математики MATLAB. Для цього отримані за трьома способами значення будемо порівнювати із значеннями дивергенції, одержаними за аналітичними рівняннями. Для кожного поля вихідні дані будемо задавати в двох варіантах: на прямокутній рівномірній сітці **[-2:0.2:4]** (в таб. 1 похибка – чисельник) і на нерівномірній сітці **[-2:0.2:4]+rand/100** (в таб. 1 похибка – знаменник), де **rand** – генератор випадкових чисел від 0 до 1. Похибку обрахунків будемо визначати як відношення різниці дивергенцій (обчисленої $\text{div } \mathbf{a}_D$ і аналітичної $\text{div } \mathbf{a}_A$) до величини аналітичної дивергенції:

$$\Delta = \frac{|\Delta \text{div } \mathbf{a}|}{\text{div } \mathbf{a}_A} = \frac{|\text{div } \mathbf{a}_A - \text{div } \mathbf{a}_D|}{\text{div } \mathbf{a}_A} 100\% . \quad (4)$$

Загальне значення похибки визначається як середнє арифметичне похибок у всіх точках сітки.

Таблиця 1

Похибки визначення дивергенції

	Рівняння поля та її дивергенції	Похибка (засоби MATLAB)	Похибка (перший спосіб)	Похибка (другий спосіб)
1	$\mathbf{a} = (x, y)$ $\text{div } \mathbf{a} = 2$	0	0	0
		10.57	0	0
2	$\mathbf{a} = (2x+y, x+4y)$ $\text{div } \mathbf{a} = 6$	0	0	0
		5.95	0	0
3	$\mathbf{a} = (x^2, y^2)$ $\text{div } \mathbf{a} = 2x + 2y$	9.55	3.99	0
		14.48	13.73	0
4	$\mathbf{a} = (1-\cos(2x-y), 2y^3)$ $\text{div } \mathbf{a} = 2\sin(2x-y) + 6y^2$	33.49	27.71	12.12
		36.35	29.76	11.41
5	$\mathbf{a} = (\sin(x), \sin(y))$ $\text{div } \mathbf{a} = \cos(x) + \cos(y)$	2.1199	4.3840	1.815
		2.4300	2.1497	2.268
6	$\mathbf{a} = (1-\cos(2x-y), 2y^3, z)$ $\text{div } \mathbf{a} = 2\sin(2x-y) + 6y^2 + 1$	9.5181	11.2334	2.0422
		44.9747	16.2458	1.3698
7	$\mathbf{a} = (x, y, z)$ $\text{div } \mathbf{a} = 3$	0	0	0.8745
		24.8544	0	0
8	$\mathbf{a} = (x^2, y^2, (x+z)^3)$ $\text{div } \mathbf{a} = 2x + 2y + 3(x+z)^2$	1.2429	1.0126	0.5055
		25.4921	3.3360	0.0455
9	$\mathbf{a} = (x^2, y^2, z^2)$ $\text{div } \mathbf{a} = 2x + 2y + 2z$	0.8343	0.6723	2.6589
		26.6247	1.6366	0
10	$\mathbf{a} = (x, y, z, q)$ $\text{div } \mathbf{a} = 4$	0	0	3.2347
		14.5467	0	0
11	$\mathbf{a} = (x^2, 2y^3, (z-q)^2, q)$ $\text{div } \mathbf{a} = 2x + 6y^2 + 2(z-q) + 1$	10.6523	1.5071	0.3911
		22.6589	3.5435	0.2606

Висновки. Запропоновано способи визначення дивергенції дискретно представленого неупорядкованого векторного поля в просторах довільної вимірності. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку алгоритмів визначення параметрів та характеристик дискретних неупорядкованих векторних полів.

Література

1. Дивергенція (математика) [Електроний ресурс]. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Дивергенція_\(математика\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Дивергенція_(математика)).
2. Гольдфайн И.А. Векторный анализ и теория поля / И.А.Гольдфайн – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 132 с.
3. Черняк В.І. Визначення градієнта скалярного поля, заданого на плоскій неупорядкованій множині точок / В.І.Черняк // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В.Найдиш. – Мелітополь, 2016. – Вип. 6. – С. 135-139.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИВЕРГЕНЦИИ В ТОЧКАХ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕННОГО НЕУПОРЯДОЧЕННОГО ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ

Черняк В.И.

В работе рассматривается способ определения дивергенции дискретного векторного поля, заданного на неупорядоченном множестве точек в пространствах произвольной размерности.

Ключевые слова: дивергенция, дискретное векторное поле, триангуляция.

DEFINITION OF DIVERGENCE PRESENTED IN POINTS OF DISCRETELY DISORDERED VECTOR FIELDS

Chernyak V.

In this paper considers a method definition divergence of discrete vector field, defined on the set of unordered points in spaces of arbitrary dimension.

Keywords: divergence, discrete vector field, triangulation.

УДК 621.9.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРЕРЫВИСТЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Якимов А.А., д.т.н.,
Бовнегра Л.В., к.т.н.,
Безнос С.В.,
Дмитриева С.Ю.,
Добровольский В.В.

Одесский национальный политехнический университет (Украина)

В работе рассматривается влияние геометрических параметров прерывистых шлифовальных кругов с прямыми пазами на их относительный износ, температуру в зоне резания и параметрическую устойчивость упругой системы, а также, с целью обеспечения геометрических показателей качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей, обоснована возможность применения прерывистых шлифовальных кругов с наклонными пазами и предложена методика расчета размеров геометрических элементов.

Ключевые слова: область параметрического резонанса, динамическая жесткость резания, прерывистый круг.

