

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Таврійський державний агротехнологічний університет**



**Науковий вісник**

**Таврійського державного агротехнологічного університету**



*Випуск 8, Том 1*

Електронне фахове видання

Мелітополь – 2018 р.

Електронне фахове видання

**Науковий вісник**

Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 8, Том 1.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Малкіна В.М.  
Відповідальний коректор – к.т.н., доцент Мацулевич О.Є.

---

Підписано до друку 29.05.2018 р. Друк. ТДАТУ  
13,2 умов. друк. арк. тираж 2 прим.

**ЗМІСТ**

<b>Прикладна геометрія, інженерна графіка.....</b>	<b>3</b>
МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ІЗ ЗАДАНИМИ КУТАМИ НАХИЛУ ДОТИЧНИХ ДО П ГОЛОВНИХ НАПРЯМІВ У ВСІХ КІНЦЕВИХ ТОЧКАХ.....	3
Борисенко В. Д., Устенко А. С., Друзь Є. І.	
МОДЕЛЬ ТА МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ НЕОПУКЛИМИ БАГАТОКУТНИКАМИ ЗАДАНОЇ ОБЛАСТІ З ДИСКРЕТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ .....	11
Комяк В.М., Соболь О.М., Кравців С.Я	
ВЫБОР ТОЧКИ ЗРЕНИЯ, КАРТИННОЙ ПЛОСКОСТИ И ЦЕНТРА ПРОЕЦИРОВАНИЯ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНОЙ СЦЕНЫ.....	23
Ницын А.Ю.	
ОБЛАШТУВАННЯ ПОЖЕЖНОЇ ЧАСТИНИ ДОБРОВІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНОЇ ОХОРОНИ В ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАДАХ.....	30
Небелюк В.І., Мартин Є. В.	
СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ГРАФІЧНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У ПІДГОТОВЦІ РЯТУВАЛЬНИКІВ....	38
Рижавський К. Є., Мартин Є. В.	
ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСКАВАТОРА «MENZI MUSK M545» ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЙОГО РУХУ ТА СТІЙКОСТІ ПРИ ЗАДАНИХ УМОВАХ.....	46
Черніков О.В., Склярів Є.Ю., Швейкін І.О.	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ НАСАДОК ДЛЯ ФОНТАНІВ.....	55
Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Залевський С.В.	
ВИДИ ПЕРСПЕКТИВИ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.....	69
Сидорова Н.В., Доценко Ю.В.	
АЛГОРИТМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ХЕШИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИБЛИЗИТЕЛЬНОГО ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ.....	79
Дашкевич А.А.	



ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО РОЗРОБКИ ТА АНІМАЦІЇ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПЕРСОНАЖУ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРИ.....	87
Зубішин І.О., Кузьменко А.С., Сидоренко О.С., Сімонова О.Г.	
ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТКОВИХ АПАРАТІВ КОМПРЕСОРІВ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ ДИСКРЕТНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ.....	95
Спірінцев В.В.	
ПАРАМЕТРИЧНІ РІВНЯННЯ ПОВЕРХНІ ВІДНОСНО СИСТЕМИ ЇЇ ІНВАРІАНТНОГО ТРИГРАННИКА В ТОЧЦІ .....	103
Фролов О. В.	
ОСОБЛИВОСТІ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ АПРОКСИМАЦІЇ НЕПЕРЕВНИХ ФУНКЦІЙ.....	116
Пихтєєва І.В., Івженко О.В., Залевський С.В.	
ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІМУНІТЕТУ ЛЮДИНИ, ЯК СИСТЕМИ ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ....	124
Северин В.П., Ніцин Д.О., Сидоренко О.С.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕХАНИЧЕСКИХ СРЕДАХ ДЕТАЛЕЙ.....	132
Бережной В.А., Матюшенко Н.В., Федченко А.В.	
АЛГОРИТМ ПЕРЕТВОРЕННЯ DISCOM ЗОБРАЖЕННЯ У ФОРМАТ JPEG, BMP ТА PNG.....	137
Спірінцев В.В., Кондратюк Ю.Р.	
ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ МІЖ ЕТАПАМИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ОБ'ЄКТІВ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	145
Лясковська С.Є.	
ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ МАТРИЦЬ ДЛЯ УТВОРЕННЯ ТОЧКОВИХ РІВНЯНЬ Б-ПОВЕРХОНЬ.....	153
Адоньєв Є.О., Верещага В.М., Найдиш А.В.	
<b>Електротехнологічні комплекси та системи .....</b>	<b>161</b>
РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЬНОМ И ГЕНЕРАТОРНОМ РЕЖИМАХ ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ.....	161
Прищепов М.А., Прищепова Е.М., Иванов Д.М.	



МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ПРОГРАМІ МАТЛАВ.....	182
Дубініна С. В.	
ВДОСКОНАЛЕННЯ СІМПЛЕКС МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІ НЕЛДЕРА-МІДА З АПРОБАЦІЕЙ В БАГАТОВИМІРНОМУ ФАКТОРНОМУ ПРОСТОРИ.....	188
Петров В.О.	
ГЕЛИОЕЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО С КОНЦЕНТРАТОМ ЭНЕРГИИ.....	197
Стручаев Н.И., Стёпин Ю.А., Перова Н.П.	
ТЕРМОСИФОННА ГЕЛІОСУШАРКА.....	205
Стручаев М.І., Постол Ю. О.	
ЗМІСТ .....	213

**ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА**

УДК 514.18

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ІЗ ЗАДАНИМИ КУТАМИ  
НАХИЛУ ДОТИЧНИХ ДО ПІ ГОЛОВНИХ НАПРЯМІВ У ВСІХ  
КІНЦЕВИХ ТОЧКАХ****Борисенко В. Д.**, д-р техн. наук<sup>1</sup>, ORCID 0000-0002-0857-0708**Устенко А. С.**<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0002-0546-7019**Друзь Є. І.**<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0002-9508-4045<sup>1</sup>*Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського*<sup>2</sup>*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*  
Тел (0512) 71-30-25

**Анотація** – Робота присвячена геометричному моделюванню поверхонь у натуральній параметризації із застосуванням алгебраїчних (другого порядку) законів розподілу кривини вздовж головних напрямів поверхонь. Коефіцієнти законів розподілу кривини визначаються числовим методом оптимізації із забезпеченням проходження поверхні через чотири базові точки та заданими в них кутами нахилу дотичних у напрямках криволінійних координатних осей.

**Ключові слова** – геометричне моделювання, поверхня, натуральна параметризація, закон розподілу кривини.

*Постановка проблеми.* В багатьох практичних застосуваннях, наприклад, в судно- та турбобудуванні, є потреба в аналітичному поданні ділянок поверхонь на базі розробленого проектантом виробу сітчастого каркасу з відомими координатами вузлів сіток та кутами нахилу в них дотичних. Наявність аналітичного виразу ділянки поверхні дозволяє будувати на них проміжні лінії, які необхідні, наприклад, для виготовлення технологічної оснастки. В світі висловленого розробка методу подання поверхні на базі відомих координат чотирьох точок і кутів нахилу в них дотичних в напрямках координатних осьових ліній.

*Формулювання цілей статті.* Метою цієї статті є розробка методу геометричного моделювання ділянки поверхні в натуральній параметризації із застосуванням алгебраїчних (другого порядку) законів розподілу кривини вздовж головних напрямів поверхні та зазначених вище вихідних даних.

*Аналіз останніх досліджень.* У сучасній літературі з прикладної геометрії можна знайти достатньо різноманітних методів геометричного моделювання поверхонь, у тому числі складених [1–6]. При цьому застосовуються явні, неявні, параметричні форми подання поверхонь. Останніми роками набули популярності методи моделювання поверхонь в натуральній параметризації.

*Основна частина.* Розглянемо моделювання ділянки поверхні, показаної на рис. 1, на якому визначені чотири точки та кути нахилу дотичних в обох напрямках криволінійних координат.

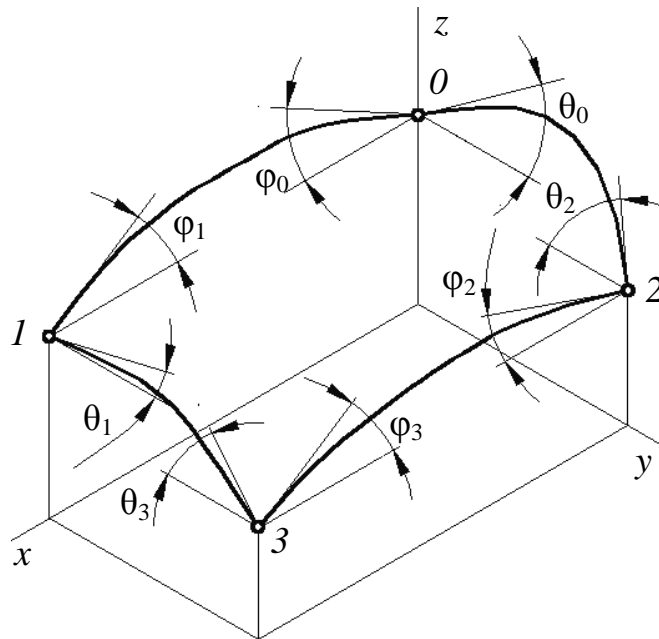


Рис. 1. Вихідні дані до моделювання ділянки поверхні

Введення до розгляду чотирьох кутів  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ,  $\theta_1$  і  $\theta_3$ , потребувало відповідного збільшення коефіцієнтів рівнянь, якими описуються залежності кривини від криволінійних координат  $u$  і  $v$ :

$$k_1 = a_1 u^2 + b_1 v^2 + c_1 u + d_1 v + e_1 uv + f_1;$$

$$k_2 = a_2 u^2 + b_2 v^2 + c_2 u + d_2 v + e_2 uv + f_2.$$

Обидві залежності кривини від криволінійних координат є алгебраїчними кривими другого порядку у повному обсязі.

Інтегруванням цих залежностей отримаємо вирази, за якими будуть розподілятися кути  $\varphi$  і  $\theta$  вздовж відповідних криволінійних координат:

$$\varphi = \varphi_{02} + \frac{a_1 u^3}{3} + b_1 uv^2 + \frac{c_1 u^2}{2} + d_1 uv + \frac{e_1 u^2 v}{2} + f_1 u;$$



$$\theta = \theta_{01} + a_2 u^2 v + \frac{b_2 v^3}{3} + c_2 uv + \frac{d_2 v^2}{2} + \frac{e_2 uv^2}{2} + f_2 v,$$

де  $\varphi_{02}$  і  $\theta_{01}$  – кути в початку координат, який переміщується по відповідній криволінійній координатній лінії та нульовому значенні другої криволінійної координати. Індксація  $02$  і  $01$  при кутах  $\varphi$  і  $\theta$  відповідає крайкам модельованої ділянки поверхні.

Отже, користування записаними вище виразами при розрахунках призводить до суттєвих похибок, бо вони не враховують змінність, наприклад, кута  $\varphi$  при переміщенні вздовж криволінійної координати  $v$ , коли координата  $u$  дорівнює нулю. А саме при цьому переміщенні кут  $\varphi_{02}$  змінюється від  $\varphi_0$  до  $\varphi_2$ . Оскільки характер цієї залежності невідомий, то для забезпечення можливості проведення розрахунків приймемо, що цей кут лінійно залежить від координати  $v$  у вказаних межах.

Таким чином, будемо мати:

$$\varphi_{02} = \varphi_0 + \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{v_2} v,$$

де  $\varphi_{02}$  – початкове значення кута  $\varphi$  при  $u = 0$  і варіюванні координати  $v$  від нуля до  $v_2$ ;  $\varphi_0$  і  $\varphi_2$  – задані значення кутів в точках  $0$  і  $2$ .

Подібні міркування можна зробити відносно кута  $\theta_{01}$ , який при нульовому значенні координати  $v$  і варіюванні координати  $u$  в межах від нуля до  $u_1$  змінюється від  $\theta_0$  до  $\theta_1$ . Отже, можна записати

$$\theta_{01} = \theta_0 + \frac{\theta_1 - \theta_0}{u_1} u.$$

З урахуванням цих лінійних залежностей розподіл кутів  $\varphi$  і  $\theta$  по криволінійних координатах буде визначатися виразами:

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{a_1 u^3}{3} + b_1 uv^2 + \frac{c_1 u^2}{2} + d_1 uv + \frac{e_1 u^2 v}{2} + f_1 u + \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{v_2} v;$$

$$\theta = \theta_0 + a_2 u^2 v + \frac{b_2 v^3}{3} + c_2 uv + \frac{d_2 v^2}{2} + \frac{e_2 uv^2}{2} + f_2 v + \frac{\theta_1 - \theta_0}{u_1} u.$$

Визначимо кути  $\varphi_{02}$  і  $\theta_{01}$  в точках  $0 - 3$ .

Точка  $0$ , в якій  $u = 0$ ,  $v = 0$ , маємо  $\varphi = \varphi_0$ ,  $\theta = \theta_0$ .

Точка  $1$ , в якій  $u = u_1$ ,  $v = 0$ , маємо

$$\varphi = \varphi_1 = \varphi_0 + \frac{a_1 u_1^3}{3} + \frac{c_1 u_1^2}{2} + f_1 u_1.$$





Звідки випливає, що

$$\varphi_1 - \varphi_0 = \frac{a_1 u_1^3}{3} + \frac{c_1 u_1^2}{2} + f_1 u_1. \quad (1)$$

У цій же точці отримаємо  $\theta = \theta_0 + \frac{\theta_1 - \theta_0}{u_1} u_1 = \theta_1$ .

Точка 2, в якій  $u = 0$ ,  $v = v_2$ , маємо  $\varphi = \varphi_0 + \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{v_2} v_2 = \varphi_2$  і

$$\theta = \theta_2 = \theta_0 + \frac{b_2 v_2^3}{3} + \frac{d_2 v_2^2}{2} + f_2 v_2.$$

Звідки випливає, що

$$\theta_2 - \theta_0 = \frac{b_2 v_2^3}{3} + \frac{d_2 v_2^2}{2} + f_2 v_2. \quad (2)$$

Точка 3, в якій  $u = u_1$ ,  $v = v_2$ , вираз для кута  $\varphi_3$  набуде вигляду:

$$\begin{aligned} \varphi_3 = \varphi_0 + \frac{a_1 u_1^3}{3} + b_1 u_1 v_2^2 + \frac{c_1 u_1^2}{2} + d_1 u_1 v_2 + \frac{e_1 u_1^2 v_2}{2} + f_1 u_1 + \\ + \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{v_2} v_2. \end{aligned}$$

З урахуванням (1) будемо мати

$$\varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_0 + b_1 u_1 v_2^2 + d_1 u_1 v_2 + \frac{e_1 u_1^2 v_2}{2}. \quad (3)$$

Аналогічні дії відносно кута  $\theta_3$  (з урахуванням (2)) призводять до результату:

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_2 - \theta_0 + a_2 u^2 v_2^2 + c_2 u_1 v_2 + \frac{e_2 u_1 v_2^2}{2}. \quad (4)$$

Перш за все, зазначимо, що в цьому дослідженні будемо користуватися параметричними рівняннями поверхні, отриманими в роботі [6]:

$$x(u, v) = x_0 + \int_0^u \cos \varphi(u, v) du; \quad (5)$$

$$y(u, v) = y_0 + \int_0^v \cos \theta(u, v) dv; \quad (6)$$



$$z(u, v) = z_0 + \int_0^u \sin \varphi(u, v) du + \int_0^v \sin \theta(u, v) dv. \quad (7)$$

Задача побудови ділянки поверхні зводиться до знаходження 12 коефіцієнтів у виразах, які визначають розподіли кривини вздовж криволінійних координат  $u$  і  $v$  та їх довжин  $u_1$  і  $v_2$ . Моделювання поверхні розв'язується за три кроки.

*Крок 1.* Забезпечення проходження крайки  $0-1$  ділянки поверхні через точку  $1$ , для якої криволінійна координата  $v$  дорівнює нулю і задіяними будуть координати  $x$  і  $z$ . Координата  $z$  буде розраховуватися без врахування другого інтеграла формули (7). Для побудови цієї крайки необхідно визначити коефіцієнти  $a_1$ ,  $c_1$ ,  $f_1$  та криволінійну координату  $u_1$ . Решта коефіцієнтів у побудові крайки  $0-1$  не задіяна, оскільки криволінійна координата  $v$  має нульове значення.

З виразу (1) випливає, що

$$a_1 = \frac{3}{u_1^3} \left( \varphi_1 - \varphi_0 - \frac{c_1 u_1^2}{2} - f_1 u_1 \right).$$

Коефіцієнти  $c_1$ ,  $f_1$  і координата  $u_1$  знаходяться шляхом мінімізації відхилення проміжно отриманої точки  $1$  від заданої.

*Крок 2.* Проведення крайки  $0-2$  ділянки поверхні через точку  $2$ , для якої криволінійна координата  $u$  дорівнює нулю. З виразу (2) випливає, що

$$b_2 = \frac{3}{v_2^3} \left( \theta_2 - \theta_0 - \frac{d_2 v_2^2}{2} - f_2 v_2 \right).$$

Для побудови крайки  $0-2$  необхідно визначити коефіцієнти  $d_2$ ,  $f_2$  закону розподілу кривини та криволінійну координату  $v_2$ . Ці невідомі знаходяться шляхом мінімізації відхилення проміжної точки від заданої точки  $2$ . Для крайки  $0-2$  будуть задіяні координати  $u$  і  $z$ . При  $u = 0$  визначення координати  $z$  спрощується, оскільки при цьому значенні криволінійної координати перший інтеграл у формулі (3.5) дорівнює нулю.

Розв'язавши задачу мінімізації функції трьох змінних з цільовою функцією у вигляді відстані між точкою  $2$  і деякою проміжною точкою, отриманою в процесі роботи алгоритму мінімізації, визначають коефіцієнт  $d_2$ ,  $f_2$  та величину криволінійної координати  $v_2$ .

*Крок 3.* Забезпечення проходження ділянки поверхні через точку  $3$ . Для цього необхідно знайти чотири коефіцієнти  $d_1$ ,  $e_1$  і  $c_2$ ,  $e_2$ ,

які поки що залишаються невідомими. Задача мінімізації розв'язується із застосуванням алгоритму Хука-Дживса [7].

Аксонетрична проекція змодельованої ділянки поверхні показана на рис. 2. Вона є скриншотом зображення, отриманого в результаті проведення розрахунків за допомогою спеціально розробленого комп'ютерного коду.

Більш реалістичне зображення аксонетричної проекції змодельованої поверхні наведено на рис. 3, яке отримано в середовищі Wolfram Mathematica більш потужного програмного середовища, з яким, зрозуміло, важко конкурувати.

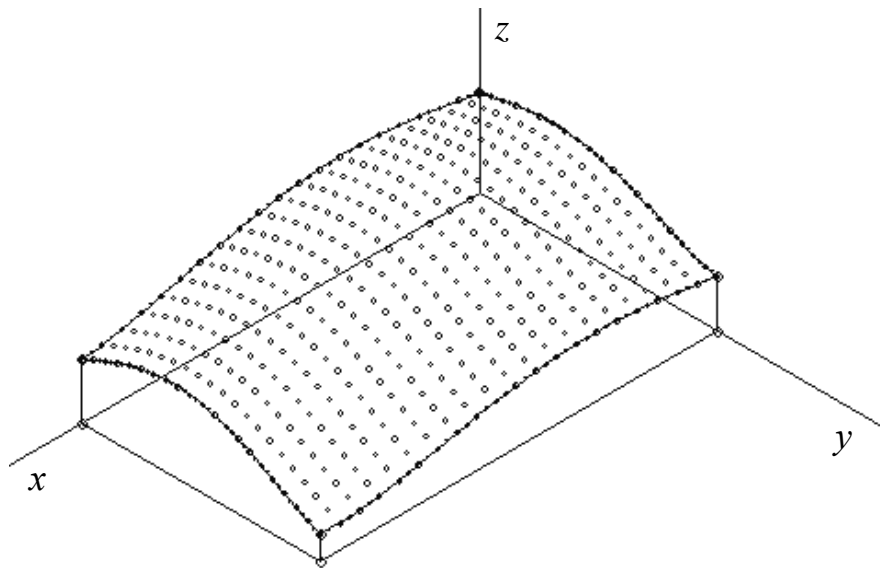


Рис. 2. Аксонетрична проекція змодельованої поверхні

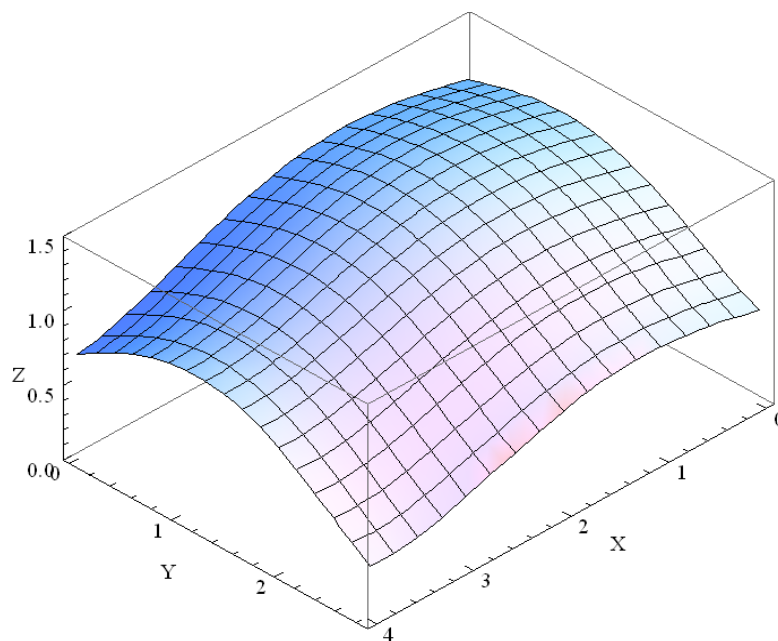


Рис. 3. Аксонетрична проекція ділянки поверхні в середовищі Wolfram Mathematica



*Висновки.* Запропонований метод геометричного моделювання поверхонь у натуральній параметризації із застосуванням алгебраїчних (другого степеня) законів розподілу кривини вздовж головних напрямів дозволяє забезпечити проходження поверхні через чотири базові точки та задані в них кути нахилу дотичних у напрямідвох координатних осей. Розроблений програмний код і проведені розрахунки підтвердили працездатність запропонованого методу. Подальші дослідження з геометричного моделювання поверхонь з заданими законами розподілу кривини вздовж головних їх напрямів мають бути спрямовані на розв'язання практичних питань, пов'язаних з описом складних поверхонь лопаток осьових турбін і компресорів, а також зовнішньої поверхні корпусу судна.

### *Література*

1. *Борисенко В.Д.* Алгоритм побудови поверхонь із заданими законами розподілу кривини /В.Д.Борисенко, С.А.Устенко, О.Ю.Агарков // Збірник праць XII Міжнародної науково-практичної конференції "Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем". ТАAPSD'2015. – Київ, 2015. – С. 8 – 15.
2. *Борисенко В.Д.* Складені поверхні з лінійними законами розподілу кривини /В.Д.Борисенко, С.А.Устенко, О.Ю.Агарков // Збірник праць XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем". ТАAPSD'2016. – Київ, 2016. – С. 30 – 34.
3. *Борисенко В.Д.* Моделювання поверхонь із заданими кутами нахилу дотичних до головних напрямів в їх кінцевих точках /В.Д.Борисенко, С.А.Устенко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 88. – С. 88–93.
4. *Иванов Г.С.* Конструирование технических поверхностей /Г.С.Иванов// – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.
5. *Пилипака С.Ф.* Конструювання поверхонь та їх неперервне згинання в кінцеві форми на основі управління натуральними параметрами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 "Прикладна геометрія, інженерна графіка" / Сергій Федорович Пилипака; КНУБА. – К., 2000. – 35 с.
6. *Устенко С.А.* Геометрична теорія моделювання криволінійних форм лопаткових апаратів турбомашин з оптимізацією їх параметрів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 "Прикладна геометрія, інженерна графіка" / Сергій Анатолійович Устенко; КНУБА. – К., 2013. – 40 с.
7. *Hooke R., Jeeves T.A.* Direct search solution of numerical and statistical problems // Journal of the ACM. – 1961. – Vol. 8, No 2. – P. 212–229.



## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ЗАДАНЫМИ УГЛАМИ НАКЛОНА КАСАТЕЛЬНЫХ К ЕЕ ГЛАВНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ ВО ВСЕХ КОНЕЧНЫХ ТОЧКАХ**

Борисенко В. Д., Устенко А. С., Друзь Е. І.

### *Аннотация*

**Работа посвящена геометрическому моделированию поверхностей в натуральной параметризации с применением алгебраических (второго порядка) законов распределения кривизны вдоль главных направлений поверхностей. Коэффициенты законов распределения кривизны определяются численным методом оптимизации с обеспечением прохождения поверхности через четыре базовые точки и заданными в них углами наклона касательных в направлениях криволинейных координатных осей.**

## **MODELING OF SURFACE WITH SPECIFIED ANGLES OF INCLINATION TO ITS MAIN DIRECTIONS AT ALL END POINTS**

V. Borisenko, A. Ustenko, E. Druz

### *Summary*

**The paper is devoted to geometric modeling of surfaces in natural parametrization with the use of algebraic (second-order) laws of curvature distribution along the principal directions of surfaces. The coefficients of the laws of the distribution of curvature are determined by a numerical optimization method, ensuring that the surface passes through four base points and the slope angles of the tangents in the directions of the curvilinear coordinate axes.**

**By authors it is developed program and calculations which have proved work of the offered method are carried out. The subsequent researches of geometrical modelling of surfaces with the set laws of distribution of curvature along mainstreams of complex surfaces will be directed on decisions of practical problems of designing of complex surfaces.**



УДК 514.18

## МОДЕЛЬ ТА МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ НЕОПУКЛИМИ БАГАТОКУТНИКАМИ ЗАДАНОЇ ОБЛАСТІ З ДИСКРЕТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

**Комяк В.М., д.т.н.**

**Соболь О.М., д.т.н.**

**Кравців С.Я.**

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

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний  
інститут» (Україна, м. Харків)*

**Анотація** – в роботі розроблено загальну модель та метод оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами з метою розв’язання задачі мінімізації ризику для людини загинути внаслідок виникнення небезпечних подій. Досліджено особливості загальної моделі та надано геометричну інтерпретацію методу оптимального покриття.

**Ключові слова** – загальна модель, метод оптимального покриття, ризик, небезпечна подія.

*Постановка проблеми.* На теперішній час актуальною науково-прикладною проблемою є розробка ефективних моделей та методів оптимізаційного геометричного проектування для розв’язання важливих практичних задач. Прикладом зазначених задач є мінімізація ризику для людини загинути внаслідок небезпечних подій (природних та техногенних подій, пожеж тощо). Оскільки даний інтегральний ризик характеризує наслідки небезпечних подій, то одним із шляхів мінімізації його рівня є створення центрів безпеки у сільській місцевості. Даний підхід відповідає Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій [1], оскільки час реагування на небезпечні події у сільській місцевості може досягати 1 години. Разом з тим, задача створення центрів безпеки у сільській місцевості може бути зведеною до задачі оптимального покриття заданої області з дискретними елементами (населені пункти, об’єкти підвищеної небезпеки, потенційно небезпечні об’єкти) районами обслуговування центрів безпеки (неопуклі багатокутники).



Таким чином, розробка моделей та методів оптимізаційного покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами є актуальною та сприятиме розв'язанню наведеної вище проблеми.

*Аналіз попередніх досліджень.* Сучасні методи визначення інтегральних ризиків небезпечних подій наведені, наприклад, у роботах [2, 3]. У роботах [4, 5] проведено аналіз інтегральних пожежних ризиків на території України та здійснено групування адміністративно-територіальних одиниць відповідно до рівнів ризиків за допомогою кластерного аналізу. Математична модель управління інтегральним пожежним ризиком та її особливості наведені в [6]. Розробці моделей та методів оптимального покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками присвячено роботу [7], але в даному дослідженні не враховувалась необхідність покриття дискретних елементів зазначених областей.

*Формулювання цілей статті.* В даній роботі необхідно розробити модель та метод оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданих областей з дискретними елементами та дослідити особливості моделі та методу.

*Основна частина.* Оскільки розробка моделі та методу оптимального покриття необхідна для розв'язання важливої практичної задачі, а саме, мінімізації інтегрального ризику небезпечних подій, то в результаті проведеного кореляційно-регресійного аналізу було встановлено [6], що зазначений ризик залежить від таких факторів, як  $N$  – кількість небезпечних подій, що зафіксовані у відповідному регіоні;  $M_{заг}$  – кількість загиблих внаслідок небезпечних подій у відповідному регіоні;  $\tau_{сл}$  – час слідування оперативно-рятувальних підрозділів до місця виникнення надзвичайної ситуації (небезпечної події);  $\tau_{лок}$  – час локалізації небезпечної події;  $\tau_{лікв}$  – час ліквідації небезпечної події.

Було зроблено припущення, що час слідування оперативно-рятувальних підрозділів до місця виникнення небезпечної події та, як наслідок, час локалізації та ліквідації небезпечної події залежить від коефіцієнта покриття відповідної території (задана область з дискретними елементами) районами обслуговування оперативно-рятувальних підрозділів (центрів безпеки). Даний коефіцієнт обчислюється за допомогою такого виразу:

$$k_{\text{cover}} = \frac{S\left(\bigcup_{q=1}^{N_q} P_q\right)}{S(S_0)}, \quad (1)$$

де  $N_q$  – кількість існуючих оперативно-рятувальних підрозділів;  
 $P_q$  – район обслуговування  $q$ -го підрозділу;  $S_0$  – область покриття;  
 $S(\cdot)$  – функція обчислення площі відповідного геометричного об'єкта.

На рис. 1 наведено залежність часу реагування на небезпечну подію від коефіцієнта покриття для Харківської області, а також обчислено коефіцієнт кореляції та побудовано лінію тренда за допомогою метода найменших квадратів. Для проведення дослідження було розроблено програмне забезпечення у середовищі IntelliJ IDEA з використанням бібліотеки JavaFX.

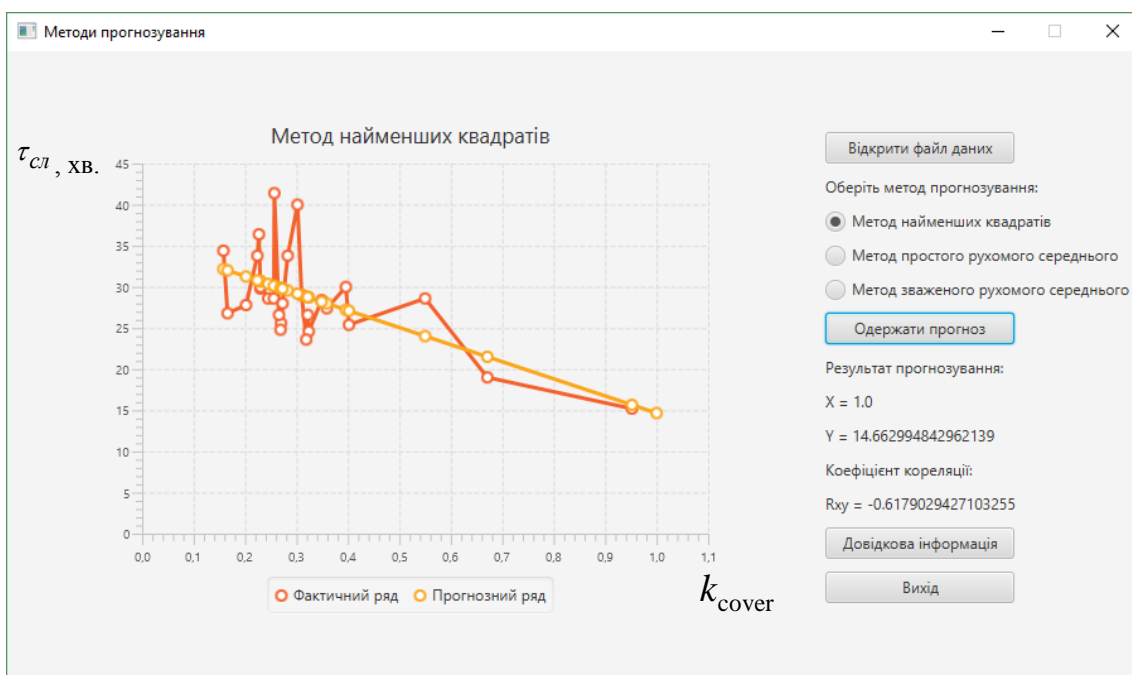


Рис. 1. Залежність часу реагування на небезпечну подію від коефіцієнта покриття для Харківської області

Таким чином, можна зробити висновок про наявність зв'язку між факторами, у зв'язку з чим виникає така задача.

Нехай задано область  $S_0$  у вигляді багатокутника у глобальній системі координат. Область  $S_0$  має дискретні елементи  $V_k$ ,  $k = 1, \dots, N_k$ , що являють собою населені пункти, в яких є припустимим створення центрів безпеки відповідно до [8]. Об'єкти підвищеної небезпеки та потенційно небезпечні об'єкти, що належать заданій області, позначимо через  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ .

Необхідно мінімізувати інтегральний ризик небезпечних подій в області  $S_0$  за рахунок визначення раціональної кількості центрів





безпеки з районами обслуговування  $P_i$ ,  $i=1, \dots, N$  (дані райони являють собою неопуклі багатокутники зі змінними метричними характеристиками), при цьому мають виконуватись такі обмеження :

- мінімум площі перетину районів обслуговування центрів безпеки;
- належність районів обслуговування центрів безпеки області  $S_0$ ;
- мінімум площі перетину районів обслуговування центрів безпеки з областями заборони  $L_\xi$ ,  $\xi=1, \dots, L$ ;
- належність об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) та потенційно небезпечних об'єктів (ПНО)  $S_d$ ,  $d=1, \dots, D$ , районам обслуговування центрів безпеки;
- час прибуття оперативно-рятувальних підрозділів до найвіддаленішої точки району виїзду  $P_i$ ,  $i=1, \dots, N$ , має не перевищувати заданого  $T^*$  (відповідно до [9]);
- розміщення центрів безпеки здійснюється в населених пунктах  $V_k$ ,  $k=1, \dots, N_k$ .

Загальна модель оптимального покриття заданої області з дискретними елементами має такий вигляд:

$$\min_{u \in W} R(N, M_{заг}, \tau_{сл}, \tau_{лок}, \tau_{лікв}, u); u = \{m_i; v_i\}; i = 1, \dots, N; \quad (2)$$

$$N \rightarrow \min;$$

де  $W$  :

$$\omega(m_i, m_j, v_i, v_j) \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, N; j = i + 1, \dots, N;$$

$$\omega(m_i, m_{cS_0}, v_i, v_{cS_0}) \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$i = 1, \dots, N; S_0 \cup cS_0 = R^2;$$

$$\omega(m_i, m_\xi, v_i, v_\xi) \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$i = 1, \dots, N; \xi = 1, \dots, L;$$

$$S_d \in \{P_i\}; d = 1, \dots, D; i = 1, \dots, N; \quad (6)$$

$$\tau_{сл}(P_i) \leq T^*; i = 1, \dots, N; \quad (7)$$

$$u = \{m_i; v_i\} \in \{V_k\}; V_k \in \{P_i\}; i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, N_k. \quad (8)$$



В моделі (2)÷(8) вираз (2) являє собою цільову функцію задачі, при цьому  $m_i$  – метричні характеристики об'єктів  $P_i$ ,  $i=1, \dots, N$  (наприклад, координати вершин багатокутників в локальній системі координат),  $v_i$  – параметри розміщення об'єктів  $P_i$  (положення локальної системи координат  $i$ -го об'єкта в глобальній системі координат); вираз (3) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів  $P_i$  та  $P_j$ ; вираз (4) – умова мінімуму перетину об'єктів  $P_i$  з доповненням області  $S_0$  до евклідового простору  $R^2$ ; вираз (5) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів  $P_i$  з областями заборони  $L_\xi$ ,  $\xi=1, \dots, L$ ; вираз (6) – умова належності об'єктів  $S_d$ ,  $d=1, \dots, D$ , районам обслуговування центрів безпеки  $P_i$ ; вираз (7) – умова щодо припустимого часу прибуття оперативно-рятувальних підрозділів до місця виклику; вираз (8) – умова належності центрів безпеки населеним пунктам  $V_k$ ,  $k=1, \dots, N_k$ .

Загальна модель (2)÷(8) має такі особливості:

1. При врахуванні місць розташування існуючих оперативно-рятувальних підрозділів до загальної моделі необхідно додати таке обмеження:

$$\omega(m_i, m_q, v_i, v_q) \rightarrow \min; \quad (9)$$
$$i=1, \dots, N; q=1, \dots, N_q;$$

де  $N_q$  – кількість існуючих оперативно-рятувальних підрозділів.

2. Якщо задача оптимізації покриття розв'язується з урахуванням обмежених ресурсів, то до загальної моделі необхідно додати такий вираз:

$$Q_{рес}(N) \leq Q_{рес}^*. \quad (10)$$

Розглянемо метод оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами. Якщо модель покриття має вигляд (2)÷(8), то зазначений метод складається з таких способів.

Спосіб 1. Враховується обмеження, що центри безпеки мають обов'язково створюватись в населених пунктах, в яких (поруч з якими) знаходяться об'єкти  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ .

В такому випадку, райони обслуговування центрів безпеки будуть мати вигляд, наведений на рис. 2, причому границі даних районів (штрихові лінії) визначаються виходячи з обмеження (7).

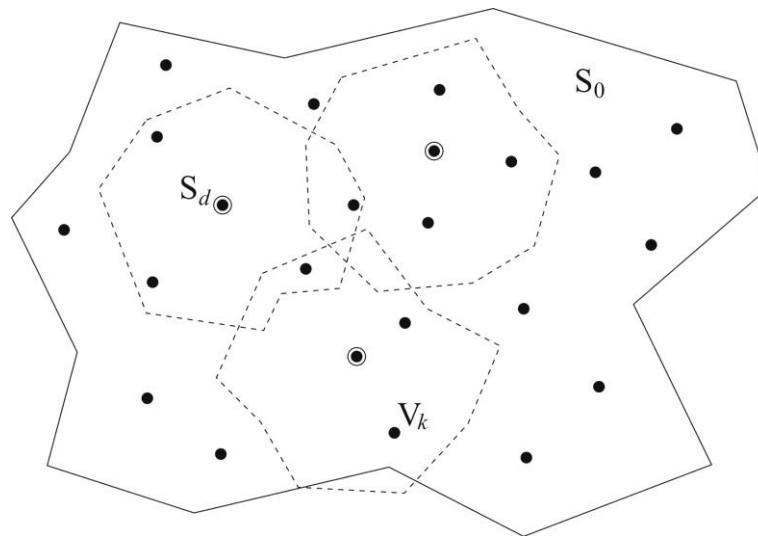


Рис. 2. Райони обслуговування центрів безпеки, які розміщуються в населених пунктах з об'єктами  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$

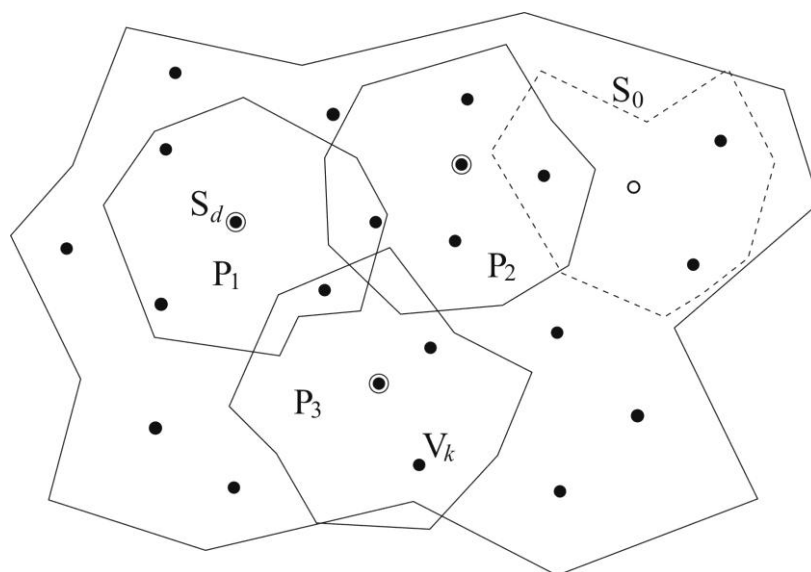


Рис. 3. Визначення місця розташування наступного центру безпеки

Для визначення місця розташування наступного центру безпеки (рис. 3, штрихова лінія) необхідно виконати такі дії:

– здійснити перебір припустимих місць розташування центрів безпеки  $V_k$ ,  $k = 1, \dots, N_k$  (місця, в яких вже розташовані центри, вилучаються з відповідної множини);

– сформуванати множину місць розташування центрів безпеки, які забезпечують покриття населених пунктів, що не входять до районів обслуговуванні існуючих центрів, з найбільшою сумарною кількістю населення;

– при визначенні місця розташування центру безпеки пріоритет надається випадку, коли району обслуговування буде належати об'єкт  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ .

Приклад покриття заданої області за допомогою способу 1 наведено на рис. 4. Завершується розв'язання задачі за умови виконання обмежень (3)÷(8).

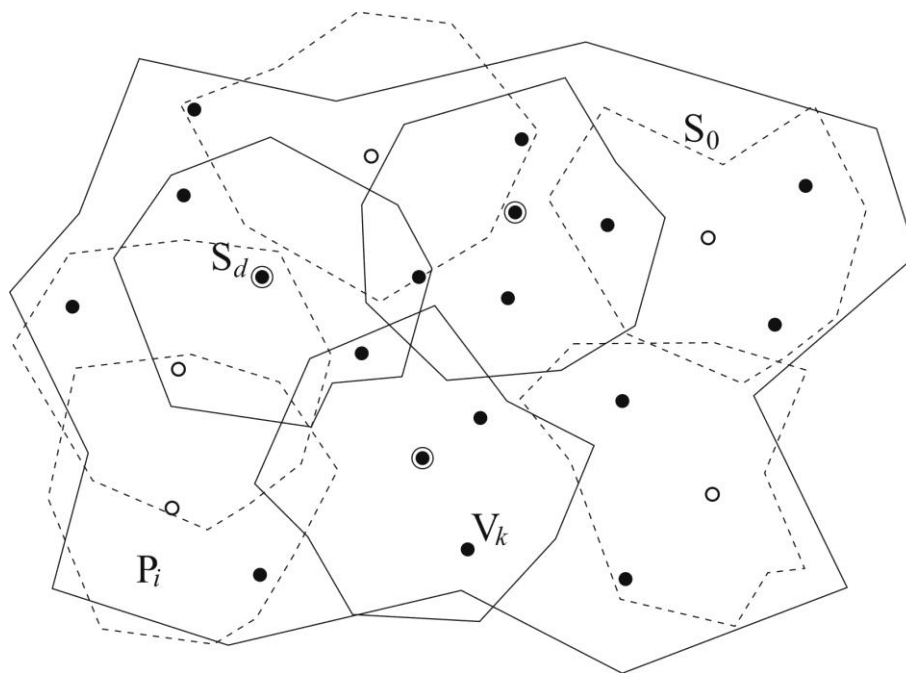


Рис. 4. Покриття заданої області за допомогою способу 1

*Спосіб 2.* Даний спосіб полягає в тому, що один центр безпеки має здійснювати обслуговування максимальної кількості об'єктів  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ .

Тоді, перш за все, необхідно побудувати область  $\bigcap_{d=1}^D P'_d$  (рис. 5), де об'єкти  $P'_d$  визначаються за допомогою обмеження (7).

Наступний крок – перебір об'єктів  $V_k$ ,  $k=1, \dots, N_k$  (рис. 6), що належать області  $\bigcap_{d=1}^D P'_d$ . Пріоритет для розміщення центру безпеки надається випадку, коли:

- здійснюється покриття найбільшої кількості об'єктів  $S_d$ ,  $d=1, \dots, D$ ;
- здійснюється покриття населених пунктів з найбільшою сумарною кількістю населення.

Наступне місце розташування центру безпеки обирається виходячи з умови (6) та дій, що відповідають способу 1.

Після виконання обмеження (6) принципи розміщення центрів безпеки співпадають зі способом 1.

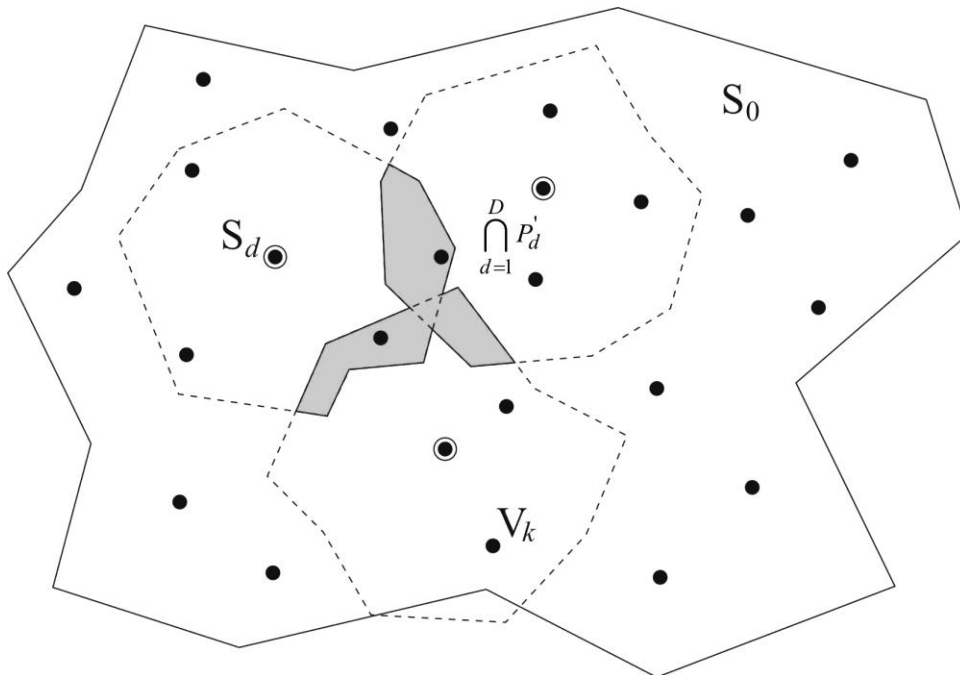


Рис. 5. Визначення області  $\bigcap_{d=1}^D P'_d$

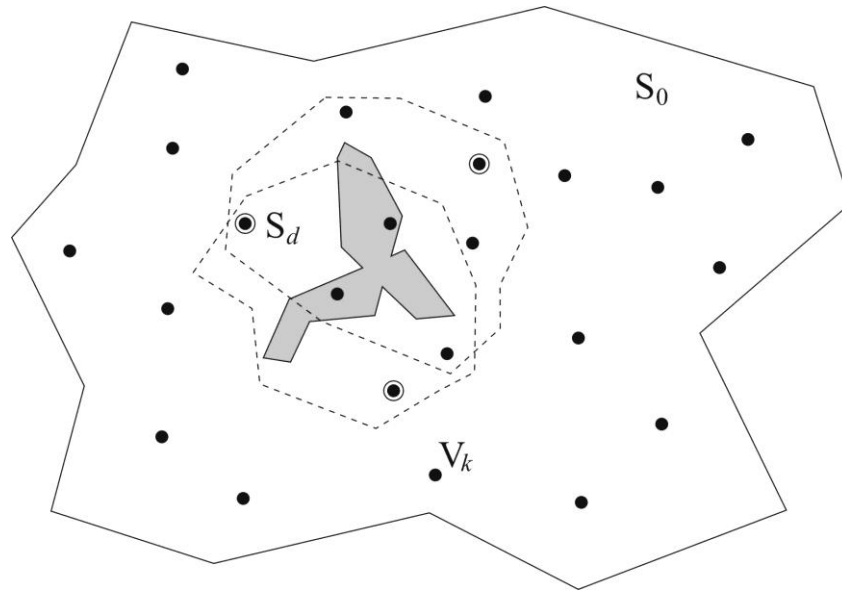


Рис. 6. Вибір припустимого місця розташування центру безпеки

Слід відзначити, якщо  $\bigcap_{d=1}^D P_d' = \emptyset$ , то спосіб 2 буде зведено до способу 1.