Постановка проблемы. В процессе шлифования в зоне контакта абразивного инструмента с обрабатываемой деталью возникают температуры, достигающие 800°-1600°С, из-за чего в поверхностном слое металла происходят микроструктурные и фазовые превращения, возникают остаточные растягивающие напряжения [1, 2]. Все это приводит к значительному изменению механических, физико-химических и эксплуатационных свойств поверхностного слоя детали. Уменьшение теплонапряженности можно обеспечить применением кругов с прерывистой рабочей поверхностью. Прерывистое шлифование, по сравнению со сплошным, обладает рядом преимуществ: облегчение схода стружки, увеличение стойкости круга, сокращение количества правок, возможность сознательного регулирования теплонапряженности процесса обработки [1-3]. Однако периодическое прерывание процесса резания приводит к возникновению в упругой системе станка колебаний, которые при определенных условиях могут привести к резонансу, что неблагоприятно сказывается на

геометрических показателях качества поверхностного слоя обрабатываемой детали.

В работах, посвященных расчетам геометрических параметров прерывистых кругов, прослеживается преобладающее стремление обеспечить качество поверхностного слоя либо с позиции теплового фактора [1-4], либо с позиции динамического фактора [5, 6].

Анализ последних исследований и публикаций. Последние публикации, посвященные прерывистому шлифованию [7, 8], не учитывают снижение качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей, вызванное возникновением в упругой системе станка параметрического резонанса.

Формулировка цели статьи. Целью работы является разработка методики расчета прерывистых кругов, позволяющей учитывать как тепловой, так и динамический факторы, оказывающие негативное влияние на качество поверхностного слоя шлифуемых деталей.

Основная часть. В работе [9] проанализирована возможность возникновения в упругой системе плоскошлифовального станка 3Г71 параметрического резонанса по причине периодического изменения ее жесткости в условиях обработки абразивными кругами с прерывистыми рабочими поверхностями. В работе [9] зоны параметрической неустойчивости рассчитаны и изображены в плоской системе координат $\tau_l = f(Ko)$ (рис. 1), где τ_l – время работы режущего выступа, n – количество впадин на шлифовальном круге, Ko – динамическая жесткость резания:

$$Ko = Co \times \left(\frac{tl}{t\phi} - 1 \right),$$

где Co – статистическая жесткость упругой системы станка, кг/м;

tl , $t\phi$ – глубина резания, установленная по лимбу станка, и фактическая глубина резания соответственно.

Зоны параметрического резонанса (рис. 1) можно представить в более удобном для практического применения виде (рис. 2), где $Knp = l_2/l_1$ – коэффициент прерывистости, численно равный величине отношения протяженности впадины к длине режущего выступа.

Из рис. 2 видно, что с увеличением количества прорезей на шлифовальном круге прослеживается тенденция смещения областей параметрического резонанса в сторону больших значений динамической жесткости резания Ko и расширение границ этих областей по координате Knp .

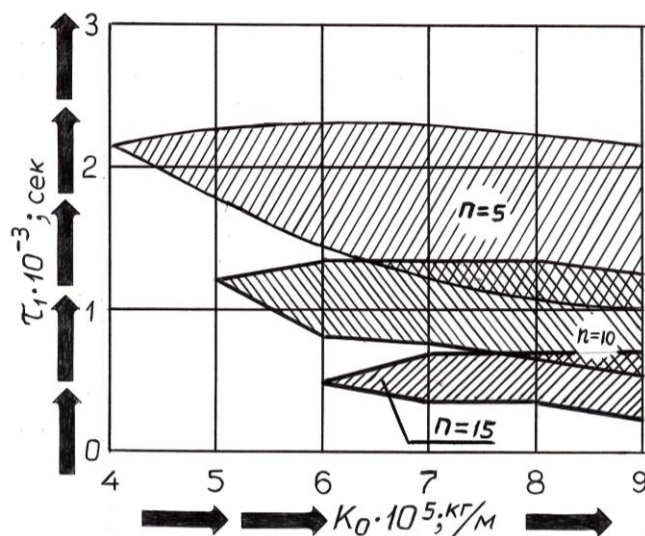


Рис. 1. Области неустойчивости (параметрического резонанса) упругой системы плоскошлифовального станка 3Г71 в плоской системе координат $(K_0; \tau_1)$ [9]

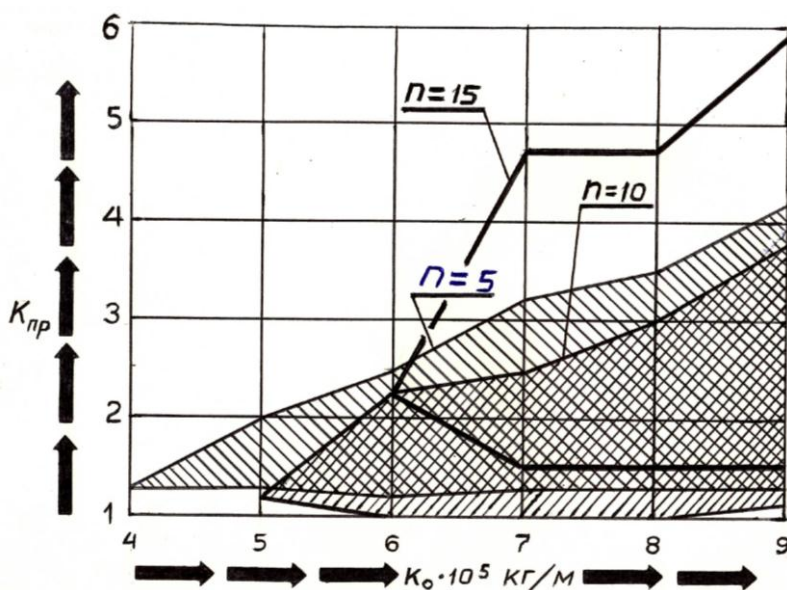


Рис. 2. Зоны параметрической неустойчивости упругой системы плоскошлифовального станка 3Г71 в плоской системе координат $(K_0; K_{np})$

В результате наших исследований [10, 11, 12] появилась возможность расчетным путем выявлять и изображать зоны параметрической неустойчивости в системе координат $K_{np}=f(n)$ (рис. 3, а). Для возможности сопоставления данных, приведенных на рис. 2, 3(а), области параметрического резонанса, изображенные в системе координат $K_{np}=f(n)$, представим в координатах $K_{np}=f(K_0)$ (рис. 4).

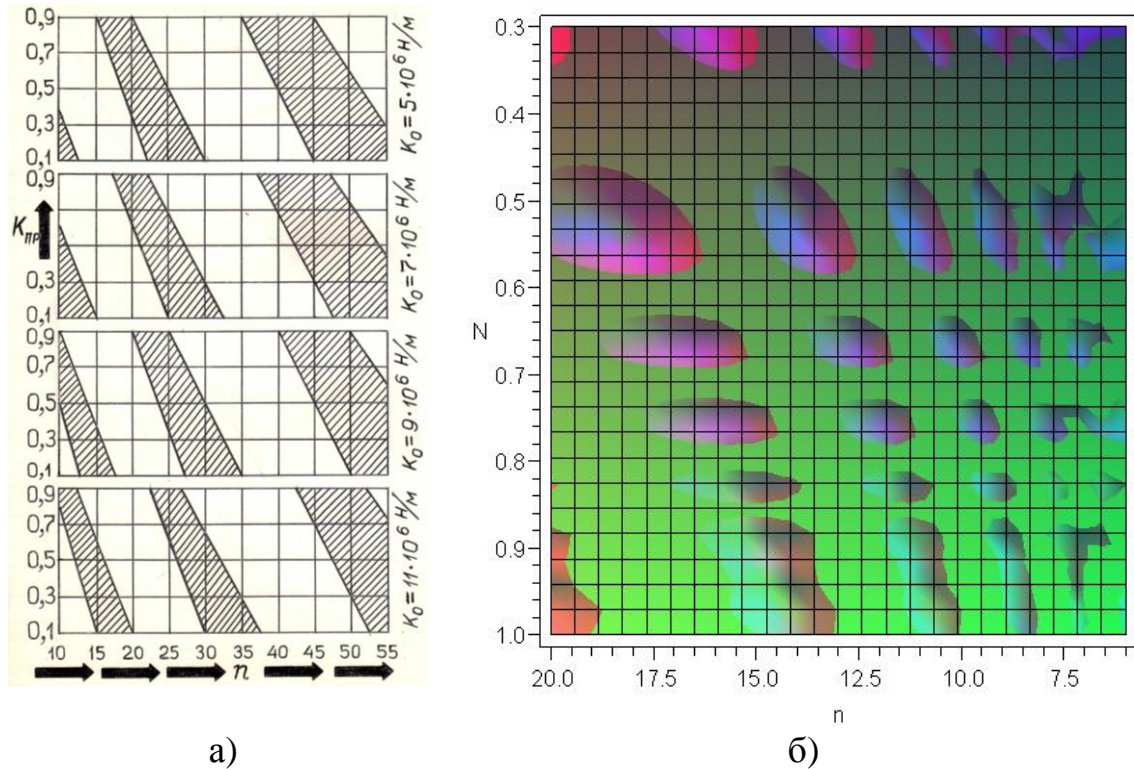


Рис. 3. Зоны параметрической неустойчивости упругих систем зубошлифовального станка MAAG SD 65 с нулевой настройкой кругов (а) и плоскошлифовального станка 3Г71М для $K_0 = 9 \cdot 10^5$ кг/м; $0,3 \leq K_{np} \leq 1,0$; $5 \leq n \leq 20$ (б)

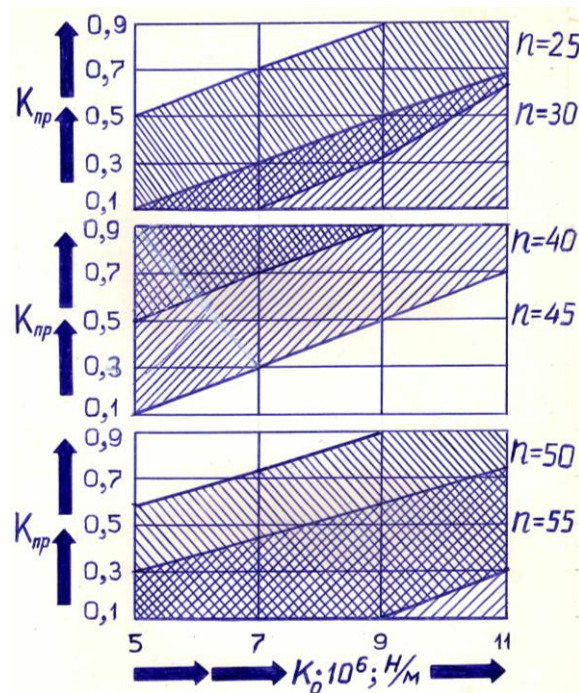


Рис. 4. Зоны параметрической неустойчивости упругих систем зубошлифовального станка MAAG SD 65 с нулевой настройкой кругов в плоской системе координат (K_0 ; K_{np})

На рис. 2 и рис. 4 прослеживается общая закономерность: при увеличении числа впадин на рабочей поверхности шлифовального круга наблюдается смещение областей параметрического резонанса в направлении бóльших значений динамической жесткости резания K_0 с одновременным расширением границ этих областей по координате K_{np} . Вместе с тем существует противоречивость между данными, представленными в работе [9] и результатами наших исследований. Из рис. 2 [9] следует, что в интервале чисел режущих выступов $5 \leq n \leq 15$ параметрический резонанс возможен только в случаях, когда $K_{np} > 1$, то есть когда протяженность впадины l_2 превышает длину режущего выступа l_1 . Согласно наших исследований в интервале изменения чисел режущих выступов $5 \leq n \leq 15$ в упругой системе шлифовального станка может возникнуть параметрический резонанс при $K_{np} < 1$ (рис. 3, б).