На рис. 7 наведено приклад покриття заданої області районами обслуговування центрів безпеки за допомогою способу 2.

Таким чином, задача оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами відноситься до класу задач комбінаторної оптимізації.

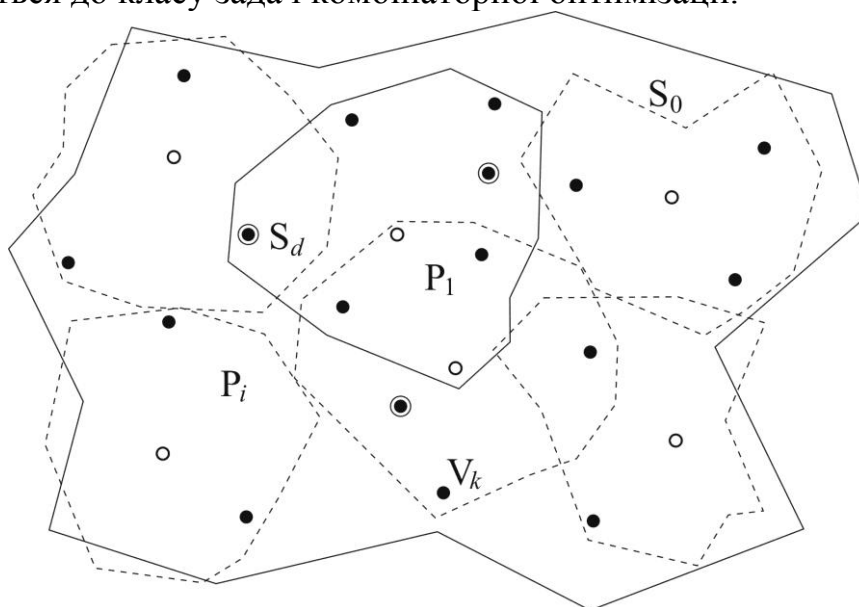


Рис. 7. Покриття заданої області за допомогою способу 2



При врахуванні місць розташування існуючих оперативно-рятувальних підрозділів  $P_q$ ,  $q=1, \dots, N_q$ , із множини точок  $V_k$ ,  $k=1, \dots, N_k$ , вилучаються ті, в яких вже розміщені зазначені підрозділи. Далі для розв'язання задачі оптимального покриття застосовується один з наведених вище способів.

Якщо задача (2)÷(8) або (2)÷(9) розв'язується з урахуванням обмеження (10), то умова  $V_k \in \{P_i\}$ ;  $i=1, \dots, N$ ;  $k=1, \dots, N_k$ , вилучається з моделі, при цьому визначається кількість центрів безпеки  $N_{рес}$ , що відповідає наявним ресурсам  $Q_{рес}^*$ . Далі здійснюється покриття заданої області за допомогою розробленого методу.

Таким чином, розроблені загальна модель та метод дозволять збільшити коефіцієнт покриття заданої області районами обслуговування центрів безпеки, що призведе до зниження інтегрального ризику для людини загинути внаслідок виникнення небезпечної події.

*Висновки.* В даній роботі розроблено загальну модель та метод оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами. Для обґрунтування актуальності створення загальної моделі та методу був проведений кореляційно-регресійний аналіз, який дозволив встановити зв'язок між коефіцієнтом покриття заданої області районами обслуговування центрів безпеки та часом реагування оперативних підрозділів на небезпечну подію. В свою чергу, час реагування впливає на рівень інтегрального ризику для людини загинути внаслідок виникнення небезпечної події, причому даний ризик є цільовою функцією загальної моделі.

Було досліджено особливості загальної моделі оптимального покриття для таких випадків, як врахування місць розташування існуючих оперативно-рятувальних підрозділів, а також врахування обмежених ресурсів на створення центрів безпеки. Розроблений метод оптимального покриття складається з двох способів, яким в роботі надано геометричну інтерпретацію. Розроблені загальна модель та метод дозволять збільшити коефіцієнт покриття заданої області районами обслуговування центрів безпеки, що призведе до зниження інтегрального ризику для людини загинути внаслідок виникнення небезпечної події. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення оцінки складності створеного методу, а також на розробку алгоритмічного та програмного забезпечення методу оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами.

*Література*

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.01.2017 р. №61-р «Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-p>.
2. Основы теории пожарных рисков и ее приложения [Текст]: монографія / [Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.А. Клепко и др.]. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 192 с.
3. Risk Management Practices in the Fire Service [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://apps.usfa.fema.gov/publications/display?id=1071>.
4. *Kravtsiv S.Ya.* . The analysis of integral risks of the territory of Ukraine /S.Ya.Kravtsiv, O.M.Sobol, A.V.Maksimov // Проблеми надзвичайних ситуацій: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23. – С. 53-60. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Kravtsiv.pdf>.
5. *Кравців С.Я.* Групування адміністративно-територіальних одиниць України по рівню інтегрального пожежного ризику за допомогою кластерного аналізу /С.Я.Кравців, О.М.Соболь // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – Вип. 26. – С. 79-86.
6. *Соболь О.М.* Математична модель управління інтегральним пожежним ризиком та її особливості /О.М.Соболь, С.Я.Кравців // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – № 3(62). – Т. 2. – С. 317-321.
7. *Комяк В.М.* Оптимізація покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками /В.М. Комяк, О.М.Соболь, А.А.Лісняк, В.О.Собина // Монографія. – Х.: НУЦЗУ, 2013.– 124 с.
8. ДБН 360-92\*\*. Містобудування планування і забудова міських і сільських поселень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://dnaop.com/html/29810/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D\\_360-92\\_\\_](https://dnaop.com/html/29810/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_360-92__).
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.11.2013 р. №874 «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-%D0%BF#n10>.





## **МОДЕЛЬ И МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ НЕВЫПУКЛЫМИ МНОГОУГОЛЬНИКАМИ ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ С ДИСКРЕТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

**В.М. Комяк, А.Н.Соболь, С.Я. Кравцив**

### *Аннотация*

**В работе разработана общая модель и метод оптимального покрытия невыпуклыми многоугольниками заданной области с дискретными элементами с целью решения задачи минимизации риска для человека погибнуть вследствие возникновения опасных событий. Исследованы особенности общей модели и дана геометрическая интерпретация методу оптимального покрытия.**

## **MODEL AND METHOD OF OPTIMAL COVERAGE BY NON- CONVEX POLYGONS OF A GIVEN AREA WITH DISCRETE ELEMENTS**

**V. Komyak, A. Sobol, S. Kravtsiv**

### *Summary*

**In this paper a general model and method of optimal coverage of non-convex polygons of a given region with discrete elements are developed. To substantiate the relevance of creating the general model and method, a correlation-regression analysis was conducted, which allowed establishing a connection between the coverage factor of a given area by security centers and the time when the rescue units responded to a dangerous event. In turn, the response time affects the level of integral risk for a person to die due to the occurrence of a dangerous event, and this risk is the target function of the general model.**

**The features of the general model of optimal coverage were studied for such cases as taking into account the locations of existing rescue units, as well as taking into account the limited resources for the establishment of security centers. The developed method of optimal coverage consists of two methods, which are given a geometric interpretation in the work. The developed general model and method will allow increasing the coverage ratio of a given area by security centers, which will reduce the integral risk for a person to die due to the occurrence of a dangerous event. Further research will be aimed for determining the estimation of the complexity of the created method and development of algorithm and software for optimal coverage by non-convex polygons of a given region with discrete elements.**



УДК 514.18

## ВЫБОР ТОЧКИ ЗРЕНИЯ, КАРТИННОЙ ПЛОСКОСТИ И ЦЕНТРА ПРОЕЦИРОВАНИЯ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЁХМЕРНОЙ СЦЕНЫ

Ницын А.Ю., д.т.н.

Національний технічний університет «ХПІ»,  
Тел. (057) 707-64-31

**Аннотация** – Рассмотрен выбор главных элементов построения перспективы. Приведены доказательства утверждений о том, что для построения перспективы, близкой зрительному восприятию, точка зрения должна находиться в главной точке картины, изображаемый предмет – в пределах угла нормального видения с вершиной в точке зрения, а центр проецирования должен располагаться в точке, удалённой от картинной плоскости на расстояние, вчетверо превышающее высоту точки зрения.

**Ключевые слова:** зрительное восприятие, линейная перспектива, главные элементы построения перспективы.

*Постановка проблемы.* Несмотря на то, что линейная перспектива в течение более 600 лет является теоретической основой для создания рисунков, близких зрительному восприятию, выбор точки зрения, картинной плоскости и центра проецирования до сих пор остаются не до конца решенными задачами в теории перспективы.

*Анализ последних исследований.* По нашему мнению, приведенные в литературе рекомендации по выбору расстояния от центра проецирования до картинной плоскости не в полной мере обеспечивают передачу глубины пространства, близкую зрительному восприятию [1, 2]. Например, в учебнике А. Г. Климухина можно прочесть, что положение центра проецирования надо выбирать таким образом, чтобы геометрический объект был виден из точки зрения под углом не более  $40^\circ$ , а главная точка картины отклонялась от середины изображения не более чем на  $1/3$  его ширины. Замечательно, что эти ограничения вводятся для того, чтобы избежать перспективных искажений, которые появляются на периферийных участках изображения при наблюдении геометрического объекта под углом зрения, превышающим  $40^\circ$  [1]. Обратим внимание, что о положении



картинной плоскости здесь не говорится ни полслова, то есть можно сделать вывод о том, что её можно провести через какую угодно точку между предметом и центром проецирования. Это объясняется тем, что «...при параллельном перемещении картины по главному лучу меняется только размер (больше или меньше), а форма изображения сохраняет подобие» [1, с. 223]. Однако соотношение между размерами центральной проекции предмета и высотой точки зрения влияет на композицию его изображения и, что самое главное, отражается на достоверности, с которой перспектива передаёт глубину пространства на плоскости картины. Поэтому, на наш взгляд, положение картинной плоскости должно быть выбрано таким образом, чтобы обеспечить как соблюдение законов композиции изображения, так и достоверность передачи глубины пространства на плоскости картины.

*Формулирование целей статьи.* Таким образом, целью работы является выработка рекомендаций по выбору точки зрения, картинной плоскости и центра проецирования, которые обеспечивали бы большее соответствие зрительному восприятию, чем правила, изложенные в известных трудах по начертательной геометрии.

*Основная часть.* Филиппо Брунеллески был первым, кто представил перспективу как сечение плоскостью «зрительной пирамиды», состоящей из лучей, проведенных из глаза художника в точки изображаемого предмета. Отсюда следует, что, если глаз художника назвать «точкой зрения», а точку, откуда исходят лучи, – «центром проецирования», в модели зрительного восприятия, предложенной Филиппо Брунеллески, точка зрения и центр проецирования – это, по существу, одно и то же понятие. Вместе с тем реконструкция главных элементов построения перспективы в полиптихе Святого Антония кисти Пьеро делла Франческа и в фреске Мазаччо «Троица» показала, что если разделить понятия «точки зрения» и «центра проецирования» и точку зрения поместить в главную точку картины, то получится перспектива, более близкая зрительному восприятию, чем перспектива, полученная при совмещении точки зрения и центра проецирования [3, 4].

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно сформулировать следующие правила построения перспективы, более близкой зрительному восприятию, чем перспектива, построенная по правилам, изложенным в трудах мастеров эпохи Возрождения:

(1) перед тем как приступить к выполнению перспективы, расположите точку зрения, представляющую глаз художника, в главной точке картины  $P$ ;

(2) удалите от картинной плоскости предмет или группу предметов, подлежащих изображению, на расстояние, при котором стороны угла зрения, с вершиной в главной точке картины  $P$  и

равного  $28^{\circ}4'$ , были бы касательными к очерку их горизонтальной проекции.

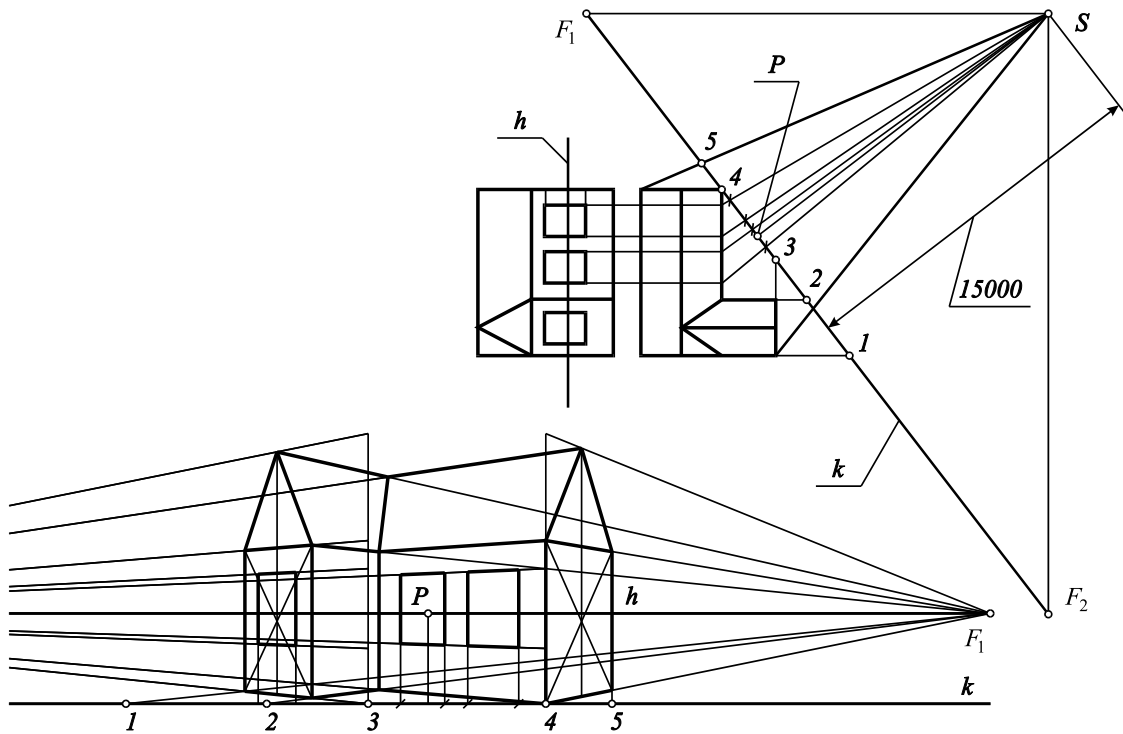


Рис. 1. Перспектива геометрического объекта при расположении точки зрения в центре проецирования  $S$

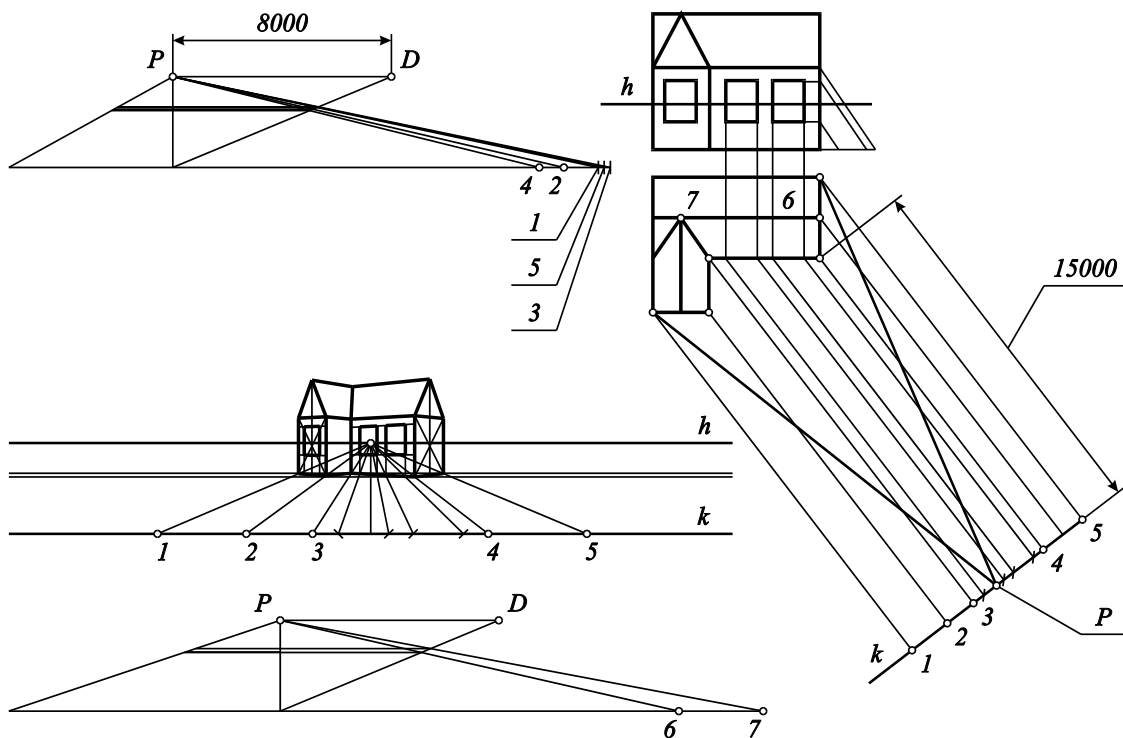


Рис. 2. Перспектива геометрического объекта при расположении точки зрения в главной точке картины  $P$

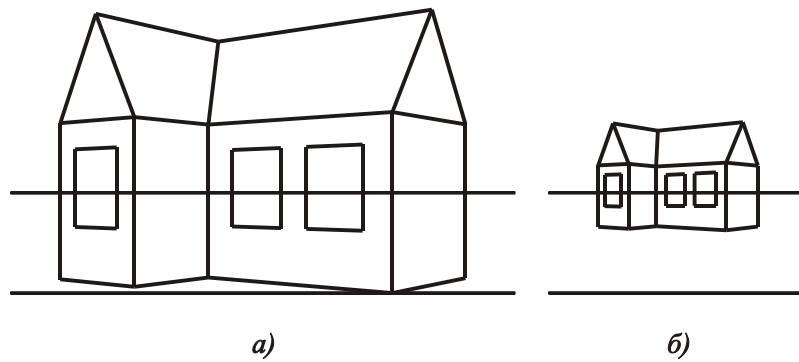


Рис. 3. Перспективы объекта, удаленного от зрителя на одно и то же расстояние, при расположении точки зрения: а) в центре проецирования  $S$ ; б) в главной точке картины  $P$

Благодаря тому, что мы разделили понятия «точки зрения» и «центра проецирования» и положение изображаемого предмета связали с точкой зрения, в выборе центра проецирования у нас появляется свобода действий. Воспользуемся ею для того, чтобы решить задачу о выборе положения центра проецирования в связи с изменением высоты точки зрения. Обратим внимание, что если мы выполним перспективы трехмерной сцены при разных высотах точки зрения и постоянстве расстояния от центра проецирования до картинной плоскости, то увидим, что с увеличением высоты точки зрения размеры центральных проекций отрезков прямых линий, перпендикулярных картинной плоскости, увеличиваются, а центральная проекция предмета устремляется к линии горизонта. Между тем если мы представим, что сидим в корзине воздушного шара, поднимающегося к облакам, и бросим взгляд на землю, то увидим, что с подъёмом на высоту предметы, расположенные на земле, удаляются от линии горизонта, а их длина уменьшается. Отсюда следует, что известные способы построения перспективы с низкой или высокой точек зрения, в том числе и перспектива на наклонной плоскости, противоречат опыту зрительного восприятия.

Однако реставрация главных элементов построения перспективы в полиптихе Святого Антония кисти Пьеро делла Франческа и на фреске Мазаччо «Троица» подала нам мысль о формулировке следующего правила построения перспективы, более близкой зрительному восприятию, чем перспектива, построенная по правилам, изложенным в известных трудах по теории перспективы:

(3) чтобы перспектива лучше передавала глубину пространства, расположите центр проецирования в точке, удалённой от картинной плоскости на расстояние, вчетверо превышающее высоту точки зрения.

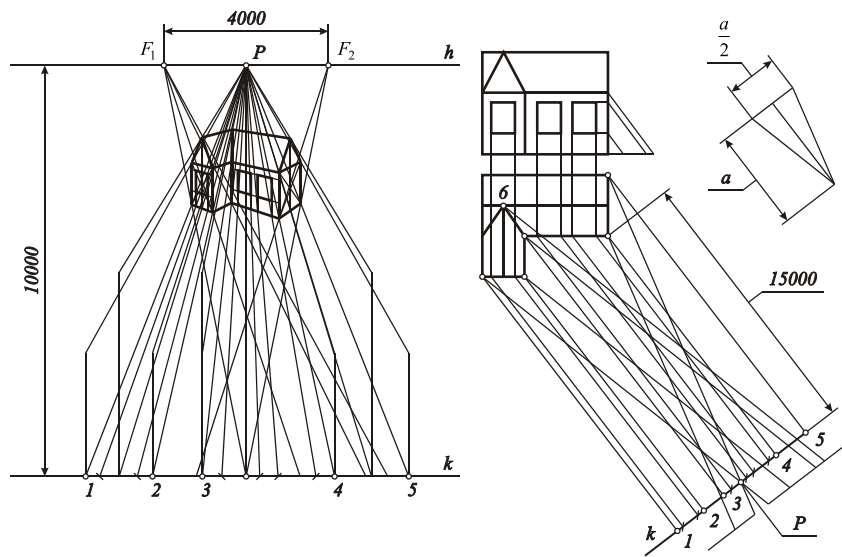


Рис. 4. Перспектива геометрического объекта при условии, что расстояние от центра проецирования до картинной плоскости не зависит от высоты точки зрения

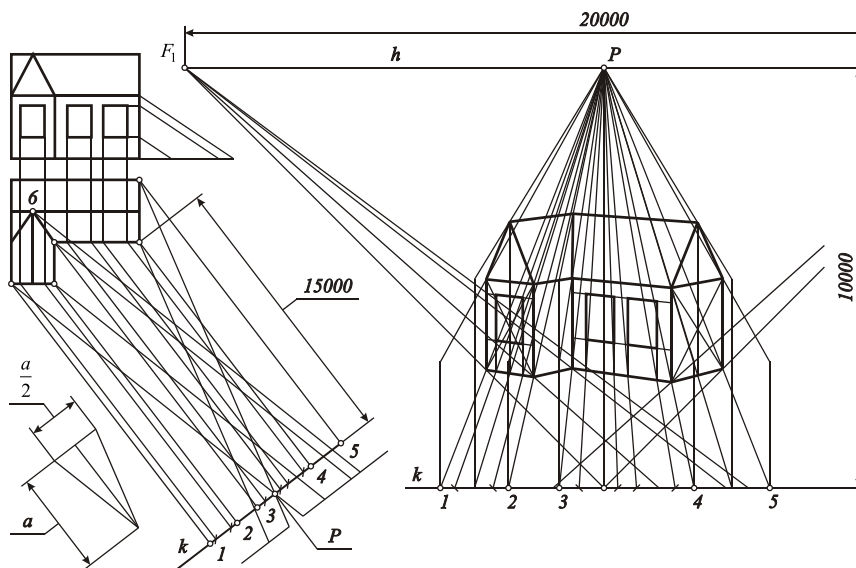


Рис. 5. Перспектива геометрического объекта при условии, что расстояние от центра проецирования до картинной плоскости больше высоты точки зрения в 4 раза

Заметим, что для доказательства утверждений мы сравнивали перспективы, построенные по предложенным нами правилам, с перспективами, построенными по правилам, изложенным в известных трудах по начертательной геометрии. Как показывают рис. 3 и рис. 6, перспективы, приведенные в их правых частях, больше отвечают зрительному восприятию, чем перспективы, приведенные в их левых частях.