На рис. 5 в плоской системе координат $K_{np} = f(n)$ изображены области параметрического резонанса (заштрихованные зоны), кривые 1,2,3,4,5, характеризующие геометрические параметры рабочих поверхностей прерывистых кругов с протяжностью впадин $l_2 = 3, 4, 5, 6, 7$ мм соответственно и кривые 6,7,8,9, характеризующие снижение температур сплошного шлифования ($\Theta = 800, 900, 1000, 1100$ °C соответственно). За счет применения прерывистых кругов до уровня, при котором на обрабатываемых поверхностях не происходят структурные и фазовые превращения.

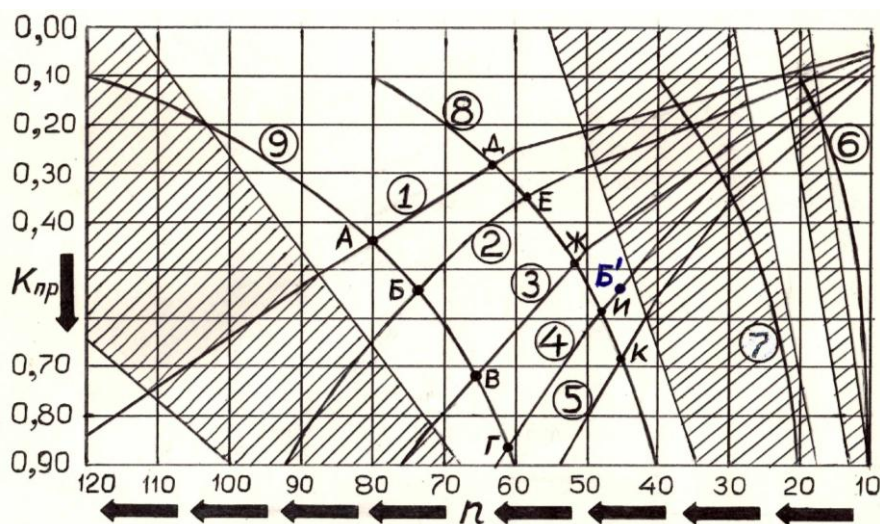


Рис. 5. Геометрические характеристики рабочей поверхности прерывистых шлифовальных кругов с размерами впадин 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм, 7 мм (кривые 1,2,3,4,5 соответственно) и их влияние на степень понижения температуры по сравнению со сплошным шлифованием (кривые 6,7,8,9) и на возможность предотвращения параметрического резонанса в упругой системе станка (заштрихованные области)

Данные, приведенные на рис. 5, рассчитаны для вполне конкретных условий шлифования в качестве примера.

Из рис. 5 видно, что при шлифовании прерывистыми кругами, имеющими на рабочих поверхностях 50 прорезей с интервалами изменения протяженностей впадины $3 \leq l_2 \leq 7$ мм и коэффициента прерывистости $0,2 \leq K_{np} \leq 0,9$, обеспечивается устойчивая работа упругой системы станка. Для кругов с 60, 70, 80 прорезями на рабочих поверхностях и тем же диапазоном изменения значений коэффициента прерывистости ($0,2 \leq K_{np} \leq 0,9$) интервалы протяженностей впадин, обеспечивающих устойчивую работу плоскошлифовального станка, соответственно равны $3 \leq l_2 \leq 6$ мм, $3 \leq l_2 \leq 5$ мм, $3 \leq l_2 \leq 4$ мм. Прерывистые круги, имеющие на рабочей поверхности 25 впадин с протяженностью $3 \leq l_2 \leq 7$ мм, обеспечивают безрезонансную работу шлифовального станка в интервале значений коэффициента прерывистости $0,10 \leq K_{np} \leq 0,30$.

Из рис. 5 (кривые 6,7,8,9) видно, что для обеспечения требуемой температуры в зоне резания необходимо при уменьшении коэффициента прерывистости увеличивать число режущих выступов на круге. Кроме того, с увеличением числа режущих выступов на абразивном инструменте при постоянном значении коэффициента прерывистости степень понижения температуры по сравнению со сплошным шлифованием возрастает.

Из рис. 5 видно, что области параметрической устойчивости упругой системы станка (незаштрихованные области) имеют вид полос, размеры которых расширяются в направлении уменьшения коэффициента прерывистости, а сами полосы наклонены в сторону увеличения количества впадин на прерывистом круге. Из этого следует, что для обеспечения безрезонансной работы плоскошлифовального станка необходимо при уменьшении коэффициента прерывистости увеличивать количество прорезей на рабочей поверхности абразивного инструмента. Технология изготовления прерывистых кругов сводится к прорезанию впадин на заточных станках, оснащенных делительными механизмами. Причем ширина впадины равна высоте круга, с помощью которого эти впадины прорезаются. При изготовлении кругов по этой технологии с увеличением количества прорезей неизбежно приводит к увеличению коэффициента прерывистости. Одновременное увеличение коэффициента прерывистости и числа прорезей способствует дополнительному снижению температуры в зоне резания. Увеличение числа впадин на прерывистом круге приводит к возрастанию себестоимости его изготовления.

Из рис. 5 видно, что температуру сплошного шлифования, равную 1100 °С, можно понизить до безопасного уровня за счет

применения прерывистых кругов, имеющих следующие совокупности геометрических характеристик рабочей поверхности:

- 1) $n=60$, $l_2=6$ мм (точка Г на линии 4);
- 2) $n=65$, $l_2=5$ мм (точка В на линии 3);
- 3) $n=75$, $l_2=4$ мм (точка Б на линии 2);
- 4) $n=80$, $l_2=3$ мм (точка А на линии 1).

Если температура сплошного шлифования равна 1000 °С, то обеспечить безопасную температуру в зоне резания можно за счет использования прерывистых кругов:

- 1) $n=45$, $l_2=7$ мм (точка К на линии 5);
- 2) $n=48$, $l_2=6$ мм (точка И на линии 4);
- 3) $n=52$, $l_2=5$ мм (точка Ж на линии 3);
- 4) $n=58$, $l_2=4$ мм (точка Е на линии 2);
- 5) $n=63$, $l_2=3$ мм (точка Д на линии 1).

В первом случае наиболее экономичным в изготовлении является круг, геометрические параметры которого соответствуют точке Г, а во втором случае – точке К. причем работа всех рассматриваемых девяти кругов не будет сопровождаться параметрическим резонансом. Удачному размещению кривых 8 и 9, соответствующих безопасным уровням температур, между двумя соседними зонами параметрической неустойчивости в значительной степени благоприятствует один и тот же угол наклона кривых и заштрихованных полос. Прерывистые круги, геометрические характеристики которых соответствуют точкам Д ($n=65$; $l_2=3$ мм; $Knp=0,28$) и К ($n=45$; $l_2=7$ мм; $Knp=0,69$), обеспечивают одну и ту же степень понижения температуры, но разную шероховатость поверхности и разные себестоимости изготовления инструментов.

Из рис. 2 и 4 видно, что динамическая жесткость резания K_0 оказывает существенное влияние на параметрическую устойчивость упругой системы шлифовального станка. Численное значение K_0 определяется режимами шлифования, состоянием рабочей поверхности шлифовального круга и обрабатываемостью материала.

Из рис. 6 видно, что при увеличении коэффициента прерывистости шероховатость поверхности возрастает, а при увеличении числа впадин на круге – снижается.

Из рис. 5 видно, что шлифовальный круг, соответствующий точке К, имеет меньшее количество впадин и больший коэффициент прерывистости по сравнению с кругом, соответствующим точке Д. Из этого следует, что при шлифовании кругом «К» шероховатость обработанной поверхности будет значительно выше, чем при шлифовании кругом «Д». Но при этом круг «К» более экономичен в изготовлении.

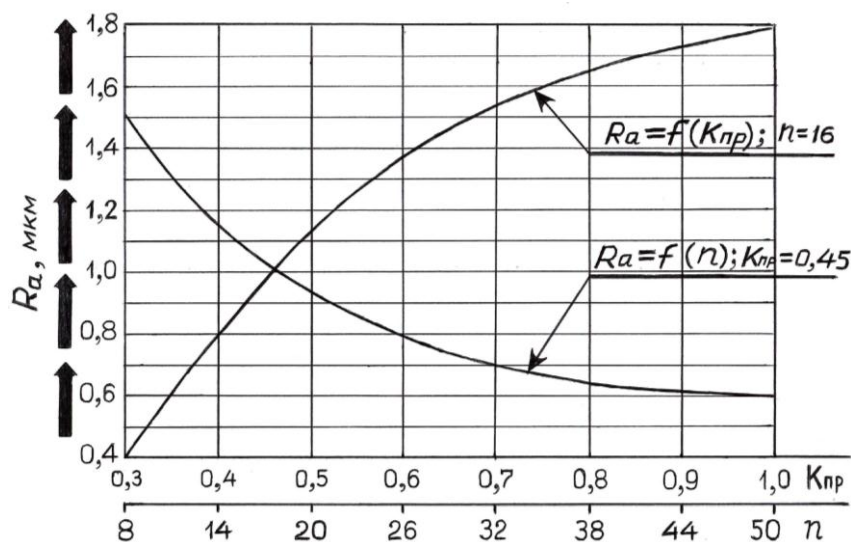


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности от количества прорезей n на рабочей поверхности прерывистого круга и от коэффициента прерывистости K_{np} [11]

На рис. 7 показаны зависимости относительного расхода q алмазного прерывистого круга от количества режущих выступов n . Эти зависимости носят экстремальный характер. С увеличением жесткости шпиндельного узла Co минимум q уменьшается и смещается в область больших значений n .