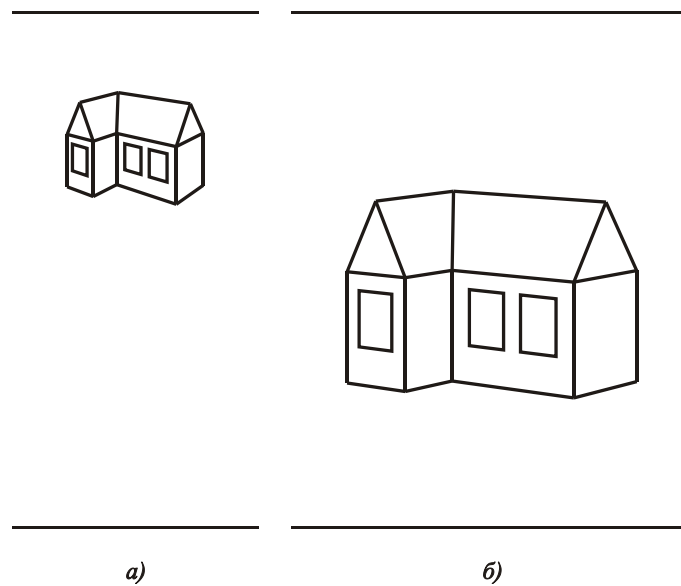


Рис. 6. Перспективы объекта при условии, что расстояние от центра проецирования до картинной плоскости: а) не зависит от высоты точки зрения; б) больше высоты точки зрения в 4 раза

*Выводы.* Таким образом, нами предложены три правила выбора главных элементов построения перспективы: правило выбора точки зрения, правило выбора положения изображаемого предмета по отношению к картинной плоскости и правило выбора расстояния от центра проецирования до картинной плоскости. Показано, что применение этих правил обеспечивает построение перспективы, более близкой зрительному восприятию, чем перспектива, построенная по правилам, изложенным в известных трудах по начертательной геометрии.

*Литература:*

1. Климухин А. Г. Начертательная геометрия / А. Г. Климухин. – М. : Стройиздат, 1978. – 334 с.
2. Петерсон В. Е. Перспектива / В. Е. Петерсон. – М. : Искусство, 1970. – 182 с.
3. Ницын А. Ю. Реконструкция аппарата центрального проецирования в полиптихе Святого Антония кисти Пьеро делла Франческа / А. Ю. Ницын // Технічна естетика і дизайн. – К. : Віпол, 2013. – Вип. 12. – С.148–162.
4. Ницын А. Ю. Реставрация главных элементов построения перспективы на фреске «Троица» кисти Мазаччо / А. Ю. Ницын // Теорія та практика дизайну. – К. : Вид-во «Дія», 2014. – Вип. 6. Технічна естетика. – С. 127–138.



## **ВИБІР ТОЧКИ ЗОРУ, КАРТИННОЇ ПЛОЩИНИ І ЦЕНТРУ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНОЇ СЦЕНИ**

Ніцин О.Ю.

### *Анотація*

**Розглянуто вибір головних елементів побудови перспективи. Наведено доведення тверджень про те, що для побудови перспективи, близької зоровому сприйняттю, точка зору повинна знаходитися в головній точці картини, предмет, що зображується, – в межах кута нормального бачення з вершиною в точці зору, а центр проектування повинен розташовуватися в точці, віддаленій від картинної площини на відстань, що вчетверо перевищує висоту точки зору.**

## **THE CHOICE OF VIEW POINT, PICTURE PLANE AND CENTER OF PROJECTION FOR VISUALIZATION OF THE THREE- DIMENSIONAL STAGE**

A. Nitsyn

### *Summary*

**The choice of main elements of construction of perspective is considered. Demonstrations of assertions that for the construction of perspective, closed to the visual perception, a point of view must be in the main point of picture, represented object – within the limits of angle of normal vision with a vertex in the point of view and the center of projection must lie in a point, remote from a picture plane on distance, fourfold exceeding the height of point of view, are furnished.**

**In work three rules of a choice of the main elements of construction of prospect are offered: a rule of a choice of the point of view, a rule of a choice of position of a represented subject in relation to a picture plane and a rule of a choice of distance from the center of displaying up to a picture plane.**

**It is shown, that application of these rules is provided with construction of the prospect closer to visual perception, than the prospect constructed by rules, stated in known works on descriptive geometry.**





УДК 658.512.2

## ОБЛАШТУВАННЯ ПОЖЕЖНОЇ ЧАСТИНИ ДОБРОВІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНОЇ ОХОРОНИ В ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАДАХ

Небелюк В.І.,

Мартин Є. В., д.т.н.

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

*Анотація* – у роботі приведені обґрунтовані та розроблені заходи з технічної естетики для обладнання та результативної діяльності добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах з урахуванням особливостей їх функціонування. Проведено аналіз густини розміщення пожежних частин оперативно-рятувальних підрозділів державної служби надзвичайних ситуацій та часу їх прибуття до місця виклику в сільській місцевості. Запропоновано організацію добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах. Розроблений і запропонований ряд заходів з технічної естетики для облаштування і ефективного функціонування пожежної частини добровільної пожежної охорони.

*Ключові слова:* технічна естетика, об'єднана територіальна громада, рятувальник.

*Постановка проблеми.* Пожежні частини оперативно-рятувальних підрозділів державної служби надзвичайних ситуацій часто є значно віддаленими від місця виклику, або місце виклику знаходиться у важкодоступній місцевості. На прибуття до місця виклику втрачається багато часу, що призводить до збільшення матеріальних збитків.

*Аналіз останніх досліджень* свідчить, що розміщення державних пожежних частин не дозволяє за мінімальний час прибути до місця виклику, що знаходиться на значній відстані або в важкодоступних умовах [1].



У науковій розвідці [2] обґрунтовано доцільність організації добровільної пожежної охорони об'єднаних територіальних громад та спосіб їх облаштування, наведено приклади облаштування будівель пожежних частин та обладнання приміщень і спускових пристроїв у них відповідно до вимог технічної естетики [3, 4].

*Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.* Дослідження показали, що державні пожежні частини не завжди є раціонально розміщеними і специфіка їх розміщення не дозволяє ефективно виконувати завдання у віддаленій місцевості. Актуальною постає проблема організації власної добровільної пожежної охорони у віддалених, важкодоступних та ізольованих природними умовами населених пунктах. Важливим є питання облаштування будівлі пожежних частин добровільної пожежної охорони відповідно до вимог технічної естетики.

Маючи справу з облаштуванням будівлі добровільної пожежної охорони, особливо при переобладнанні існуючих будівель, важливо брати до уваги її функціональність, специфіку розміщення спеціальної техніки та наявність сусідніх об'єктів.

*Формування цілей статті.* Розроблення заходів технічної естетики для обладнання і результативного функціонування пожежних частин добровільної пожежної охорони об'єднаних територіальних громадах віддалених населених пунктів.

*Основна частина.* Потреба у створенні пожежних частин добровільної пожежної охорони визначається критичним станом пожежної безпеки як на території України, так і за кордоном особливо у віддалених районах. Проведені дослідження густини розміщення пожежних частин по території України на прикладі Львівської області, які показали, що одним з варіантів розв'язання проблеми є організація пожежних частин добровільної пожежної охорони. На території області за даними 2017 року розташовується 1928 населених пунктів, що входять до складу 20 районів та місто Львів, яке поділяється на 6 районів. У системі місцевого самоврядування області 20 районних рад. За даними Головного управління ДСНС Львівської області при управлінні функціонує 32 пожежні частини, 5 з яких на території обласного центру. Аналіз показує, що приблизно 1920 населених пунктів обслуговує лише 27 пожежних частин.

З даного дослідження можемо зробити висновок, що кількості пожежних частин недостатньо для забезпечення високого рівня пожежної безпеки, густина розміщення пожежних частин та відстань



між ними не дозволяє прибути до місця виклику не пізніше, ніж за 20 хвилин з моменту реєстрації виклику. Необхідно вживати додаткових заходів для забезпечення пожежної безпеки та залучати додаткові сили.

Для запобігання та боротьби з пожежами в місцевості, яка знаходиться на значній відстані або важкодоступна для оперативно-рятувальних підрозділів, рекомендуємо організувати добровільні пожежні дружини в об'єднаних територіальних громадах та деяких окремих селах, селищах міського типу та окремих підприємствах.

Місце розташування будівлі пожежної частини добровільної пожежної команди варто визначати, виходячи з того, що вона має розміщуватися ближче до центральної місцевості об'єднаної територіальної громади, якщо є така змога, від якої до кожного найвіддаленішого можливого місця виклику можна прибути вчасно. Якщо площа об'єднаної територіальної громади або умови її місцевості не дозволяють прибути за вказаний час, то в найвіддаленіших населених пунктах чи на потенційно небезпечних об'єктах територіальної громади доцільно створити окремі пожежні дружини, забезпечені первинними засобами пожежогасіння.

Усі необхідні приміщення добровільної пожежної частини можуть розміщуватися як в окремій будівлі, так і займати частину будівлі, що також має інше призначення. Наприклад, можна переобладнати зручну будівлю, яка пустує і є придатною за будівельними та санітарними нормами, таку як нефункціонуючі ферми, «будинки тваринника» колективних господарств, що досі залишилися майже у всіх селах та селищах і є придатними для переобладнання та використання. Також можливим є суміщення існуючих приміщень і обладнання необхідних в уже функціонуючих приміщеннях за умови наявності вільного місця, таких як будинок культури, відділення пошти, медичного пункту, тракторної бригади сільського господарства, складських приміщень тощо.

В будівлі колишньої ферми сільського господарства відповідно до вимог технічної естетики рекомендуємо такий порядок переобладнання:

1. В першу чергу провести дезінфекцію приміщення та дератизацію, для того, щоб знезаразити приміщення від мікроб та інфекцій, які могли залишитися ще з часів використання її за призначенням і позбутися гризунів, які можуть там жити;

2. Наступним кроком має стати знесення колишніх перегородок і вирівнювання підлог;
3. Замінити покрівлю криші за необхідності;
4. Встановити блискавкозахист;
5. Доцільно визначити межі приміщень, розрахувати їх площу відповідно до кількості людей, що будуть там перебувати, встановити перегородки, вікна та двері;
6. Встановити електропостачання, теплопостачання, вентиляцію, водопостачання та каналізацію;
7. Вирівняти та пофарбувати стіни та стелю;
8. Обладнати меблями, технікою та стелажами приміщення залежно від їх призначення;
9. Здійснити заземлення електрообладнання;
10. Розмістити стенди з правилами безпеки праці та роботи з обладнанням.

Перепланування будівлі з урахуванням результативності функціонування рекомендуємо здійснювати як показано на рис. 1.

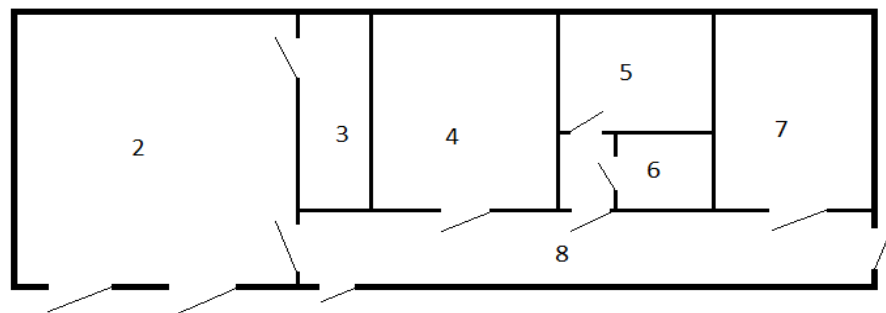


Рис. 1. Схема розміщення приміщень в будівлі переоснащеної ферми

де:

1. Водонапірна башта;
2. Гараж;
3. Диспетчерська;
4. Кімната відпочинку;
5. Душова;
6. Туалет;
7. Їдальня;
8. Загальний коридор.



Під гараж для розміщення пожежних автомобілів та необхідної протипожежної техніки, стелажів з обладнанням та спецодягом рекомендуємо відвести частину будівлі, яка знаходиться ближче до водонапірної башти. Далі з можливістю виходу в гараж доцільно обладнати довгий загальний коридор та диспетчерську. Усі інші приміщення далі необхідно робити з виходом в загальний коридор, щоб пожежник незалежно від місця перебування по сигналу тривоги міг дістатися до приміщення гаража, оминаючи мінімальну кількість перешкод. Одразу за диспетчерською краще облаштувати кімнату відпочинку, де особовий склад перебуватиме більшість вільного часу, і таке розміщення дозволить мінімізувати відстань та час прибуття до гаража. Наступним етапом слід розмістити приміщення душової кімнати та туалету. Приміщення їдальні варто розмістити в дальньому куті приміщення, оскільки особовий склад перебуватиме там найменше часу за зміну. Їдальня повинна вміщувати весь особовий склад, що перебуває на чергуванні, містити електроплиту та/або мікрохвильову піч для розігрівання їжі. Для зручності караульних доцільно розмістити також автомат для приготування кави.

Територія пожежної частини добровільної пожежної охорони має бути обов'язково озеленена, відповідно до будівельних норм та вимог технічної естетики. Виїзд пожежного автомобіля до воріт заборонено загороджувати сторонніми предметами та обладнанням. На території біля будівлі, поза зоною руху пожежного автомобіля, доцільно облаштувати стоянку особистих транспортних засобів пожежників. Рекомендуємо облаштувати місце не лише для паркування автомобілів, а й зручну територію під накриттям для стоянки мопедів, мотоциклів та велосипедів.

Найпоширенішим випадком організації роботи пожежної частини добровільної пожежної охорони може стати варіант, коли в підрозділах на місці постійно чергуватимуть лише диспетчер та водії пожежних автомобілів, а інші караульні знаходитимуться за місцем роботи або проживання. Рекомендуємо таке приміщення добровільної пожежної охорони сумістити в одній будівлі з іншими організаціями. Такий варіант облаштування приміщення добровільної пожежної частини є економічно найвигіднішим і простим у реалізації, тому доступний для кожної об'єднаної територіальної громади

незалежно від її розмірів та рівня розвитку і сприятиме ефективній роботі пожежників добровільної пожежної охорони.

Існують випадки, коли кімнату постійного чергування важко розмістити на першому поверсі. Тоді розміщення кімнати для чергування допустиме на другому або третьому поверсі за можливості забезпечення швидкого потрапляння водія в гараж. Рекомендуємо обладнати вихід одразу на сходи або облаштувати спусковий пристрій, що дозволить водіям одразу спускатися на вулицю або в гараж - спускову трубу.

Спускова труба (рис.2) дозволяє спуститись пожежнику з будь-якого поверху швидко і без зайвих навантажень на організм, оминаючи такі перешкоди як двері та сходи, що дозволяє зекономити час та зменшити ризик травмування під час руху особового складу приміщеннями будівлі.



Рис. 2. Спускова труба

Особовий склад підрозділів добровільної пожежної охорони повинен забезпечуватися робочим одягом. Форма, в якій особовий склад добровільної пожежної охорони здійснюватиме гасіння пожеж, має бути зручною для виконання завдань підрозділами добровільної пожежної охорони, тому повинна відповідати вимогам технічної



естетики. Доцільно використовувати сертифіковану робочу форму підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

*Висновки.* На особовий склад підрозділів добровільної пожежної охорони об'єднаних територіальних громад покладається завдання державної ваги, багато обов'язків і велика відповідальність. Для безпеки їх праці, зручності та психологічного комфорту необхідно організувати роботу підрозділів добровільної пожежної охорони відповідно до всіх правил безпеки та вимог технічної естетики, забезпечити усім необхідним, починаючи з обладнання та робочої форми аж до зручних функціональних приміщень, що відповідатимуть специфіці їх роботи, облаштування яких усебічно сприятиме роботі кожного караульного та підрозділів в цілому.

#### *Література*

1. Головне управління ДСНС України у Львівській області, Перелік підрозділів Львівської області підпорядкованих Головному управлінню ДСНС України у Львівській області.[Електронний ресурс] – Доступний з <http://lviv.dsns.gov.ua/ua/Pidporiyadkovani-pidrozdili.html>.
2. *Небелюк В.І.* Організація діяльності добровільної пожежної охорони відповідно до ергомічних вимог // В.І.Небелюк, // Науковий вісник ТДАТУ.Мелітополь: ТДАТУ, 2016.- Вип.6. Том 2 . С.78-87.
3. *Небелюк В.І.* Дослідження ергономічних чинників діяльності оперативно-рятувальних підрозділів / В.І.Небелюк, Є.В.Мартин // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності. Зб. тез доп. XII Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів.-Л.: ЛДУБЖД, 2017.- С.136-137.
4. *Небелюк В.І.* Облаштування спускових конструкцій у пожежних частинах / В.І.Небелюк, Є.В.Мартин // Зб. доп. VI Всеукр. наук.-практ.конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених».-К.: НТУУ «КПІ», 2017.- С.196-201.



## **ОБОРУДОВАНИЕ ПОЖАРНОЙ ЧАСТИ ДОБРОВОЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ОБЪЕДИНЕННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБЩЕСТВ**

В.И.Небелюк, Е.В.Мартын

### *Аннотация*

**В работе приведены обоснованные и разработанные мероприятия по технической эстетики для оборудования и результативного функционирования добровольной пожарной охраны в объединенных территориальных общинах с учетом особенностей их функционирования. Проведен анализ плотности размещения пожарных частей оперативно-спасательных подразделений государственной службы чрезвычайных ситуаций и время их прибытия к месту вызова в сельской местности. Предложено организацию добровольной пожарной охраны в объединенных территориальных общинах. Разработан и предложен ряд мер по технической эстетики для обустройства и эффективного функционирования пожарной части добровольной пожарной охраны.**

## **OBJECTION OF THE FIRE DEPARTMENT OF DOMINANT FIRE PROTECTION IN THE AGRICULTURAL LOCATION OF THE UNIONED TERRITORIAL COMMUNITIES**

V.Nebelyuk, E.Martyn

### *Summary*

**In the work, justified and developed measures for technical aesthetics for the equipment and effective functioning of voluntary fire protection in the united territorial communities are given, taking into account the peculiarities of their functioning. The analysis of the density of the fire units of the emergency-rescue units of the state emergency service and the time of their arrival to the place of call in the countryside has been analyzed. The organization of voluntary fire protection in the united territorial communities is proposed. A series of measures on technical aesthetics for the arrangement and effective functioning of the fire department of voluntary fire protection has been developed and proposed.**





УДК 514.18

## СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ГРАФІЧНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У ПІДГОТОВЦІ РЯТУВАЛЬНИКІВ

**Рижавський К. Є.,**

**Мартин Є. В., д.т.н.**

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

**Анотація** – В роботі розв’язується завдання розроблення та залучення сучасних інформаційно-графічних технологій, а саме просторових геометричних моделей пожежно-технічного устаткування та відповідного інформаційного програмного забезпечення, для підготовки пожежних-рятувальників за умов обмежених матеріальних ресурсів навчальних пожежно-рятувальних частин.

**Ключові слова:** рушій, програмне забезпечення, тривимірний графіка.

*Постановка проблеми.* В сучасних умовах розвитку і вдосконалення освітнього процесу важливе практичне завдання полягає у залученні інформаційно-графічних програмних засобів до процесу якісної підготовки фахівців служби порятунку. Це завдання набуває актуальності за умов обмежених ресурсів для забезпечення належної якості навчального процесу при одночасному підвищенні вимог до рівня їх практичної підготовки та з урахуванням турбулентності техногенного простору.

*Аналіз останніх досліджень.* Проведений аналіз стану графічного забезпечення навчального процесу фахівців, зокрема, пожежно-технічного спрямування вказує на важливість комп’ютерної компоненти [1,2]. Комп’ютерні інформаційно-графічні технології покладені в основу досліджень як технічного, так і технологічного спрямування [3]. Важливим є завдання їх залучення до навчального процесу для покращення якості підготовки та підвищення предметного рівня знань фахівців. Досліджено та обрано рушій для роботи програмного забезпечення, а також описані вимоги, яким повинен відповідати софт [4].



*Формулювання цілей статті.* Ґрунтуючись на результатах аналізу та виборі рушія для інформаційно-графічного програмного забезпечення, сформулювати його характеристики, програмні можливості та концепцію.

*Основна частина.*

В процесі навчання за напрямком пожежної безпеки від майбутнього фахівця вимагається досконале знання своєї галузі, а саме — як працює те чи інше пожежно-рятувальне обладнання та техніка, у тому числі, як працює і влаштоване пожежне устаткування того чи іншого призначення. У зв'язку з недосконалістю та обмеженістю пожежно-навчальної бази та зважаючи на стрімкий розвиток комп'ютерних технологій, є доцільним використання спеціалізованого програмного забезпечення у навчальному процесі.

Для реалізації програмного забезпечення «НавчПА» опираємось на результати роботи [1].

Враховуючи специфіку навчального процесу пожежних-рятувальників, слід розуміти потреби та принципи, які повинні задовольняти програмне забезпечення. Саме тому «НавчПА» повинне відповідати наступним критеріям:

1. Простота використання:
  - логічний та зрозумілий інтерфейс;
  - доступність та точність інструкцій роботи з програмним забезпеченням.
2. Постійна підтримка та оновлюваність матеріальної бази:
  - постійне оновлення матеріальної бази додаванням до неї нових моделей пожежного обладнання;
  - систематичне оновлення програмного забезпечення з додаванням до неї нового функціоналу та покращення роботи існуючого.
3. Доступність та надійність.
4. Мультиплатформеність.

Говорячи про мультиплатформеність, маємо на увазі, що «НавчПА» має працювати незалежно від типу операційного програмного забезпечення (**Windows, Linux, MacOS, Android** та інші) та платформи (персональний комп'ютер, смартфон, планшет та інші). Відповідно до операційної системи та платформи дизайн програмного забезпечення має бути гнучким та підлаштовуватись під користувача.



Доступ до програмного забезпечення повинен бути простим. Паролі для запуску та роботи з ним відсутні, тобто доступ може отримати будь-який курсант чи рятувальник. Водночас софт має бути відлагодженим, щоб знизити можливість помилок у програмному коді, гальмування програмного забезпечення, самостійного вимкнення, а також слід передбачити надійний захист від зовнішніх втручань у програмний код.

Програмне забезпечення повинне систематично оновлюватись, щоб покращити свою зручність для користувача та виправити можливі помилки при роботі. Розширення функціоналу та матеріальної бази може спростити навчальний процес та зробити його більш інтерактивним.

Інтерфейс «НавчПА» повинен бути зрозумілим та легким у використанні, щоб користувач не витрачав велику кількість часу на освоєння принципів роботи програмного забезпечення, а також мав доступ до усіх програмних інструкцій та підказок.

Для розробки концепту програмного забезпечення пропонуємо використовувати програмне забезпечення **Adobe Photoshop**. Наведений растровий редактор повністю задовольняє усім потребам для виконання поставленого завдання.

Наведемо приклад концепту програмного забезпечення на базі операційної системи **Android** (рис. 1). На концепті зображено зовнішній вигляд робочого простору програмного забезпечення, а також приклад просторової моделі пожежного автомобіля з двох ракурсів: вигляд спереду (рис.1а) та вигляд ззаду (рис.1б), як приклад можливих варіантів всебічного огляду створеної тривимірної моделі пожежного устаткування.

Враховуючи розміри платформ, які працюють на базі системи **Android**, важливо не засмічувати екран зайвими кнопками та функціями, саме тому для спрощення роботи пропонуємо випадне меню: воно з'являтиметься при натисканні або відтягуванні стрілки у нижній частині екрана користувача.

Для повороту об'єкта використовується коло з стрілками під ним. Воно також вмикає режим огляду при подвійному натисканні, в якому модель обертається навколо осі. Окрім цього користувач може здійснювати поворот, використовуючи сенсорні можливості пристрою.

**НавчПА**

версія 0.0a

**НавчПА**

версія 0.0a

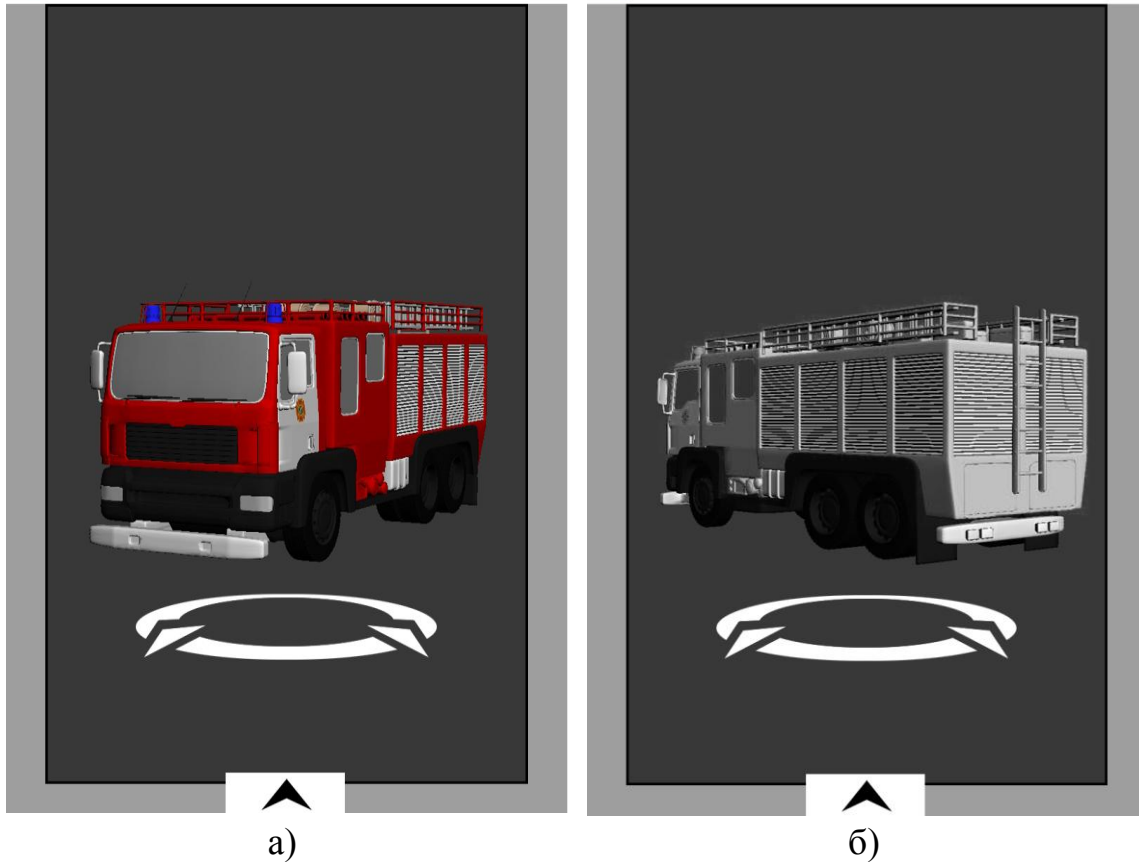


Рис.1. Спрощений концепт дизайну програмного забезпечення

Наведемо приклад розгорнутого меню з налаштуваннями та характеристиками, та наведемо опис базового функціоналу (рис.2).



Рис.2. Розгорнуте меню налаштувань та інформації



Маємо наступні налаштування:

- Режим кольору – параметр, який відповідає за кольоровий або чорно-білий показ моделі.
- Режим показу – параметр, який відповідає за показ моделі чи показ структури (сітки топології).
- Світло – параметр, який відповідає за вмикання та вимикання світла пробліскових маячків.
- Режим проєкцій – параметр, який відповідає за показ об'єкта в режимі перспективи або в режимі чотирьох проєкцій (фронтальна, верхня, бічна та задня).
- Підказки – параметр, який вмикає та вимикає підказки.
- Рівень прозорості – параметр, який відповідає за прозорість об'єкта (задається в діапазоні від 0 до 50%, де 0% – непрозорий, а 50% - напівпрозорий).

В полі «Характеристики та інформація» міститься уся необхідна для курсанта чи студента інформація, що стосується об'єкта, який вивчається.

Програмне забезпечення «НавчПА» [4] передбачає наступний функціонал:

- Можливість переглядати широкий список пожежно-рятувального обладнання, устаткування та пожежно-рятувальної техніки.
- Можливість вмикати та вимикати показ окремих деталей моделі.
- Можливість отримати необхідну інформацію про обладнання у текстовій та аудіо формі.
- Можливість зв'язку з групою підтримки програмного забезпечення.
- Можливість перемикання між кольоровим та чорно-білим варіантом моделей.
- Можливість вмикати та вимикати напівпрозорий режим перегляду об'єкта.

Програма передбачає використання оффлайн режиму, тобто не потребує інтернет з'єднання для доступу в бібліотеку. Для зменшення ваги моделі в Android версіях повинні бути спрощенні, тобто для роботи використовуються низько-полігональні та середньо-полігональні моделі пожежного обладнання, що також зменшить навантаження на пристрій.

Для роботи програмного забезпечення інформаційно-графічного характеру «НавчПА» важливу роль відіграє комп'ютерна тривимірна або просторова графіка [5]. Від якості та складності виконання моделей залежать робота та потужність програмного забезпечення. Саме тому моделі виконуються у трьох варіаціях:



- низько-полігональні (**low poly**);
- середньо-полігональні (**middle poly**);
- високо-полігональні (**high poly**).

Різниця між ними полягає у рівні деталізації та згладження моделей, а також вазі вихідних файлів.

Охарактеризуємо кожен з трьох типів моделей.

**Low poly** — характеризується наявністю мінімальної кількості полігонів. Кожному сегменту об'єкта властива одна з двох функцій — каркасна або підтримувальна. Каркасну функцію виконують сегменти, які задають форму моделі, а підтримувальну — сегменти, які тримають форму моделі. Сукупність усіх сегментів утворює каркасну сітку або сітку топології та ділить об'єкт на полігони. За правилами топології полігони можуть бути чотирикутними або трикутними, наявність полігона, який має більше, ніж 4 точки вважається грубою помилкою та потребує виправлення.

**High poly** — характеризується високим рівнем деталізації, а отже великим рівнем полігонів. Створюються високо-полігональні моделі на основі низько-полігональних збільшенням кількості підтримуючих сегментів. Вага моделей, виконаних з великою кількістю полігонів, значно перевищує вагу низько-полігональних, за рахунок чого робота з такими моделями потребує більшої потужності рушія та апаратного забезпечення, а саме — робочої платформи.

**Middle poly** — характеризується середньою кількістю полігонів, тобто є проміжним між **low** та **high poly** моделями.

При роботі програмного забезпечення використання низько-, середньо- та високополігональних моделей залежить від потужності платформи, а також налаштувань користувача: при наявності достатньо потужного апаратного забезпечення стає можливим використання максимальної деталізації об'єктів.

У програмі важливо передбачити режим перегляду проєкцій, тобто можливість переглядати не лише об'єкт з усіх ракурсів у просторовому режимі, але й бачити геометричні проєкції моделі.

В процесі розробки програмного забезпечення переглянуто та досліджено кілька рушіїв. Вибір був зупинений на ігровому рушії **Unity** від компанії **Unity Technologies**.

**Unity** — це багатоплатформовий інструмент для розробки дво- і тривимірних додатків та ігор, що працює на операційних системах **Windows, OS X**. Створені за допомогою **Unity** застосування працюють під системами **Windows, OS X, Android, Apple iOS, Linux**, а також на гральних консолях **Wii, Playstation 3 та Xbox 360**.

Технічні характеристики рушія:



- Ігровий рушій пов'язаний із середовищем розробки (Це означає, що випробувати програмне забезпечення можна прямо під час розробки).
- Сценарії на **C#**, **JavaScript** та **Boo**.
- Підтримується імпорт великої кількості форматів файлів.
- Вбудована підтримка мережі.
- Існує рішення для спільної розробки — **Asset Server**. Також наявна можливість використовувати зручний для користувача спосіб контролю версій, наприклад, **SVN** або **Source Gear**.

Враховуючи наведену специфіку цього рушія, доступність його матеріальної бази та характеристики — вибір однозначний.

*Висновки.* Зважаючи на обмеженість матеріальних ресурсів навчальної пожежно-рятувальної частини, вважаємо, що використання спеціального програмного забезпечення є інноваційним та доцільним. Використовуючи його, курсанти та студенти навчального напрямку з пожежної безпеки зможуть отримувати усю необхідну їм інформацію, що стосується матеріально – технічного забезпечення пожежних-рятувальників.

#### *Література:*

1. *Рижавський К.Є.* Комп'ютерні графічні технології у підготовці фахівців технічного спрямування /К.Є.Рижавський, Є.В.Мартин, О.В.Придатко // Сучасні проблеми моделювання. Наук. фах. видання.- Мелітополь: Видавництво Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького.- 2016.- С. 130-137.
2. *Рижавський К.Є.* Розроблення твердотільної моделі пожежного автомобіля /К.Є.Рижавський, Є.В.Мартин, О.В.Придатко // Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності. Зб. м-лів Міжн. наук.– практ. конф. курсантів і студентів.- Л.:ЛДУБЖД, 2017.- С.61-62.
3. *Рижавський К.Є.* Використання анімації у просторовому моделюванні пожежної техніки /К.Є.Рижавський, Є.В.Мартин, О.В.Придатко //Зб. доп. VI Всеукр. наук.-практ.конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених».-К.: НТУУ «КПІ», 2017.- С.196-201.
4. *Рижавський К. Є.* Дослідження характеристик та принципів роботи інформаційного програмного забезпечення /К.Є.Рижавський, Є.В.Мартин // Захист інформації в інформаційно-комунікаційних



системах. Зб. м-лів Міжвуз. наук.-практ. конф. студентів і курсантів.-  
Л.:ЛДУБЖД, 2017. -С.-51-52.

5. *Миловская О.* 3ds MaxDesign 2014 /О.Миловская // М.: Мастер, 2014.-  
416с.

## **СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ПОДГОТОВКЕ СПАСАТЕЛЕЙ**

К.Е. Рыжавский, Е.В. Мартин

### *Аннотация*

**В работе решается задача разработки и использования современных информационно-графических технологий, а именно пространственных геометрических моделей пожарно-технического оборудования и соответствующего информационного программного обеспечения, подготовки пожарных-спасателей в условиях ограниченных материальных ресурсов учебных пожарно-спасательных частей.**

## **SPECIALIZED GRAPHIC SOFTWARE IN PREPARING RESCUERS**

K. Ryzhavsky, E. Martyn

### *Summary*

**The task of this project is to develop and engage information and graphic technologies for the training of firefighters. The justified features and objectives of the software are described, the functional and the advantages of the proposed project are described. Project contains the analysis and justification of the choice of the Unity engine, which allows you to operate on the basis of many operating systems.**

**It is shown that the use of information and graphic software in the preparation of firefighters is innovative and appropriate. Its accessibility and completeness of information envisages the possibility of self-education. The needs and characteristics of the graphical component of the program for the development of spatial computer models, which distinguishes it among other software libraries, are determined.**





УДК 514.18 + 621.869

## ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСКАВАТОРА «MENZI MUCK M545» ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЙОГО РУХУ ТА СТІЙКОСТІ ПРИ ЗАДАНИХ УМОВАХ

**Черніков О.В., д.т.н.,  
Склярів Є.Ю., магістрант,  
Швейкін І.О., магістрант.**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Тел/факс (057) 707-3724*

**Анотація** – Робота продовжує розробку та впровадження методів геометричного та комп'ютерного моделювання в царині проектування та дослідження режимів роботи різноманітних машин та механізмів. Метою роботи є розробка цифрової моделі екскаватора в середовищі Autodesk Inventor для дослідження її стійкості, визначення припустимих станів роботи та знаходження ку- та перекидання при заданих умовах експлуатації.

**Ключові слова** – комп'ютерне моделювання, динамічне моделювання, екскаватор, Autodesk Inventor.

*Постановка проблеми.* Для подальшого розвитку економіки, зокрема, для будівництва доріг, необхідно розробляти нові, сучасні машини, скорочувати час їхнього проектування та точно визначати необхідні технічні характеристики і припустимі режими роботи [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* Для виконання подібних досліджень все частіше використовуються тривимірні (цифрові) моделі [3] та проведення з ними віртуальних експериментів за допомогою комп'ютерних програм.

Для моделювання був обраний потужний пакет твердотілого моделювання Autodesk Inventor, у тому числі й завдяки можливості його безкоштовного використання для навчальних цілей. Запропонована в ньому технологія цифрових прототипів надає комплексний гнучкий набір засобів для 3D проектування, візуалізації, інструментальної обробки, аналізу і розрахунків, а також створення документації.

Частина результатів була отримана при виконанні дипломної роботи під керівництвом доцента кафедри будівельних і дорожніх машин ХНАДУ к.т.н. Щукіна О.В.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою роботи є розробка цифрової моделі екскаватора та проведення віртуальних експериментів з дослідження її стійкості, визначення припустимих режимів роботи, зокрема, знаходження кута можливого перекидання машини при різних умовах експлуатації.

Для рішення поставленої у роботі задачі доцільно використовувати середовище Autodesk Inventor, яке дозволяє врахувати характеристики матеріалів, задавати навантаження, модифікувати параметри сітки кінцевих елементів, що дозволяє підвищити якість рішення, розглянути їхні варіанти [4-6]. Також можливий вибір автоматичного або ручного способу завдання контактів, виконання декількох типів динамічних та міцнісних розрахунків. Візуалізація моделі допомагає оцінити взаємодію компонентів при роботі машини та представити результати замовнику.

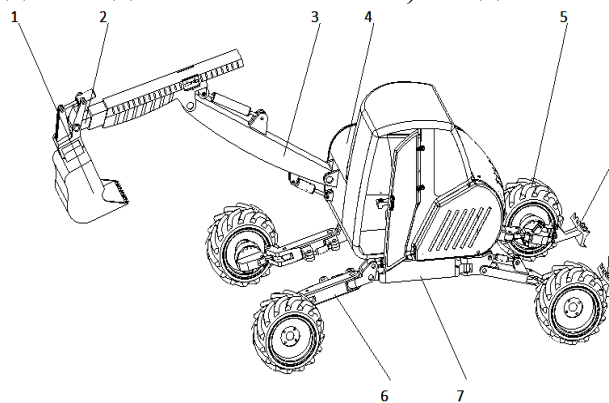
У якості зразка, що моделюється, був обраний крокуючий екскаватор «Menzi Muck» моделі M545 (рис. 1). При створенні моделі були застосовані наступні види тривимірного моделювання: твердотільне моделювання (ходове і робоче обладнання), поверхневе моделювання (панорамна кабіна) і сплайнове моделювання (крісло оператора)



а) Прототип для моделювання



б) Модель в Autodesk Inventor



в) Конструктивна схема екскаватора: 1 – ківш, 2 – стріла, 3 – рукоять, 4 – кабіна, 5 – колесо, 6 – теленога, 7 – поворотна платформа, 8 – опори

Рис. 1. Крокуючий екскаватор «Menzi Muck» моделі M545

*Основна частина.* Змодельовані складові частини екскаватора наведено на рис. 2. Найважливіші технічні характеристики машини, взяті з відкритих джерел [7].

Для можливостей подальшого дослідження кожна складова частина моделювалася в окремому файлі деталі або складальної одиниці, зрозуміло з деякими спрощеннями. На наступних рисунках наведено розроблені моделі цих складових частин.

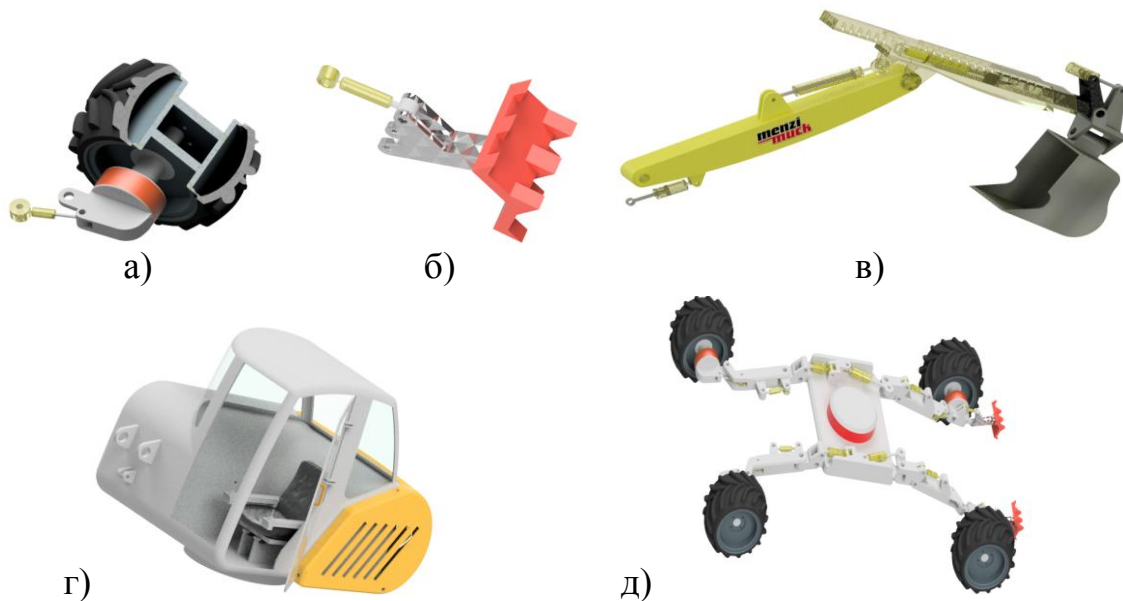


Рис. 2. Основні вузли екскаватора:

а) – Складання колеса, б) – Спеціальні опори, в) – Робоче обладнання (стріла, рукоять ківш), г) – Панорамна кабіна, д) – Ходове обладнання.

Наступним етапом було створення загальної моделі (складання) з накладанням відповідних залежностей, які в подальшому дадуть можливість моделювати рухи машини: це «суміщення», «кут», «дотик» та «вставка». Найбільш поширеною залежністю для моделювання обертання є залежність «Вставка» – саме вона може бути автоматично перетворена в з'єднання «Обертання».

Після закінчення роботи в середовищі складання, переходимо до середовища динамічного моделювання, щоб додати необхідні рушійні з'єднання між частинами екскаватора. Завдання стандартних з'єднань, крім зварювальних, у складанні дозволяють визначити можливі ступені свободи окремих деталей. У зв'язку із цим, додавання з'єднань необхідно починати зі стандартних. Ці з'єднання наведені в [3].

Розглянуті основні з'єднання, параметри яких впливають на роботу віртуальної моделі. «Просторове з'єднання» – використовується для розташування тіла в просторі відносно базового елемента. «Обертання» дозволяє задати обертання коліс навантажувача та шарнірів робочого устаткування. При моделюванні важливо правильно задати місцеві системи координат та забезпечити відповідність напрямків обертання. «3D контакт» між ґрунтом і колесами (рис. 3) не дає машині «провалюватися» крізь ґрунт і дозволяє враховувати коефіцієнти тертя, демпфування та жорсткості контакту (рис. 4). У разі необхідності можна використовувати інші рухомі з'єднання, які наведені в [3].

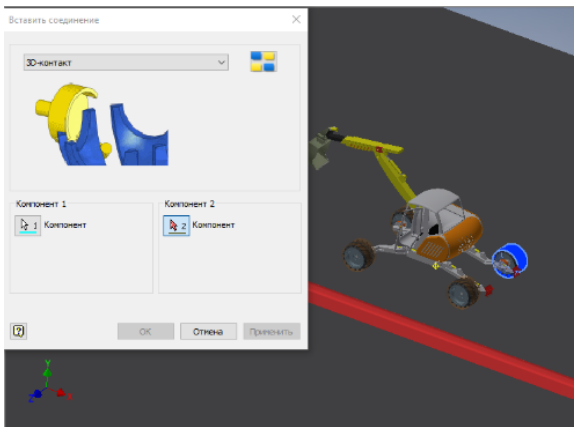


Рис. 3. Завдання 3D контакту

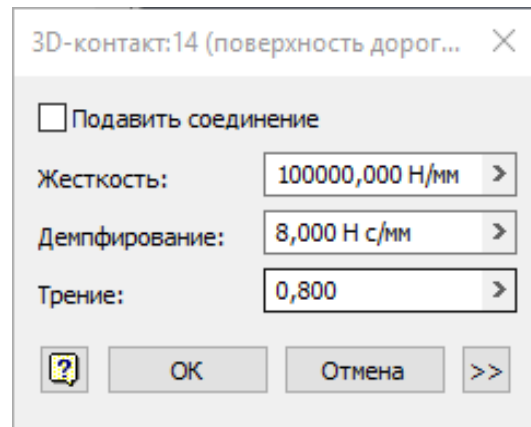


Рис. 4. Параметри 3D контакту

Мета створення 3D-моделі в програмі Inventor полягала у дослідженні екскаватора при різних режимах роботи, які в реальних умовах було б важко досягти за рахунок багатьох факторів, зокрема, високої вартості машини, умов безпеки, відсутності матеріальної бази та ін.

На основі побудованої моделі проводилося моделювання руху екскаватора по заданій траєкторії та руху окремих його елементів при дослідженні особливостей робочого обладнання. Для цього було розроблено умови роботи елементів з'єднання, кожному з яких можна задати закони руху як у вигляді постійних величин, так і у вигляді графіків. Варіант приведення з'єднання в рух можливо обрати за допомогою діалогового вікна, наведеного на рис. 5).