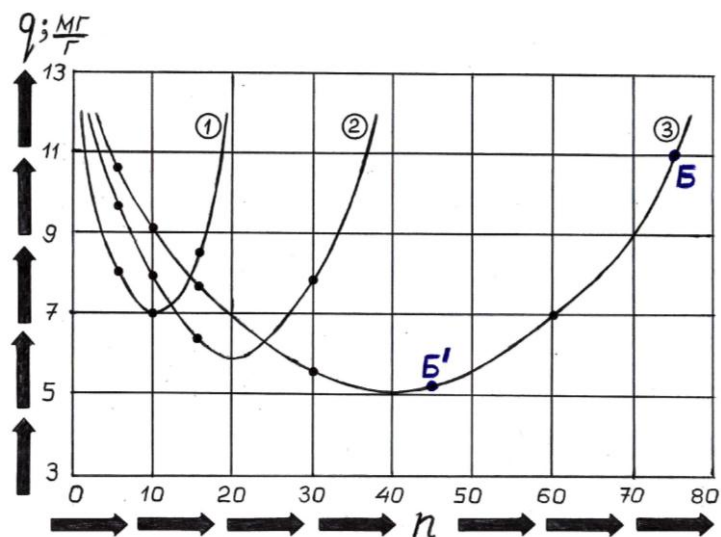


Рис. 7. Зависимости относительного расхода q алмазного прерывистого круга от количества режущих выступов n , построенные для $K_{np}=0,55$ и для различных значений жесткости Co : 1 - $Co=0,5 \cdot 10^6$ н/м; 2 - $Co=2,0 \cdot 10^6$ н/м; 3 - $Co=3,5 \cdot 10^6$ н/м [12]

Из сопоставления рис. 5 и 7 видно, что при $K_{np}=0,55$; $Co=3,5 \cdot 10^6$ н/м и при увеличении количества прорезей на рабочих поверхностях кругов от $n=45$ (точка B') до $n=75$ (точка B)

относительный расход алмазного слоя q возрастает от 5 мг/г до 11 мг/г, степень понижения температуры прерывистого шлифования, по сравнению со сплошным, возрастает, а себестоимость изготовления кругов увеличивается.

Поведенный анализ показал сложность обеспечения минимальной себестоимости изготовления прерывистых инструментов и требуемых геометрических и физико-механических параметров качества поверхностного слоя деталей при шлифовании прерывистыми кругами с прямыми вырезами на рабочих поверхностях. В работах [13-16] предлагается обеспечивать требуемое качество поверхностного слоя обрабатываемых деталей за счет применения прерывистых кругов с равномерным контактом, рабочие поверхности которых имеют наклонные пазы (рис. 8) или выглядят в виде непрерывной волнообразной ленты (рис. 9).



Рис. 8. Внешний вид абразивного (а) и алмазного (б) прерывистых кругов с наклонными впадинами, обеспечивающими непрерывный контакт инструмента с обрабатываемым материалом

Наличие постоянного контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью исключает возможность возникновения в упругой системе станка параметрического резонанса. Поскольку при шлифовании такими кругами не возникает параметрический резонанс, то расчет геометрических элементов их рабочих поверхностей можно свести только к расчету протяженности режущего выступа.

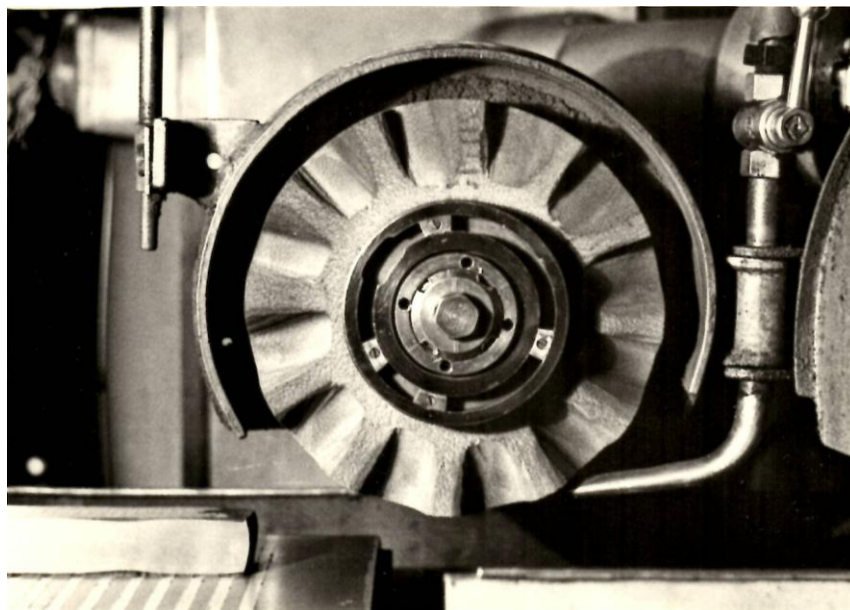


Рис. 9. Внешний вид абразивного круга с рабочей поверхностью в виде непрерывной волнообразной ленты, обеспечивающей постоянный контакт с обрабатываемой деталью

Методика расчета параметров прерывистого круга, обеспечивающего равномерный контакт с обрабатываемым материалом, по температурному критерию [16]:

1. Задаваясь предельно допустимой температурой в зоне резания, например, температурой третьего периода отпуска $\Theta = 400-450$ °С, определяется безразмерная температура по формуле:

$$\Theta^{\chi} = \frac{\pi \times V_d \times \Theta \times K_{np}}{2 \times q' \times \alpha},$$

где V_d – скорость детали, м/с;

α – температуропроводность обрабатываемого материала, м²/с;

q' – плотность теплового потока, Дж/(м²·с).

2. Из таблицы 1 определяется безразмерный комплекс

$$\chi = \frac{V_d^2 \times \tau}{4 \times \alpha}.$$

Таблица 1

Числовые значения безразмерного комплекса χ

χ	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Θ^{χ}	0,2316	0,3495	0,4784	0,5599	0,6230	0,6720	0,7140	0,7470
χ	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
Θ^{χ}	0,7760	0,8130	0,823	0,841	0,857	0,870	0,881	0,899
χ	0,85	0,90	0,95	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
Θ^{χ}	0,906	0,911	0,917	0,919	0,923	0,9232	0,924	0,9241

3. Определяется время работы режущего выступа:

$$\tau = \frac{4 \times \alpha}{V_{\text{д}}^2}.$$

4. Определяется длина режущего выступа:

$$l_1 = \pi \times D_{\text{кр}} \times n' \times \tau,$$

где n' – частота вращения круга в секунду;

$D_{\text{кр}}$ – диаметр круга, м.