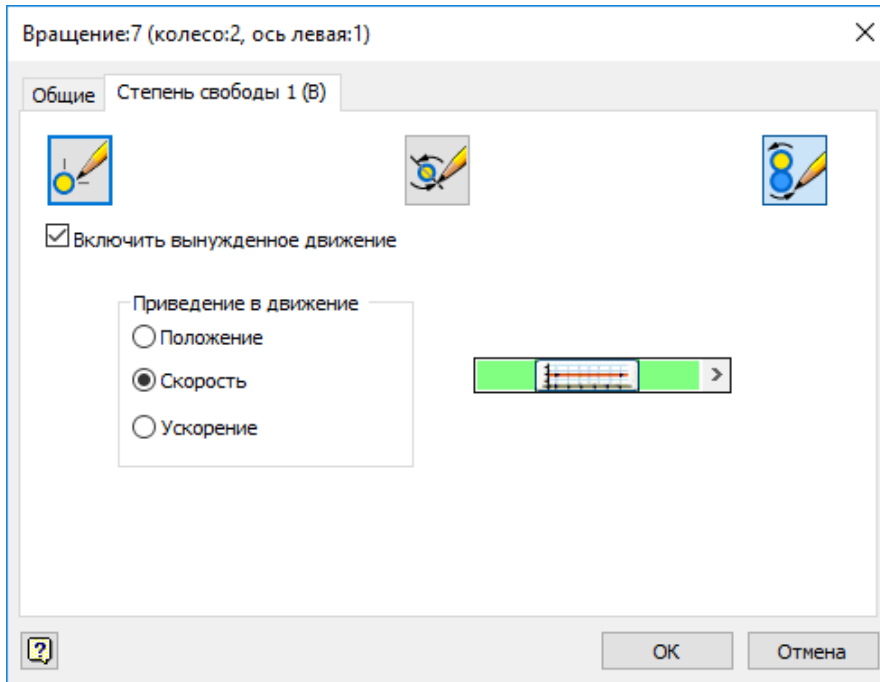


Рис. 5. Приведення з'єднання у рух

На наступному рисунку наведено графіки, що задають закони руху. В залежності від потреб експерименту можливо задавати графіки для переміщень, швидкості або прискорення. В якості цих графіків, зокрема, можна задавати лінійну, поліноміальну, тригонометричну або сплайнову залежності.

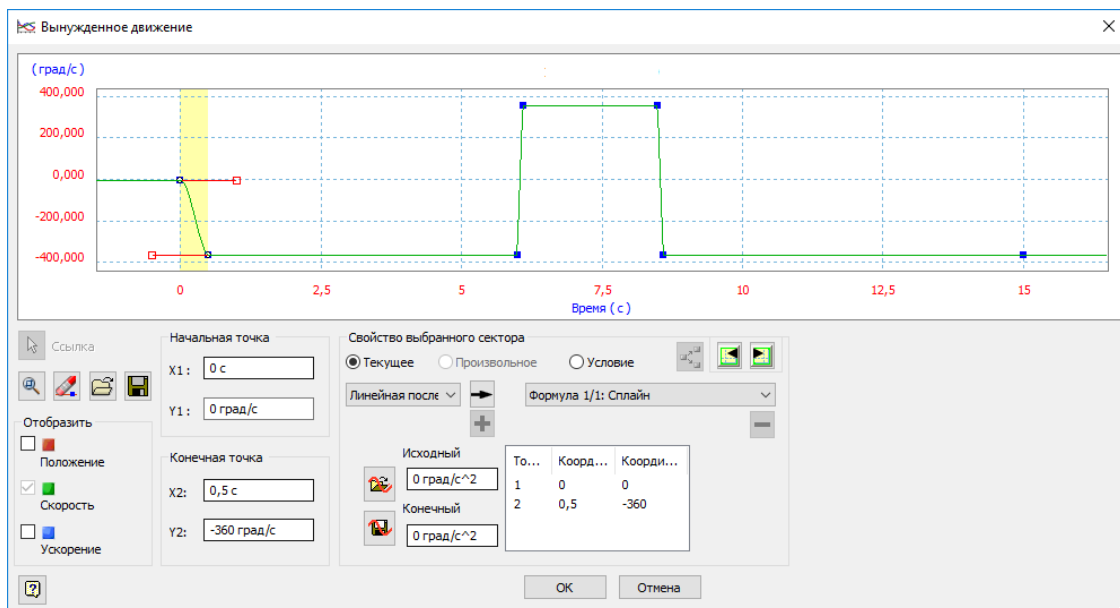


Рис. 6. Графік, що задає швидкість та напрям обертання коліс

На графіку задано, що на ділянці  $0 \dots 0,5$  сек колесо поступово набирає швидкість до  $1$  об/сек ( $360$  град/сек, знак  $\pm$  показує напрям обертання). Далі колесо рухається до  $6$ -ї сек зі сталою швидкістю  $360$  град/сек. Потім до  $6,1$  сек змінюється напрям обертання на протилежний і рухається вже в цьому напрямку, також зі сталою швидкістю до часу  $8,5$  сек. Після  $8,6$  сек знову змінюється напрям обертання.

Слід відмітити, що графіки роботи можливо задавати на всі з'єднання, що використані в машині, яка моделюється. Зміна закону рухів у вигляді графіків дозволяє відтворити будь-який сценарій руху у відповідності з завданням експерименту.

Наступним етапом досліджень є визначення стійкості машини на дорозі з ухилами, зокрема, визначення максимально припустимих значень цих ухилів, а також можливості по здоланню перешкод.

Для цього додатково було створено модель робочого майданчику (або дороги), яка дозволяла би легко змінювати кут його нахилу.

Задаємо додатково в параметрах моделювання напрям сили тяжіння і приступимо до перевірки стійкості екскаватора. В результаті моделювання було встановлено, що при куті нахилу площини, який не перевищує  $42^\circ$ , модель не перекидається (рис. 7, а); якщо кут становить  $43^\circ$  та більше – комп'ютерна модель начала перекидатися (рис. 7, б); якщо зменшити розмір перешкоди, екскаватор не перекидається, а переїжджає через неї (рис. 7, в). Слід відмітити особливу важливість центру ваги машини при дослідженні її стійкості.

Для аналізу змін центра ваги розглянуто три положення (рис. 8):

1) Теленоги розташовані паралельно до поворотної платформи, робоче обладнання в нижньому положенні. В цьому випадку точка центру ваги показана на рис. 8, а; її координати можуть бути легко визначені відносно обраної системи координат системи.

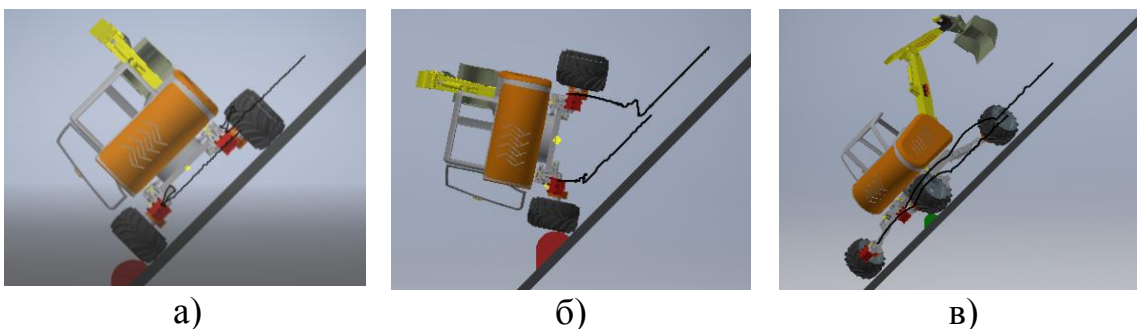


Рис. 7. Поведінка моделі на схилі

2) Піднято робоче обладнання та теленоги, кабінку повернуто відносно платформи на  $40^\circ$  (рис. 8, б).

3) Додатково до п. 2) ківш наповнено ґрунтом  $300$  кг (рис. 8, в).



Рис. 8. Визначення положень центру ваги

*Висновки.* Завдяки розробленій моделі ще на стадії конструювання визначаються актуальність та ефективність запропонованих технічних рішень, що дозволяє провести попередні розрахунки і уникнути зайвих витрат при виробництві. На комп'ютерному прототипі можна визначити основні характеристики майбутнього виробу, провести віртуальні експерименти, модернізацію та необхідну модифікацію.

При динамічному моделюванні екскаватора Menzi Muck були визначені кути перекидання при різних умовах роботи, були змодельовані рух та повороти екскаватора, описана траєкторія його руху при проходженні перешкод. Досліджено положення центру ваги: він істотно не змінюється при максимальному вильоті стріли та піднятті на теленогах, але суттєво змінюється при завантаженні ковша.

Такі дослідження, якщо створити модель якнайближче до реального об'єкту, допомагають перевірити, як буде поводитися машина при впливі на неї різних зовнішніх умов, які можуть статися при її роботі в реальному житті. У такий спосіб відпадає необхідність залучення реальної моделі, тим самим значно зменшуються трудомісткість, час і витрати на дослідження.

Робота продовжує дослідження по створенню моделей будівельно-дорожніх машин для проведення віртуальних експериментів по оптимізації конструкції і режимів роботи. Створена модель також може бути використана як тренажер для керування екскаватором.

Запропонована методика досліджень та отримані результати впроваджені в навчальний процес при підготовці курсових та диплом-



них робіт студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

*Література:*

1. Керов, И.П. Основные тенденции развития строительных и дорожных машин / И.П. Керов, Р.А. Янсон, А.Б. Агапов // Строительные и дорожные машины. – М. : 2008. – №3. – С. 9-16.
2. Ветров, Ю.В. Машины для земляных работ. Приклады розрахунку / Ю.В. Ветров, В.В. Власов – К : 1995, ІСДО – 304 с.
3. *Динамическое моделирование в Autodesk Inventor* / електронний ресурс, режим доступу: <http://wikiphelp.autodesk.com/Inventor/rus/2016/Help> (10/11/2017).
4. Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ / О.В. Черніков // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. – Вып. 73. – Харьков, ХНАДУ, 2016. – С. 239-244.
5. Черніков, О.В. Розробка параметричних моделей з урахуванням динамічних та міцнісних характеристик / О.В. Черніков, А.І. Москаленко // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 87. – С. 431-434.
6. Москаленко, А.И. Применение компьютерных технологий при моделировании переезда фронтального погрузчика через препятствие / А.И. Москаленко, А.В. Черников // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 88. – С. 234-238.
7. *Menzi Muck AG* – Каталог: Офіційний сайт компанії-виробника. – Режим доступу: <https://www.menzimuck.com/produktgruppen/menzi-muck-schreitbagger/> (15/01/2018).

**ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЭКСКАВАТОРА «MENZI MUCK M545» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЕГО ДВИЖЕНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ЗАДАННЫХ  
УСЛОВИЯХ**

Черников А.В., Скляр Е.Ю., Швейкин И.О.

*Аннотация*





**Работа продолжает разработку и внедрение методов геометрического и компьютерного моделирования в области проектирования и исследования режимов работы различных машин и механизмов. Целью работы является разработка цифровой модели экскаватора в среде Autodesk Inventor для исследования ее устойчивости, определения допустимых состояний работы и нахождения угла опрокидывания при заданных условиях эксплуатации.**

### **FEATURES OF MENZI MUCK M545 EXCAVATOR COMPUTER MODELING FOR RESEARCH OF ITS MOVEMENT AND SUSTAINABILITY AT THE SPECIAL CONDITIONS**

A. Chernikov, E. Skliarov, I. Shveikin

#### *Summary*

**The work continues the development and implementation of methods of geometric and computer simulation in the field of designing and studying the operating modes of various machines and mechanisms. The aim of the work is to develop a digital model of the excavator in the environment of Autodesk Inventor to study a number of different virtual researches: its stability, determine the admissible operating conditions and finding the angle of rollover under the given conditions of operation.**

**The following tasks were set and solved: modeling the process of overcoming obstacles by the excavator and a description of its trajectory; modeling several working positions, including the most unfavorable, and determining the angle of rollover; analysis of changes in the center of gravity at various positions of the working equipment, telescopic supports and excavator cabs.**



УДК 514.18

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ НАСАДОК ДЛЯ ФОНТАНІВ

**Мацулевич О.Є., к.т.н.**

**Щербина В.М., к.т.н.**

*Таврійський державний агротехнологічний університет,*

*Тел.: (0619) 42-68-62*

**Залевський С.В., к.т.н.**

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

*Тел.: (044) 204-94-46*

**Анотація** – Проведено аналіз конструкцій насадок для фонтанів. Виявлено, що неякісно виконані насадки не дозволяють створити геометрично правильний водний рисунок, мають підвищене бризкоутворення, вимагають підвищену потужність насоса, не відповідають заявленим характеристикам, створюють підвищений шум і проблеми в експлуатації та не дозволяють повноцінно реалізувати ідею, закладену в проекті фонтану.

Для усунення проблеми виникнення цих недоліків запропоновано методику розрахунку точок профілю насадки поверхня якої побудована на основі інтерполяції ДПК за допомогою серединних перпендикулярів.

Окрім методики геометричного моделювання робочої поверхні насадки розроблено програмне забезпечення для комп'ютерного проектування виробу у САД системі AutoCAD.

**Ключові слова** – робочий діапазон, залежність від рівня води, рівень шуму, бризкоутворення, дискретно представлена крива (ДПК), супроводжуюча ламана лінія (СЛЛ), інтерполяція, серединні перпендикуляри, кути суміщення, осциляція, тотожність згущення, програмний код.

**Постановка проблеми.** Мета конструкції будь-якого фонтану полягає в тому, щоб привести воду в рух. Щоб вода рухалася, і, з її допомогою, можна було б створити привабливі композиції, в першу чергу необхідна достатня кількість води. Це може бути природна або штучна водойма, басейн. Вибір водного резервуару взаємопов'язаний



з типом фонтану і планованими водними ефектами. Рух води може бути в формі ледь помітної плавної течії у водоймі, невеликого струмка, вируючої води, що падає з водоспаду, спрямованого в небо струменя або складної водної композиції створювані багатою кількістю насадок. Параметри насадок по тиску та витраті води повинні бути прийняті до уваги при плануванні трубопроводів і виборі насоса.

*Аналіз попередніх досліджень.* При конструюванні насадок використовуються спеціальні гідравлічні розрахунки [1,2]. Їх фактичні характеристики серйозно залежать від правильності конструкції, матеріалу виготовлення та якості виконання. Неякісні насадки не дозволяють створити геометрично правильний водний рисунок, мають підвищене бризкоутворення, вимагають підвищену потужність насоса, не відповідають заявленим характеристикам, створюють підвищений шум і проблеми в експлуатації, не дозволяють повноцінно реалізувати ідею, закладену в проекті фонтану. Ідеальним матеріалом для виготовлення гідравлічної частини насадки є спеціальні сплави на основі міді. Вони стійкі до впливу води, навіть при тривалій експлуатації на поверхні металу не утворюються каверни, добре обробляються і шліфуються, мають розумну ціну.

Зупинивши свій вибір на типі насадки, виходячи з необхідного водного рисунка, необхідно звернути увагу на її наступні характеристики:

- **Робочий діапазон** - кожна насадка розрахована на певну висоту і форму струменя. Це, на пряму, залежить від тиску і об'єму води на вході насадки, а, також, від профілю робочої поверхні насадки.

- **Залежність від рівня води** - насадки, водний рисунок яких не залежить від рівня води, можна монтувати на будь-якої необхідної висоті від дзеркала води. При неправильному монтажі такої насадки, водний рисунок буде порушений і може сильно відрізнятися від планованого.

- **Рівень шуму** - шум створюваний водою через неправильно підібрану геометрію внутрішньої поверхні насадки, може стати сильною перешкодою і подразником.

- **Стійкість до вітру (радіус бризок)** - водний рисунок окремих насадок дуже чутливий навіть до невеликих поривів вітру.

*Формулювання цілей статті.* На підставі аналізу деяких недоліків насадок для фонтанів, які не дозволяють створити правильний геометричний водний рисунок і мають підвищену бризкоутворення, виникає необхідність в розробці методики геометричного моделювання внутрішніх робочих поверхонь насадки.

*Основна частина.*

Розглянуті існуючі конструкції насадок для фонтанів, призначених для створення основних стовпів водного рисунку мають внутрішній перетин, який представлено на рисунку 1.

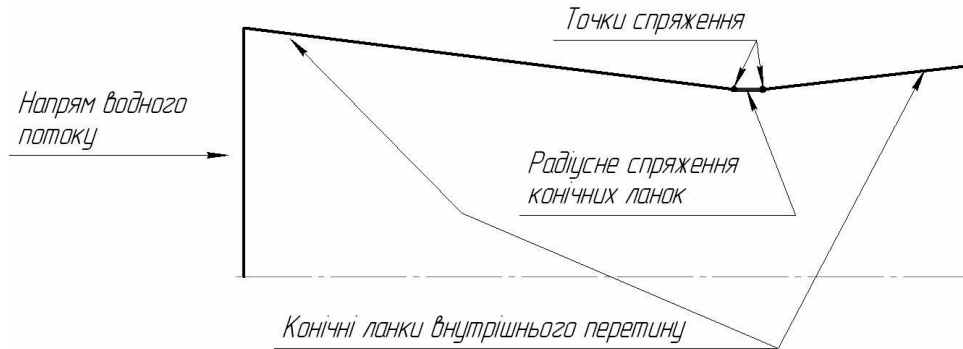


Рис.1. Внутрішній перетин існуючих конструкцій насадок для фонтанів

Цей перетин має дві кінцеві поверхні, спрямовані назустріч одна одній з радіусним спряженням в місці стиковки.

На підставі проведеного аналізу геометрії робочих поверхонь насадок була з'ясована одна з причин, яка, в деяких конструкціях насадок, не дозволяє забезпечити заданий водний рисунок, і сприяє виникненню підвищеного бризкоутворення. Такою причиною є наявність ділянок внутрішнього перетину з прямолінійною твірною - кінцеві ділянки (рис.1).

Застосування криволінійних утворюють при формуванні контуру внутрішнього перетину насадки для фонтану дозволить забезпечити заздалегідь прогнозований «правильний» малюнок основного стовпа фонтану. На рисунку 2 представлена схема внутрішнього перетину пропонованої насадки. Насадка, виготовлена за пропонованою в роботі схемою (рис.2), дозволяє забезпечити найбільш точне відображення потоку рідини (рух струменя) і, при цьому, зменшити гідравлічний опір.



Рис.2. Внутрішній перетин пропонованої конструкції насадок для фонтанів

Для конструкцій даного типу найбільш близьким технічним рішенням є побудова внутрішньої криволінійної поверхні шляхом згущення дискретно заданої множини точок профілю внутрішньої поверхні насадки з використанням методу серединних перпендикулярів [3,4]

На рисунку 3 представлена принципова схема побудови внутрішнього профілю форсунки, що складається з трьох криволінійних ділянок, де дві опуклі ділянки сполучаються увігнутою ділянкою з чітко заданим положенням точок переходу від однієї ділянки до іншої. Зауважимо, що всі ділянки представлені дискретно заданою множиною опорних точок. Надалі, цю множину точок будемо називати дискретно представленою кривою (ДПК). Для зручності сприйняття схеми (рис.3) обмежимося мінімальною кількістю точок ДПК. Зазначимо, що точки спряження, які представлено на рисунках 1-2, на принциповій схемі (рис.3) визначаються як точки переходу.

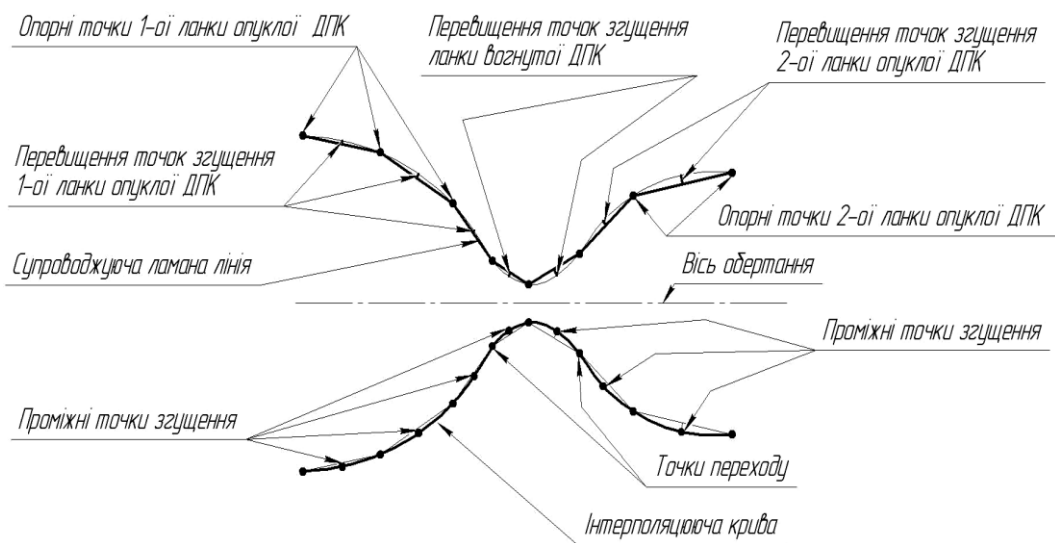


Рис. 3. Принципова схема побудови внутрішнього профілю форсунки, поверхня якого побудована за допомогою серединних перпендикулярів

Супроводжуюча ламана лінія (СЛЛ) дозволяє відстежувати характеристики контуру внутрішньої поверхні форсунки до певної, наперед заданої умови, коли  $\varepsilon \geq 0$  – до як завгодно малого наперед заданого числа (рис. 3)

На рисунку 4 наведено розрахункову схему визначення координат точок згущення ДПК за допомогою серединних перпендикулярів.

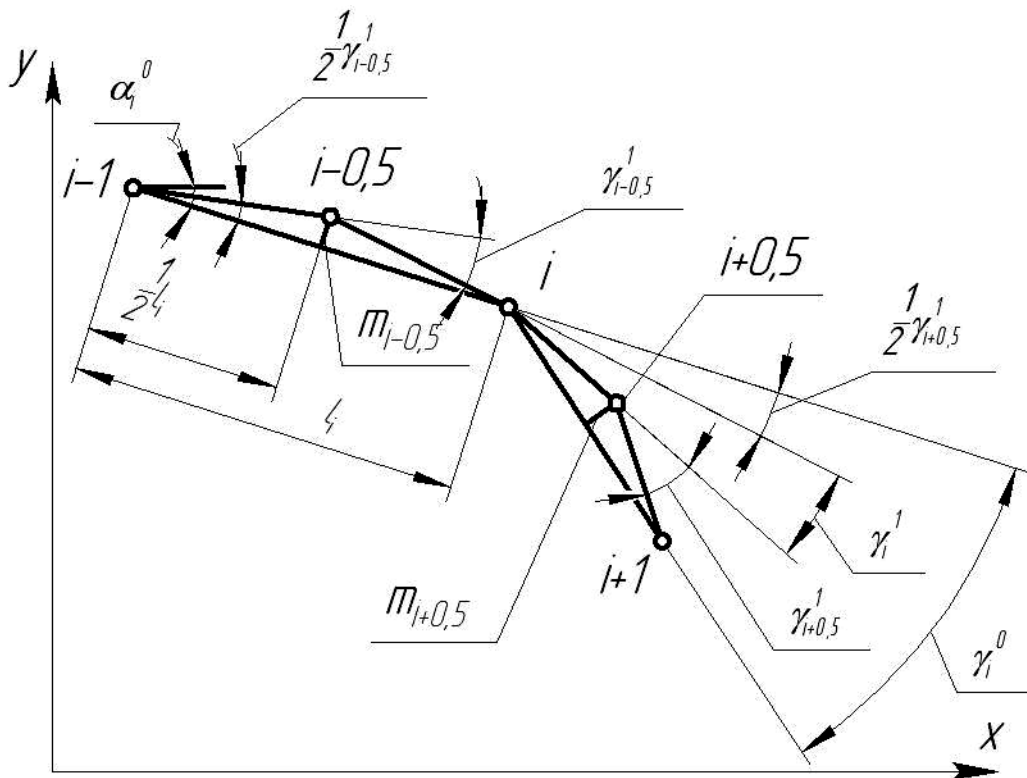


Рис. 4. Розрахункова схема визначення координат точок згущення ДПК за допомогою серединних перпендикулярів

Будемо вважати, що кожна ланка супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ) направлена від попередньої точки ДПК до наступної. Кут нахилу  $\alpha_i$   $i$ -ої ланки СЛЛ до осі  $Ox$  будемо вважати кут, утворений між позитивними напрямками ланки і осі  $Ox$ . При цьому, якщо вісь  $Ox$  найкоротшим шляхом поєднується з напрямком ланки в результаті обертання проти годинникової стрілки, то кут вважається позитивним.