Выводы. 1. Показано влияние геометрических параметров прерывистых кругов с прямыми пазами на их относительный износ, температуру в зоне резания и параметрическую устойчивость упругой системы при обработке на плоско- и зубошлифовальных станках моделей 3Г71М и MAAG SD 65 соответственно.

2. С целью обеспечения геометрических показателей качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей обоснована возможность применения прерывистых шлифовальных кругов с наклонными пазами и предложена методика расчета размеров геометрических элементов, входящих в состав их рабочей поверхности.

Литература

1. Сипайлов В.А. Расчет размеров режущих перемычек круга при прерывистом шлифовании / В.А. Сипайлов, А.В. Якимов // Заводская лаб. – Пермь, 1966. – Т.32. – №7. – С. 847–851.
2. Якимов А.В. Методика расчетов кругов с прерывистой рабочей поверхностью / А.В. Якимов, Н.А. Ярмонов, Ю.А. Напарьин // Вестник машиностроения. – Москва, 1973. – №12. – С. 38–41.
3. Якимов А.В. Расчет геометрических параметров прерывистых кругов / А.В. Якимов, Ю.А. Напарьин, Н.А. Ярмонов, В.И. Свирщёв, Е.В. Грисенко // Информационный листок Западно-Уральского МТЦНТИиП. – № 259-74. – Пермь, 1974. – 7 с.
4. Якимов А.В. Расчет, конструирование и эффективность применения прерывистых кругов - вентиляторов / А.В. Якимов, В.В. Якимов, В.Н. Кудашкин // Новые методы абразивной обработки. – Киев: Вища школа, 1975. – С. 85–91.
5. Лукин Л.Л. Расчет прерывистых алмазных кругов при плоском периферийном шлифовании / Л.Л.Лукин, В.Д. Старшев // Вестник Иж.ГТУ. – 2007. – №1. – С. 34–38.
6. Свирщёв В.И. К вопросу расчета параметров регулярного макрорельефа на рабочей поверхности абразивного инструмента / В.И. Свирщёв // Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении:

- Межвузовский сбор. научн. трудов. – Пермь: ППИ, 1990. – С. 41–48.
7. Лищенко Н.В. Определение температуры при шлифовании прерывистыми и высокопористыми кругами / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямком «Інженерна механіка»). – Луцьк: ЛДТУ, 2013. – Вип. 40. – С. 150–158.
 8. Лищенко Н.В. Определение температуры прерывистого шлифования / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, А.В. Якимов // Праці Одеського політехнічного університету: науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2012. – Вип. 2 (39). – С. 80–85.
 9. Свирщёв В.И. Об устойчивости упругой системы плоскошлифовального станка 3Г71 / В.И. Свирщёв, А.Н. Паршаков, В.И. Потёмкин // Повышение качества деталей при окончательных метода обработки: Межвузовский сбор. научн. трудов. – Пермь: Персмк. полит. институт, 1977. – Вып. 208. – С. 41–48.
 10. Якімов О.О. До питання про знос шліфувальних кругів з переривчастою робочою повернею / О.О. Якімов, Н.М. Клименко, Ю.В. Шіхірева, С.Ю. Дмитрієва, С.М. Уминський // Аграрний вісник Причорномор'я: збірн. наук. праць. (Технічні науки). – Одеса: ОДАУ, 2016. – Вип. 80. – С. 13–23.
 11. Якімов О.О. Вплив конструкції переривчастого шліфувального круга на геометричні показники якості оброблюваної поверхні / О.О. Якімов // Резание и инструмент в технологических системах: междун. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – Вып. 85. – С. 323–330.
 12. Якимов А.В. Теоретические основы резания и шлифования материалов / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
 13. Амбарян Р.С. Прерывистый абразивный круг с равномерным контактом обработки / Р.С. Амбарян // Промышленность Армении: сбор. науч. тр. – 1970. – №10. – С. 20–25.
 14. Амбарян Р.С. Новая геометрия рабочего профиля шлифовального круга / Р.С. Амбарян // Промышленность Армении: сбор. науч. тр. – 1971. – №4. – С. 32–36.
 15. Амбарян Р.С. Исследование процесса шлифования прерывистыми кругами с равномерным контактом: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05-171 / Р.С. Амбарян. – Ереван, 1972. – №10. – 26 с.
 16. Якимов А.В. Оптимизация параметров процесса шлифования прерывистыми кругами с равномерным контактом / А.В. Якимов, А.А. Якимов, С.Ю. Дмитриева // Вісник Харківського нац. техніч.

університету сільськ. Господарства ім. Петра Василенка: збірн. наук. праць. – Харьков: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 61. – С. 34–39.

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПЕРЕРИВЧАСТИХ ШЛІФУВАЛЬНИХ КІЛ

Якімов О.О., Бовнегра Л.В., Безнос С.В., Дмитрієва С.Ю.,
Добровольський В.В.

В роботі розглядається вплив геометричних параметрів переривчастих кіл з прямими пазами на їх відносне знос, температуру в зоні різання і параметричну стійкість пружної систем, а також, з метою забезпечення геометричних показників якості поверхневого шару оброблюваних деталей, обґрунтована можливість застосування переривчастих шліфувальних кругів з похилими пазами і запропонована методика розрахунку розмірів геометричних елементів.

Ключові слова: область параметричного резонансу, динамічна жорсткість різання, переривчасте коло.