Для розгляду і вирішення проблеми пропонується метод дискретної інтерполяції неоднозначних дискретно представлених кривих (ДПК) на основі кутів суміжності (рис.4).

Прийmemo схему згущення відповідно до рис.4, де точки згущення будуються на серединних перпендикулярах до відповідних ланок супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ) вихідної ДПК. З рис.4.

бачимо, що  $\frac{l}{2}\gamma_{i-0,5}$ , а  $\frac{l}{2}\gamma_{i+0,5}$ .

Основна тотожність згущення на основі кутів суміжності [3] має вигляд



$$\gamma_{i-0,5}^1 + 2\gamma_i^1 + \gamma_{i+0,5}^1 = 2\gamma_i^0, \quad i = \overline{1; n-1}. \quad (1)$$

Система (1) має  $(n-1)$  рівнянь з  $(2n-1)$  невідомими. Отже, для отримання єдиного рішення, необхідно задати  $n$  умов. Зауважимо, що система (3) не є різницевою схемою 2-го порядку, оскільки відсутні проміжні рівняння, що зв'язують кути суміжності ланок СЛЛ згущеної ДПК в двох сусідніх вузлових точках  $\gamma_i^1$  і в точці згущення  $\gamma_{i+0,5}^1$  між ними.

Додаткової інформації про складання таких рівнянь немає. Тому необхідно шукати інші шляхи вирішення системи (1), зокрема, накладення додаткових умов на співвідношення між кутами  $\gamma^1$ . При реальному проектуванні краще залишити один параметр вільним для управління формою ДПК при згущенні.

На підставі розрахункової схеми визначення координат точок згущення ДПК за допомогою серединних перпендикулярів (рис.4) пропонується основний алгоритм згущення ДПК на основі серединних перпендикулярів, який полягає в наступному:

1. Розраховуються значення кутів суміжності  $\gamma_{i-0,5}^1, i = \overline{1; n}$  ланок згущеної ДПК. Умовою опуклості згущеної ДПК є дотримання нерівностей  $\gamma_{i-0,5}^1 > 0, i = \overline{1; n}$ .

2. Визначаються довжини ланок вихідної СЛЛ

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}; \quad i = \overline{1; n} \quad (2)$$

3. Знаходяться перевищення точок згущення над відповідними хордами

$$m_{i-0,5}^1 = \frac{1}{2} l_i \operatorname{tg} \frac{\gamma_{i-0,5}^1}{2}, \quad i = \overline{1; n} \quad (3)$$

4. Визначаються координати точок згущення

$$\begin{aligned} x_{i-0,5} &= \frac{x_i + x_{i-1}}{2} - m_{i-0,5}^1 \sin \alpha_{i-1}^0, \\ y_{i-0,5} &= \frac{y_i + y_{i-1}}{2} + m_{i-0,5}^1 \cos \alpha_{i-1}^0, \quad i = \overline{1; n}. \end{aligned} \quad (4)$$

Розглянемо докладніше розрахунок кутів суміжності згущеної ДПК на підставі накладення додаткових співвідношень між кутами суміжності в тотожність (1). Найбільш простими з них є наступні:



- вибір  $\gamma_{min}^1$  мінімального із всіх можливих для того, щоб усі кути суміжності ланок СЛЛ в точках згущення прийняти рівними визначеному  $\gamma_{min}^1$ . При цьому

$$\gamma_{min}^1 = \frac{1}{2}\gamma_{min}^0, \text{ где } \gamma_{min}^0 = \min(\gamma_i^0), \gamma_i^0 > 0 \quad (5)$$

- вибір  $\gamma_{cp}^1$  із умови

$$\gamma_{i-0,5cp}^1 = \frac{1}{2}\min(\gamma_{i-1}^0, \gamma_i^0), \quad i = \overline{2; n-1} \quad (6)$$

так що кут суміжності в точках згущення приймається рівним половині меншого з кутів суміжності ланок СЛЛ вихідної ДПК в сусідніх вузлах, що примикають до точки згущення.

Очевидно, що при такій організації обчислювального процесу жодне з рівнянь системи (1) не буде порушено, оскільки верхньою межею значення кута суміжності в вузловій точці, коли ще не можлива осциляція, є  $\gamma_i^1 = 0$ . Тоді  $\gamma_{i-0,5}^1$  або  $\gamma_{i+0,5}^1$  виявиться рівним  $\gamma_i^0$ , що неможливо а ні в (5), а ні в (6).

Отже, всі значення кутів суміжності СЛЛ згущеної ДПК будуть невід'ємними, що гарантує відсутність її осциляції при побудові згущення як тим, так і іншим способом.

Звернемо увагу на те, що згідно з (6) розраховуються і кути суміжності  $\gamma_{1,5}, \gamma_{2,5}, \dots, \gamma_{n-1,5}$  в точках згущення. Для незамкненою ДПК невизначеними виявляються значення  $\gamma_{0,5}^1$  і  $\gamma_{n-0,5}^1$ . Можна прийняти  $\gamma_{0,5}^1 = \gamma_1^1$  та  $\gamma_{n-0,5}^1 = \gamma_{n-1}^1$ . Тоді на підставі тотожності (1)

$$\gamma_{0,5}^1 = \frac{1}{3}(2\gamma_1^0 - \gamma_{1,5}^1), \quad \gamma_{n-0,5}^1 = \frac{1}{3}(2\gamma_{n-1}^0 - \gamma_{n-1,5}^1) \quad (7)$$

Розглянемо умову

$$\gamma_{i+0,5}^1 = \frac{1}{2}(\gamma_i^1 + \gamma_{i+1}^1), \quad (8)$$

згідно якій графік залежності  $\gamma^1$  від  $N$  (номера точки) буде кусково-лінійчатим із зламами у вузлах вихідної. После подстановки виразу (8) в основну тотожність (1) меємо:

вузол 1:

$$2\gamma_{0,5}^1 + 5\gamma_1^1 + \gamma_2^1 = 4\gamma_1^0 \quad (9)$$





проміжні вузли:

$$\gamma_{i-1}^1 + 6\gamma_i^1 + \gamma_{i+1}^1 = 4\gamma_i^0, \quad i = \overline{2; n-2} \quad (10)$$

передостанній вузол  $n$ :

$$\gamma_{n-2}^1 + 5\gamma_{n-1}^1 + 2\gamma_{n-0,5}^1 = 4\gamma_{n-1}^0 \quad (11)$$

Для більш ефективної організації обчислень бажано знаходити кути суміжності не в вузлових точках, а в точках згущення.

Із основної тотожності (1) маємо:

$$\gamma_i^1 = \frac{1}{2} (2\gamma_i^0 - \gamma_{i-0,5}^1 - \gamma_{i+0,5}^1), \quad i = \overline{1; n-1} \quad (12)$$

Підставляючи рівняння для визначення для  $\gamma_i^1$  та  $\gamma_{i+1}^1$  із (12) в (10), отримуємо різницеву схему другого порядку:

$$\gamma_{0,5}^1 + 6\gamma_{1,5}^1 + \gamma_{2,5}^1 = 2(\gamma_1^0 + \gamma_2^0) \quad (13)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\gamma_{n-2,5}^1 + 6\gamma_{n-1,5}^1 + \gamma_{n-0,5}^1 = 2(\gamma_{n-2}^0 + \gamma_{n-1}^0)$$

Запишемо (13) в загальному вигляді

$$\gamma_{i-0,5}^1 + 6\gamma_{i+0,5}^1 + \gamma_{i+1,5}^1 = 2(\gamma_i^0 + \gamma_{i+1}^0), \quad i = \overline{1; n-1} \quad (14)$$

Схема (14) має для  $n+1$  точок вихідної ДПК (починаючи із нульової)  $(n-2)$  рівнянь з  $n$  невідомими.

Для отримання єдиного рішення необхідно заздалегідь задати будь-які два кути суміжності  $\gamma^1$  (наприклад  $\gamma_{0,5}^1$  та  $\gamma_{n-0,5}^1$ ) із всієї множини, а інші визначити із системи (13).

Оскільки різницєва схема є стійкою, то для її рішення можна застосувати ефективний метод прогонки. При цьому виникають ускладнення в визначенні початкових умов, так, як їх призначення не повинно викликати осциляції рішення ( $\gamma_{i+0,5}^1 > 0, i = \overline{0; n-1}$ ).

Очевидно, що є область рішення в просторі початкових умов, яка задовольнить зазначені вимоги. В даному випадку це простір -

двовимірною площиною, а область рішення - багатокутник, обмежений прямими, що виражають обмеження  $\gamma_{i+0,5}^I > 0$

Якщо вибрати, в якості початкових умов, значення  $\gamma_{0,5}^I$  та  $\gamma_{n-0,5}^I$ , то рішення знаходиться в системі координат  $0, \gamma_{0,5}^I, \gamma_{n-0,5}^I$  обмеженого позитивним напрямком вказаних вісей та прямими обмежень  $\gamma_{i+0,5}^I > 0$ . Якщо  $\gamma_{i+0,5}^I$  виразити із системи (13) через змінні  $\gamma_{0,5}^I$  та  $\gamma_{n-0,5}^I$ , то можна затверджувати, що вихідна ДПК є опуклою, а область рішення завжди існує.

Вочевидь, що без допомоги ПЕОМ рішення системи (13) в символічному вигляді та визначення координат точок згущення є громоздким та трудомістким процесом..

Для програмної реалізації запропонованої методики комп'ютерного проектування внутрішніх (робочих) поверхонь насадок для фонтанів із використанням алгоритму згущення ДПК на основі серединних перпендикулярів було застосовано яzik програмування Delphi та API AutoCAD. Зв'язок Delphi з AutoCAD реалізується за рахунок використання COM-об'єктів. Для реалізації можливостей взаємозв'язку Delphi з AutoCAD необхідно транслюювати в Delphi бібліотеку типів AutoCAD.

Для початку роботи необхідно відмітити змінні, які будуть використовуватись в подальшому (рис. 5).

```
var
  // Змінна AutoCAD
  AutoCAD: OleVariant;
  // Масив змінних декартових координат точок
  x, y: array of real;
  l, d, u, m, n: array of real;
  i, j, len, c, bg: integer;
  // Масив змінних декартових координат точок згущення
  tmp, tX, tY: real;
  tmpX, tmpY: array of real;
```

Рис. 5. Лістинг програмного коду для визначення змінних

Перед початком проектування робочої поверхні форсунки за допомогою запропонованого програмного забезпечення необхідно

задати початкові точки для подальшого обчислення. Для цього використовується поле введення координат точок ДПК «X», «Y» та кнопка «Додати точку».

Якщо дані введені з помилкою, програма дозволяє виправити або видалити невірно введені значення використовуючи команди «Змінити вибрану точку» та «Видалити» відповідно.

Після того, як додано значення всіх точок, виправлена, при необхідності, інформація про положення точок профілю внутрішньої поверхні насадки, необхідно натиснути кнопку «Виконати» для обчислення координат точок згущення проектованого профілю насадки для фонтану згідно вимог замовника (рис.6).

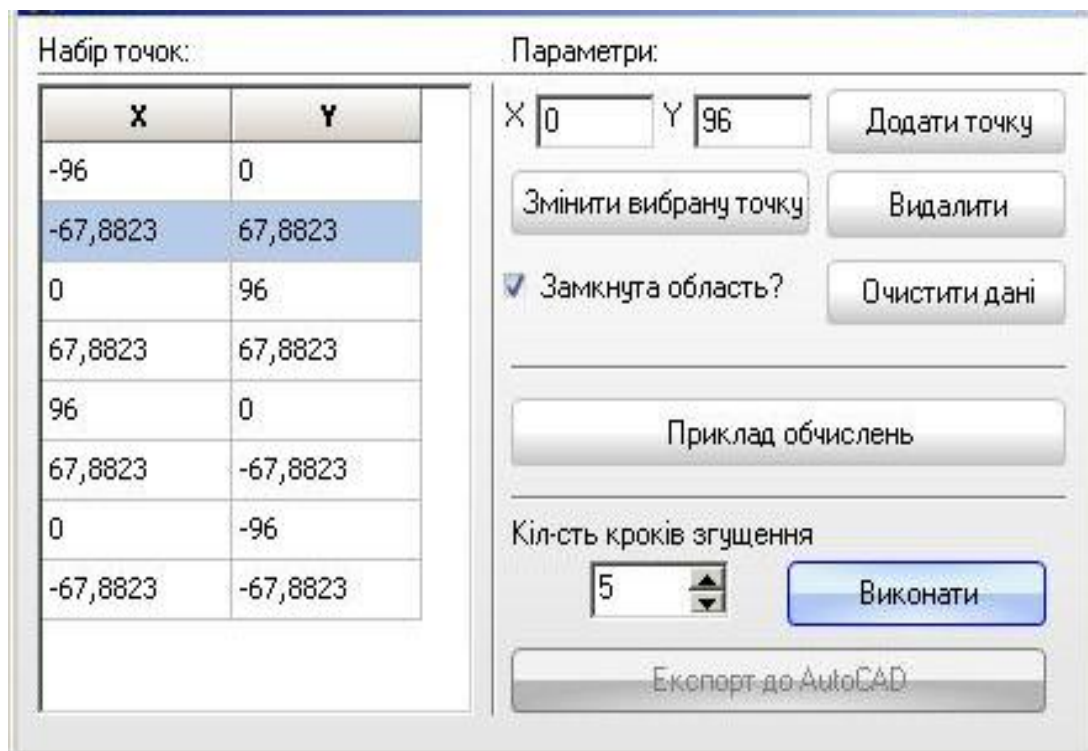


Рис. 6. Інтерфейс головного вікна програми для розрахунку точок згущення

Після отримання координат точок згущеної ДПК здійснюється експорт результатів обчислення в CAD систему AutoCAD натиснувши кнопку «Експорт до AutoCAD» (рис.6), після чого отримуємо ескіз розрахованого профілю для подальшого моделювання насадки фонтану (рис.7). Слід зазначити, що для більш наочної ілюстрації роботи програми, авторами було дороблено зображення ескізу, на якому розраховані точки профілю відображено у вигляді кіл, а

ординати точок – суцільними тонкими лініями. Насправді, ескіз розрахункового профілю насадки для фонтану експортується в систему AutoCAD у вигляді сплайна, який проходить через розраховані точки (рис. 8).

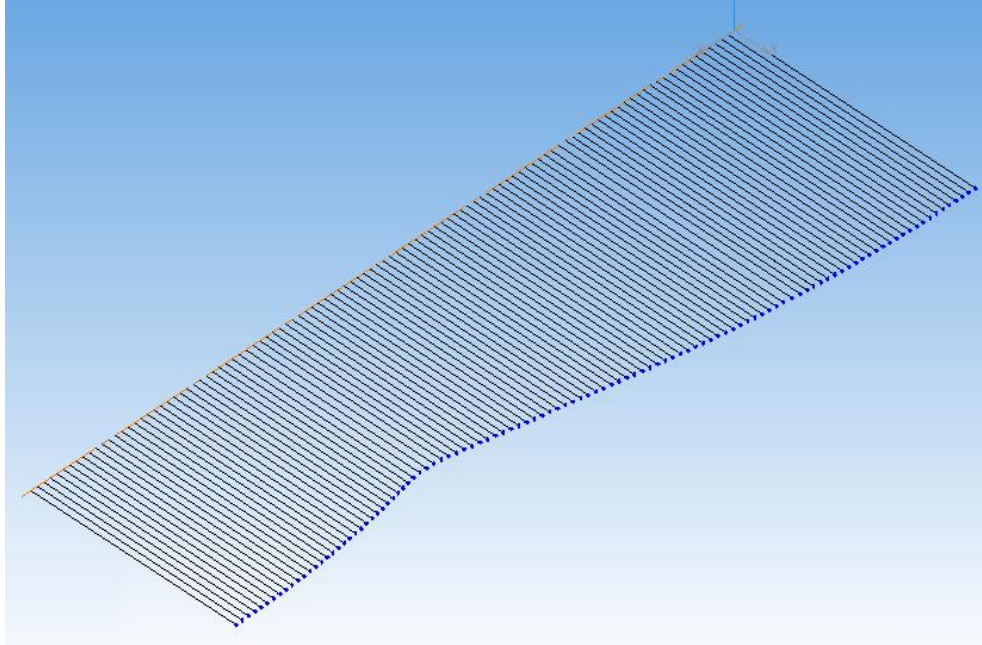


Рис.7. Ілюстрація роботи розробленого програмного забезпечення, для отримання 3D моделі розрахованого профілю

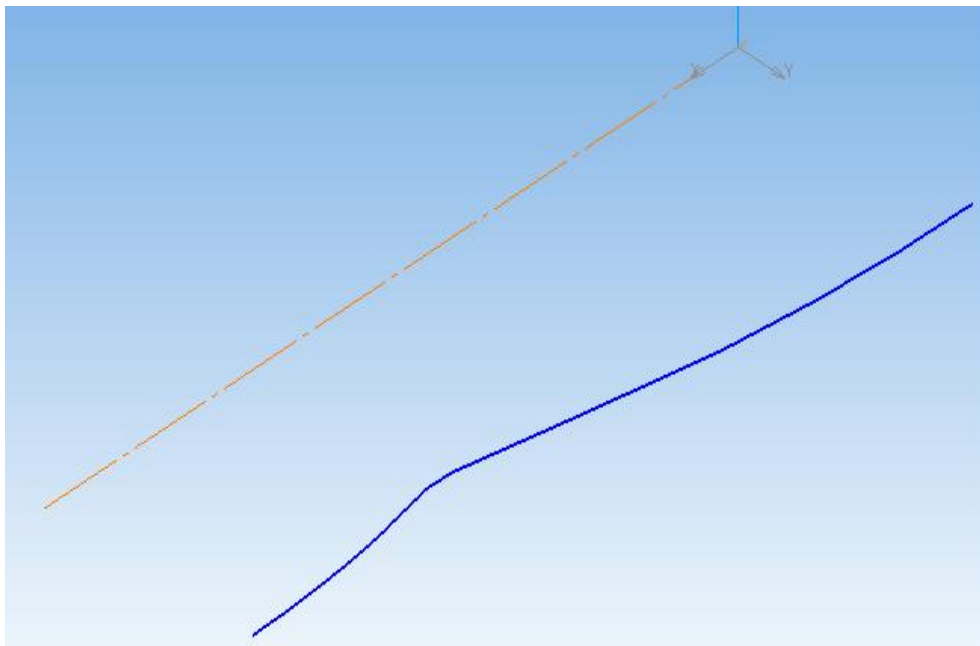


Рис. 8. Ескіз розрахованого контуру робочої поверхні насадки

На рисунку 9 представлена 3D модель робочої поверхні насадки для фонтана, яку виконано із засосуванням розробленого авторами роботи програмного забезпечення. Зауважимо, що виріз чверті поверхні виконано для більшої наочності геометричної форми насадки.

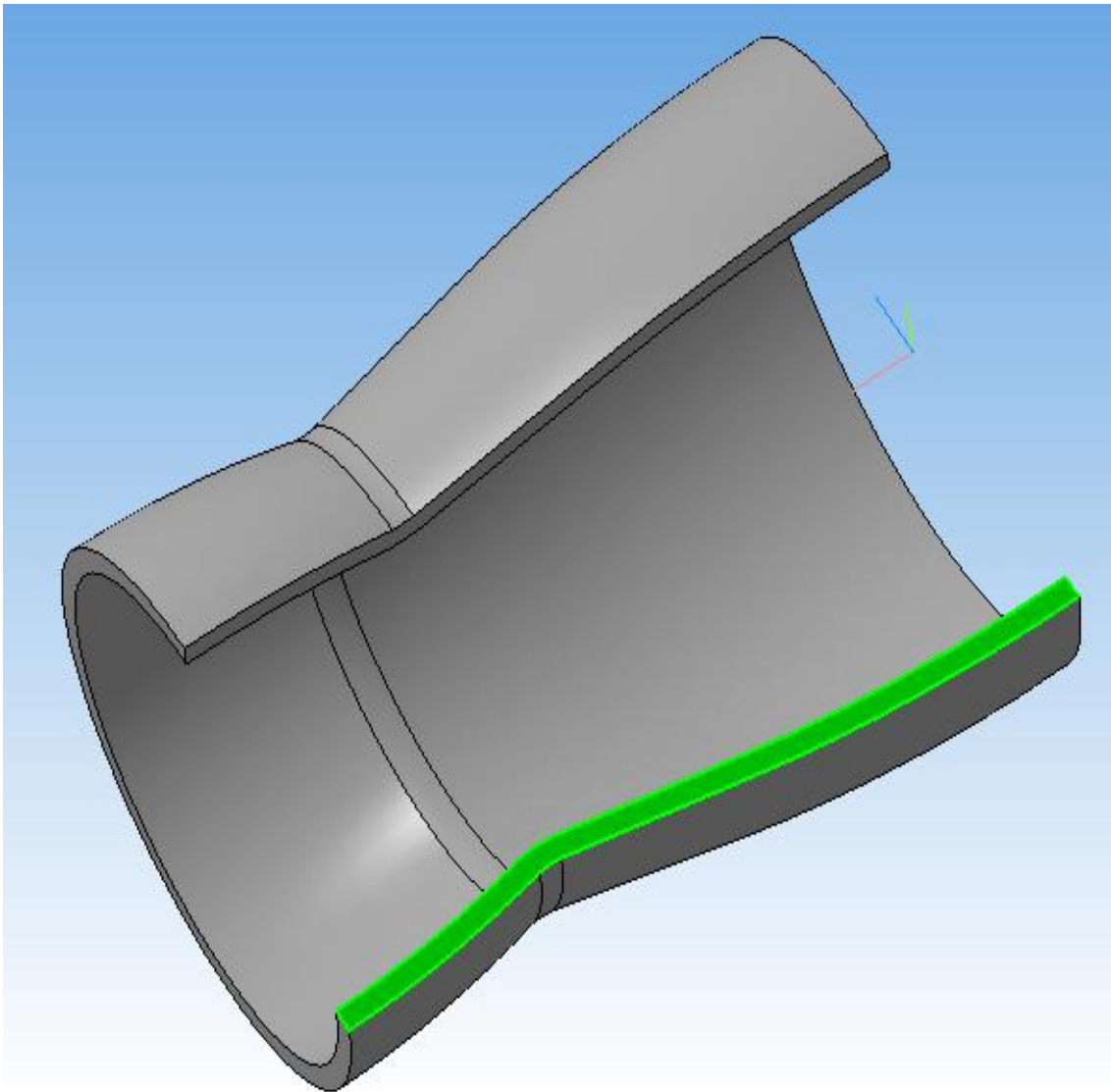


Рис. 9. 3D модель робочої поверхні насадки для фонтана, яку виконано із засосуванням розробленого програмного забезпечення

*Висновки.* В роботі проведено аналіз попередніх досліджень і виявленні недоліки у конструкції насадок для фонтанів. З метою усунення виявлених недоліків запропоновано методика розрахунку точок робочого профілю насадки, поверхня якої побудована на основі інтерполяції ДПК за допомогою серединних перпендикулярів. Також,



в роботі пропонується розроблене програмне забезпечення для комп'ютерного проектування виробу у САД системі AutoCAD.