MODELING OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE WORKING SURFACES OF THE DISCONTINUOUS GRINDING WHEELS

Yakimov O., Bovnegra L., Beznos S., Dmytriieva S.,
Dobrovolskyi V.

The influence of the geometric parameters of discontinuous circles with straight grooves on their relative wear, the temperature in the cutting zone and the parametric stability of the elastic system is examined, and also the possibility of using discontinuous grinding wheels with inclined grooves and a method for calculating the dimensions of geometric elements is proposed.

Key words: parametric resonance region, dynamic rigidity of cutting, intermittent circle.

ЗМІСТ

№ п.п	ПБ, назва статті	Стр.
1.	<i>Адоньєв Є.О., Найдиш А.В.</i> Композиційний метод геометричного моделювання у розв'язанні багатofакторних задач.....	3
2.	<i>Бадаєв Ю.І., Ганношина І.М.</i> Раціональна крива Безьє 7-го степеня за заданими двома точками і кривинами та скрутом в них.....	9
3.	<i>Баишта О.Т., Джурик О.В., Романенко В.Г., Сабірова І.М.</i> Нові технології викладання графічних дисциплін із застосуванням САПР.....	16
4.	<i>Бездитный А.А., Найдиш А.В., Спиринцев Д.В., Пахаренко В.А.</i> Определение эволюты кривой в точечном исчислении Балюбы-Найдыша.....	24
5.	<i>Білицька Н.В., Гетьман О.Г.</i> Про формоутворення плоскої кривої за заданим законом розподілу дотичних, що її огинають.....	27
6.	<i>Ботвіновська С.І., Золотова А.В.</i> Керування формою дискретно представленої поверхні за рахунок включення заданих вузлів	32
7.	<i>Верещага В.М., Найдиш А.В.</i> Точкове управління формою Б-фігур.....	43
8.	<i>Воронцов О.В., Тулупова Л.О., Воронцова І.В.</i> Аналітичні формули обчислення коефіцієнтів суперпозиції дискретно визначених кривих.....	48
9.	<i>Гавриленко Е.А., Холодняк Ю.В.</i> Формирование ДПК на участках, содержащих особые точки.....	53
10.	<i>Гумен О.М., Яблонський П.М., Шаповал С.П., Коломієць Н.Я.</i> Засоби просторового геометричного моделювання у дослідженні параметрів температурного поля приміщення.....	58
11.	<i>Дашкевич А.А., Шоман О.В.</i> Анализ геометрических характеристик точечных множеств на основе алгоритма пространственного хеширования.....	63

12. Демчишин А.А., Аушева Н.М. Геометричне моделювання поверхонь тентових конструкцій.....	68
13. Залевская О.В., Литвиненко П.Л., Финогенов А.Д., Янушевська О.І. Алгоритм полного перебора матриц в методе анализа иерархий.....	75
14. Зданевич В.А., Кундрат Т.М., Літніцький С.І., Пугачов Є.В. Оцінка затуляння в кінотеатрі з рядами в плані у вигляді двохланкової ламаної, розміщеними на похилій площині...	80
15. Подкоритов А.М., Ісмаїлова Н. П., Трушков Г.В., Радченко І.Г., Лебедева Л.В. Геометричне моделювання дискової фрези на базі комп'ютерної програми проектування AUTOCAD.....	86
16. Караєв О.Г., Пахаренко В.О., Рубцов М.О. Геометричне моделювання прийняття рішень щодо вибору машин із множини альтернатив.....	92
17. Ковальов Ю.М., Шмельова Т.Ф., Калашнікова В.В. Системна оптимізація психологічної сумісності в ергатичних системах.....	99
18. Куценко Л.М., Запольський Л.Л. Трансформування сферичної хрестоподібної стержневої конструкції в умовах невагомості.....	106
19. Несвідомін В.М., Бабка В.М., Несвідомін А.В. Ковзання частинки по шорсткій площині, яка здійснює поступальні коливання по епіциклоїді	115
20. Ницын А.Ю. Орнаменты на основе семейств кривых, заполняющих правильный шестиугольник.....	120
21. Пилипака С.Ф., Муквич М.М. Аналітичні залежності утворення ізотропних ліній на уявних поверхнях обертання.....	126
22. Скочко В. І. Моделювання дискретних образів плоских кривих з ланками однакової довжини.....	132
23. Сліпченко В.Г., Полягушко Л.Г. Система автоматизованого проектування приборів спеціального медичного призначення.....	138
24. Тормосов Ю.М., Саенко С.Ю. Комп'ютерне моделювання відбивальної системи сушильної камери.....	144

25. *Холковський Ю.Р.* Використання дискретно-інтерполяційного методу при моделюванні стану багатопараметричних середовищ..... 150
26. *Церковна О.Г.* Вплив зовнішніх факторів на формоутворення фонтанів..... 156
27. *Черников А.В., Рагулин В.Н., Смирнов О.В., Черепанова Н.В.* Адаптация шаблонов AUTODESK INVENTOR для оформления чертежей зубчатых колес в учебном процессе и на производстве..... 163
28. *Черняк В.І.* Визначення дивергенції в точках дискретно представленого неупорядкованого векторного поля..... 168
29. *Якимов А.А., Бовнегра Л.В., Безнос С.В., Дмитриева С.Ю., Добровольский В.В.* Моделирование геометрических параметров рабочих поверхностей прерывистых шлифовальных кругов..... 172

Наукове фахове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Збірник наукових праць

Випуск 12

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 29.05.2018 р. Формат 60х84 1/16
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Cyr.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 10.9.
Наклад 100 прим. Зам. № 2402

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