### *Література*

1. *Пажи Д.Г.* Основы техники распыливания жидкостей /Д.Г.Пажи, В.С.Галустов//– М. Химия, 1984.
2. *Витман Л.А.* Распыливание жидкости форсунками /Л.А.Витман, Б.Д.Кацнельсон, И.И.Палеев// Изд-во «ГЭИ», 1962.
3. *Щербина В.М.* Моделирование спиралеобразных дискретно представленных кривых / Виктор Михайлович Щербина [Текст]: Дис. к.т.н.: 05.01.01 - прикладная геометрии, инженерная графика. Научн. конс. д.т.н. В.М. Найдыш. ТГАТА. - Мелитополь, 2002. - 139 с.
4. *Верещага В.М.* Дискретно-параметрический метод геометрического моделирования кривых линий и поверхностей: / Виктор Михайлович Верещага [Текст]: Дисс... д-ра техн. наук: 05.01.01. - Мелитополь, 1996. - 320 с.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАСАДОК ДЛЯ ФОНТАНОВ**

А.Е.Мацулевич, В.М.Щербина, С.В.Залевский

### *Аннотация*

**Проведен анализ конструкторских насадок для фонтанов. Выявлено, что некачественно выполненные насадки не позволяют создать геометрически правильный водный рисунок, имеют повышенное брызгообразование, требуют повышенную мощность насоса, не соответствуют заявленным характеристикам, создают повышенный шум и проблемы в эксплуатации и не позволяют полноценно реализовать идею, заложенную в проекте фонтана.**



Для устранения проблемы возникновения этих недостатков предложена методика расчета точек профиля насадки, поверхность которой построена на основе интерполяции ДПК с помощью срединных перпендикуляров.

Кроме методики геометрического моделирования рабочей поверхности насадки разработано программное обеспечение для компьютерного проектирования изделия в САД системе AutoCAD.

## **AUTOMATION OF PROCESS OF GEOMETRICAL MODELLING OF WORKING SURFACES NOZZLES FOR FOUNTAINS**

A. Matsulevych, V. Sherbina, S. Zalevskyi

### *Summary*

The analysis constructs nozzles for a fountain is lead. It is revealed, that poor executed nozzles do not allow to create vector ally correct water figure, have raised development of spatter, demand the raised capacity of the pump, do not correspond to the declared characteristics, create the raised noise and problems in operation and do not allow is high-grade to realize the idea incorporated in the project of a fountain.

For elimination of a problem of occurrence of these lacks the design procedure of points of a structure of a nozzle which surface is offered is constructed on the basis of interpolation DPC with the help of median perpendiculars.

Except for a technique of geometrical modeling a working surface of a nozzle the software for computer designing a product in CAD to system AutoCAD is developed.



УДК 514.182.3:744

## ВИДИ ПЕРСПЕКТИВИ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Сидорова Н.В., к.т.н.

Доценко Ю.В., к.т.н.

Одеська державна академія будівництва та архітектури,

Тел.: (048) 799-67-98

*Анотація* – Розділ нарисної геометрії «Перспектива» є одним з основних при підготовці фахівців як технічних (проектувальник, інженер-конструктор), так і творчих спеціальностей (архітектор, художник). У сучасній практиці неможливо створення інтер'єрів, предметів побуту без візуалізації і використання наочного зображення. Повне уявлення про виразливий простір (інтер'єр, пейзаж, ландшафтне зображення в дизайні) дає зображення, побудоване за правилами перспективи. До наочних зображень також відносять і аксонометричні проєкції, які зручні для представлення предметів відносно невеликих розмірів. Це елементи машин, деталі приладів, технічних пристроїв.

У статті дана характеристика видів перспективи, наведені наочні приклади, розглянуті найпоширеніші помилки побудови перспективи, описані можливості застосування аксонометричних проєкцій в будівельному матеріалознавстві.

*Ключові слова* – перспектива, аксонометрія, графічна освіта, правила побудови, глибина простору, зображення на площині, візуалізація, наочність.

*Постановка проблеми.* Сьогодні практика проектування орієнтована на комп'ютерні методи побудови креслення. Однак саме основа традиційних методів і методик, націлених на використання олівця, циркуля і лінійки, дає можливість досконало оволодіти навичками побудови перспективи.

*Аналіз попередніх досліджень.* Побудова перспективи реалізована в усіх графічних пакетах САПР. Однак сучасні комп'ютерні 3D методи побудови не дають реалістичних зображень з дотриманням всіх законів геометричної перспективи.



Технічно можливо побудувати перспективу з довільними параметрами, але механічні дії, задані програмою, не можуть розвинути об'ємно-просторове мислення. Як наслідок - відсутність графічних навичок. Графічна освіта - це широкий кругозір знань, умінь і навичок. Сукупність досягнень в області розробки і освоєння графічних способів передачі інформації - це графічна культура.

*Формулювання цілей статті.* Уміння використовувати перспективні зображення в залежності від призначення, креслити аксонометричні проєкції різного ступеня складності надасть можливість застосовувати отримані знання для графічної інтерпретації рішення всіляких завдань в різних сферах діяльності та багатьох науках.

*Основна частина.* При створенні зображення в перспективі виникають зміни розмірів, обрисів і чіткості предметів, які здаються. Вони обумовлені ступенем віддаленості їх від точки спостереження. Наприклад, якщо два об'єкти однакові, то в міру віддалення від спостерігача цілком можуть сприйматися неоднаковими, дві паралельні прямі можуть здаватися не тільки непаралельними, а сходитися в одній точці (точці сходу). Ці властивості зорового сприйняття називають перспективними скороченнями.

Закони перспективи були відкриті майстрами Відродження, що розробили математично точну систему побудови простору (рис.1).



Рис. 1. Приклад побудови (фрагмент) перспективи карниза

Залежно від призначення перспективного зображення перспектива включає наступні види:

- **Пряма лінійна перспектива**, яка також називається ренесансною. Леонардо да Вінчі писав, що теорія лінійної перспективи роз'яснює явища видимих форм, величини і кольори в залежності від їх положення в просторі.

Закон (прямої лінійної) перспективи формулюється таким чином: паралельні лінії, що віддаляються від спостерігача вдалину, зближуються і сходяться в одній точці на лінії горизонту (точка сходу); однакові предмети і об'єкти при віддаленні від спостерігача здаються менше за розміром і сходяться в одній точці на лінії горизонту. Закон лінійної перспективи встановлює правила, дотримуючись яких можна створити ілюзію просторової глибини плоского зображення (рис. 2). По суті вони зводяться до того, що слід зображати проекції реальних об'єктів на площину рисунка (екран) з точки, де розташовано око спостерігача [1].



Рис. 2. Пряма лінійна перспектива

Це той вид перспективи, який детально вивчають на архітектурних спеціальностях, даючи можливість студентам вивчити всі тонкощі побудов, використовуючи олівець і лінійку.

- **Зворотна перспектива** використовувалася в Давньоруському та Візантійському іконописі, де предмети збільшуються при віддаленні від глядача, ніби точка сходу знаходиться не на горизонті, а всередині самого глядача. Серед причин появи зворотної перспективи найпростішою і очевидною для критиків було невміння художників зображати світ, яким його бачить спостерігач. Тому таку систему перспективи вважали помилковою. Однак для застосування такої техніки знайшлися релігійні підстави. Це - як би відображений образ Світу перед очима Бога, який бачить його в звичайній перспективі. Яскравим прикладом такої перспективи є ікона «Покладення в труну» (рис. 3).



Рис. 3. Ікона «Покладення в труну»

Іноді використання зворотної перспективи давало ряд переваг: наприклад, вона дозволяла розгортати будови так, щоб відкривалися деталі, які прикриті, що розширювало інформативність іконного оповідання. Але якщо художник хоче створити реалістичний образ простору в цілому, то він повинен слідувати ренесансній перспективі з фіксованим центром.

- **Сферична перспектива.** Сферичні спотворення можна спостерігати на сферичних дзеркальних поверхнях. При цьому очі глядача завжди знаходяться в центрі відображення на кулі. Це позиція головної точки, яка реально не прив'язана ні до рівня горизонту, ні до головної вертикалі. При зображенні предметів в сферичній перспективі всі лінії глибини матимуть точку сходу в головній точці і будуть залишатися строго прямими. Всі інші лінії будуть в міру віддалення від головної точки все більше згинатися, трансформуючись в коло.

- **Повітряна (тональна) перспектива.** Повітряна перспектива характеризується зникненням чіткості і ясності обрисів предметів у міру збільшення відстані від очей спостерігача. При цьому дальній план характеризується зменшенням насиченості кольору (таким чином, глибина здається світлішою, ніж передній план). Повітряна перспектива пов'язана зі зміною тонів, тому вона називається також і тональною перспективою. Червоний при віддаленні набуває фіолетового відтінку, жовтий - зеленувато-жовтого, зелений - синього фіолетовий - брудно-синього, чорний світлішає, сірий темніє, білий набуває жовтуватого відтінку. Контури стають м'якше, світлі предмети на жовтому тлі стають більше (рис.4) [2].



Рис. 4. Приклад повітряної перспективи

- **Панорамна перспектива.** Слово «панорама» означає «все бачу», тобто в буквальному сенсі це перспективне зображення на картині всього того, що глядач бачить навколо себе. При зображенні точку зору розташовують на осі циліндра (або в центрі кулі), а лінію горизонту - на колі, що знаходиться на висоті очей глядача. Тому, розглядаючи панораму, глядач повинен знаходитись в центрі круглого приміщення, де зазвичай розміщують оглядовий майданчик.

Композиція перспективи інтер'єру може бути різною. Вона залежить від задуму художника і, відповідно до нього, від вибору положення елементів апарата проектування, а саме: від висоти лінії горизонту, положення головної точки картини і дистанційної точки (рис.5) [3].



Рис. 5. Перспектива інтер'єру

У ландшафтному мистецтві глибина пейзажу є реальністю і вимагає відповідного підходу. Спостерігаючи зміни кольору предметів у міру їхнього віддалення, ми отримуємо відчуття далі,

повітряного простору. Тут працюють ефекти повітряної перспективи, які залежать від прозорості повітря, його забруднення, насиченості водяними парами.

Використання законів перспективи дозволяє посилити виразність простору, виявити і підкреслити його глибину або, навпаки, візуально скоротити (рис. 6).



Рис. 6. Перспектива палацово-паркового комплексу Сан-Сусі в Німеччині

- Існує ряд помилок, які припускають при побудові перспективи:
- лінії не досягають точки сходу,
  - глибина простору (потрібно бути обережним з лінією горизонту),
  - повторення глибини,
  - лінії без зміни ширини, різна товщина ліній дає відчуття глибини. Об'єкти, що ближче до нас, мають більш товсті лінії, і навпаки.
  - шаблони і деталі, які прагнуть до нескінченності. Потрібно пам'ятати, що речі виглядають менше в міру наближення до горизонту,
  - об'єкти, які не мають глибини і закінченості,
  - збільшена центральна перспектива. У центральній перспективі є обмеження: не переносити об'єкт занадто далеко, він буде виглядати дійсно дивно,
  - недоречні точки сходу і перебільшення перспективи (розміщення точок сходу занадто близько або всередині площині),
  - об'єкти поза перспективи (об'єкти повинні відповідати навколишньому оточенню).

Аксометрія, як і перспектива використовується для візуалізації об'єктів, також володіє великою наочністю, але більш зручна і порівняно проста в побудові. Аксометрія допомагає краще зрозуміти форму конструкцій, їх взаємодію, опираючись, а також загальну форму будівлі і її зовнішній вигляд. Аксометрія (від грец.

«вісь» та «вимірюю») - один з видів перспективи, заснований на методі проектування (отримання проекції предмета на площині), за допомогою якого наочно зображують просторові тіла на площині паперу. Аксонометрію інакше називають паралельною перспективою. Аксонометрія, як і зворотна перспектива, довгий час вважалася недосконалою, і аксонометричні зображення сприймалися так, що не мають наукового обґрунтування. Однак при передачі видимого вигляду невеликих предметів, що знаходяться близько, найбільш природне зображення виходить саме при використанні аксонометрії. Аксонометрія ділиться на три види:

1. Ізометрія, де вимір по всіх трьох координатних осях однаковий (рис. 7);

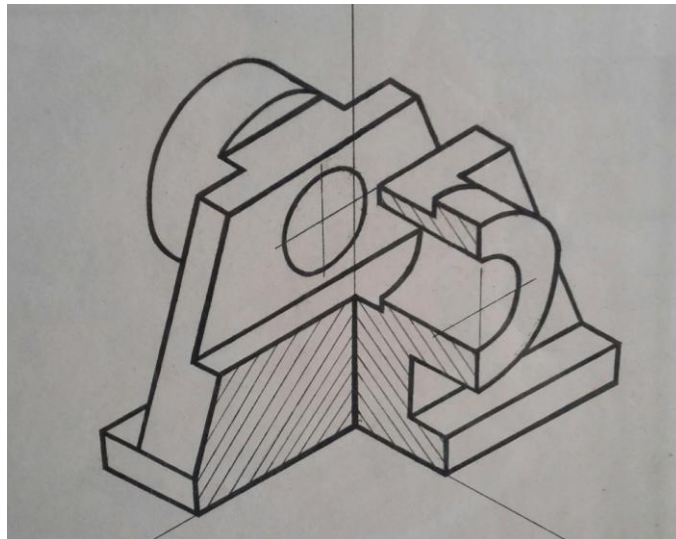


Рис. 7. Технічна деталь в прямокутній ізометрії

2. Діметрія, де вимір по двох координатних осях однаковий, а за третьою – інший;

3. Триметрія – вимір по всіх трьох осях різний [3].

Розглядаючи можливості застосування аксонометрії для візуалізації результатів досліджень в області, наприклад, будівельного матеріалознавства, можна відзначити, як змінюються в тривимірному просторі фізико-механічні властивості силікатних матеріалів, як моделюються результати фізико-механічних методів досліджень [4].

У прямокутній ізометрії будь-яка точка (лінія, площина) будується за допомогою аксонометричної ламаної лінії, що складається з відрізків координат  $x$ ,  $y$  та  $z$  кожної характерної точки.

Для одного предмету або його властивості можна побудувати різні аксонометричні зображення. Кращим з них буде те, яке забезпечує якісну візуалізацію і простоту побудови.

В результаті дослідження фізико-механічних властивостей модифікованих силікатних матеріалів безавтоклавного твердіння були отримані експериментально-статистичні моделі зміни максимальних значень пористості  $P_{\text{заг}}$ , які обчислені при оптимальних значеннях величини питомої поверхні мінеральної добавки під впливом технологічних параметрів з урахуванням сумішевих взаємодій і графічно зображені у вигляді куба зі сумішевими трикутниками. За підсумками обчислювального експерименту було побудовано ізоповерхні зміни загальної пористості [5].

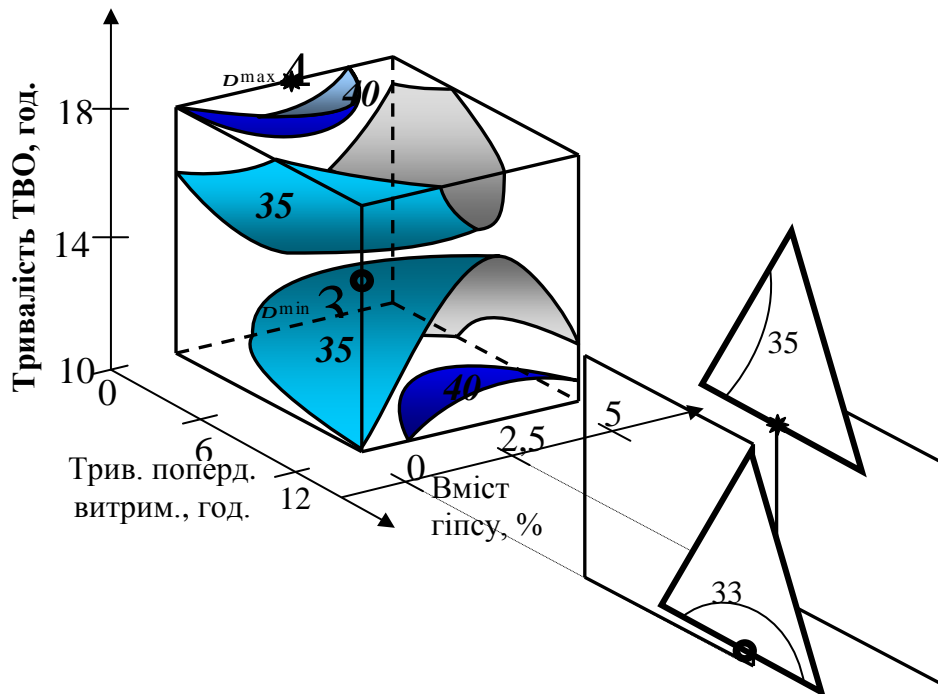


Рис. 8. Зміна максимальних значень загальної пористості, які розраховані при оптимальних значеннях питомої поверхні мінеральної добавки

Для наочності ізоповерхні розташовані в тривимірному просторі, де по осях  $x$ ,  $y$  та  $z$  вимірювалися вміст добавки гіпсу, тривалість попереднього витримування та тривалість тепловологої обробки відповідно (рис. 8).

На рис.9 наведено графічне відображення узагальнюючого показника  $\Delta m_{\text{min}}$ , яке ілюструє можливі зміни втрати маси як показника інтенсивності кристалізації в залежності від сумішевих та рецептурно-технологічних факторів з урахуванням їх взаємодій.

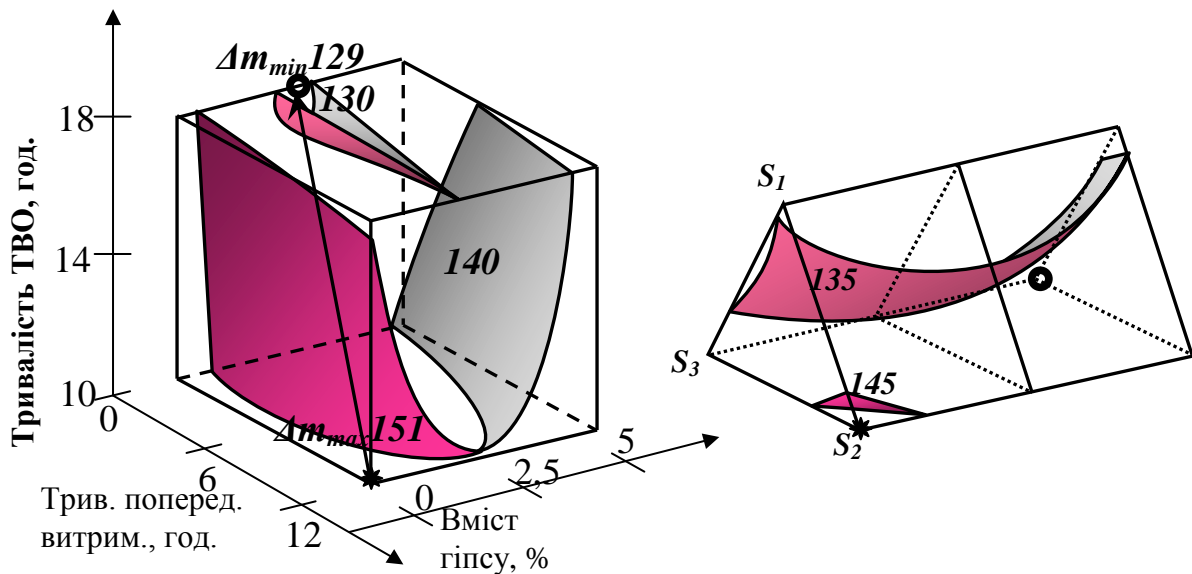


Рис. 9. Максимальна зміна ступеня гідратації, яка обчислена при відповідних значеннях питомої поверхні мінеральної добавки

*Висновки.* Використання прийомів перспективи не обмежується зображеннями на площині (живопис, графіка, рельєф). Воно зустрічається в архітектурі, сценографії, садово-парковому мистецтві.

За допомогою аксонометричних зображень можливо отображати наочно результати досліджень в області будівельного матеріалознавства, а саме візуалізувати зміни значень властивостей на різних складах, на різних режимах витримування та як моделюються результати фізико-механічних методів досліджень.

#### Література

1. Корзинова Е.И. Перспектива /Е.И. Корзинова//. – М.: МПГУ, 2004.
2. Раушенбах Б.В. Системы перспективы в изобразительном искусстве: Общая теория перспективы / Раушенбах Б.В.// – М.: Наука, 1986.
3. Короев Ю.И. Начертательная геометрия /Ю.И.Короев// – М.: Стройиздат, 1987.
4. Сидорова Н.В. Оптимізація силікатних матеріалів неавтоклавного твердіння по комплексу критеріїв якості з використанням елементів аксонометрії. /Н.В.Сидорова, Ю.В.Доценко, А.О.Перпері// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету - Вип. 4, т. 39. - Мелітополь: ТДАТУ 2008. – С.119 – 122.
5. Сидорова Н.В. Застосування методів нарисної геометрії в області будівельного матеріалознавства /Н.В.Сидорова, Ю.В.Доценко// International periodic scientific journal SWorld Issue №13. Published by Yolnat PE, Minsk, Belarus. – С.149-154.





## **ВИДЫ ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Сидорова Н.В., Доценко Ю.В.

### *Аннотация*

**Раздел начертательной геометрии «Перспектива» является одним из основных при подготовке специалистов как технических (проектировщик, инженер-конструктор), так и творческих специальностей (архитектор, художник). В современной практике невозможно создание интерьеров, предметов быта без визуализации и использования наглядного изображения. Полное представление о выразительном пространстве (интерьер, пейзаж, ландшафтное изображение в дизайне) дает изображение, построенное по правилам перспективы. К наглядным изображениям также относят и аксонометрические проекции, удобные для представления предметов относительно небольших размеров. Это элементы машин, детали приборов, технических устройств.**

**В статье дана характеристика видов перспективы, приведены наглядные примеры и распространенные ошибки построения перспективы, описаны возможности применения аксонометрических проекций в строительном материаловедении.**

## **TYPES OF PERSPECTIVE AND POSSIBILITY OF THEIR APPLICATION**

N. Sydorova, J. Dotsenko

### *Summary*

**Section of a descriptive geometry «Perspective» is one of basic at preparation specialists of both technical (designer, engineer-designer) and creative specialities (architect, painter). In modern practice it is impossible creation of interiors, articles of way of life without visualization and use of evident image. The complete picture of expressive space (interior, landscape, design) gives an image that is built on the rules of perspective. Axonometric projections that are comfortable for presentation of the articles of relatively small sizes also attribute to the evident images. It is elements of machines, detail of devices, technical devices.**

**Description of types of perspective is considered in the article, evident examples and widespread errors of construction of perspective are resulted. And also possibilities of application of axonometric projections are described in a build industry.**



УДК 514.86

## АЛГОРИТМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ХЕШИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИБЛИЗИТЕЛЬНОГО ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ

Дашкевич А.А., к.т.н.,

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

*Тел. (057) 707-64-31*

**Аннотация** – предложена реализация алгоритма и структур данных для пространственного хеширования в многомерных пространствах. Разработанный алгоритм позволяет проводить приблизительный поиск ближайших соседей на многомерных сетках, что позволяет проводить оптимизацию таких задач геометрического моделирования, как аппроксимация и выделение поверхностей из точечных множеств, сегментация поверхностей.

**Ключевые слова** – приблизительный поиск ближайших соседей, пространственное хеширование, аппроксимация, выделение поверхностей, точечное множество, сегментация поверхности.

**Постановка проблемы.** Во многих задачах вычислительной геометрии, компьютерной графики и геометрического моделирования возникает необходимость нахождения объектов, которые находятся в некоторой окрестности от заданного. Для этого используются различные методики. Например: триангуляция полигональных моделей, обнаружение столкновений объектов, аппроксимация и выделение поверхностей из необработанных пространственных данных, заданных в виде точечных множеств.



На данный момент точное решение для такой задачи дают алгоритмы линейного поиска, которые являются вычислительно затратными по времени выполнения. В связи с этим существует необходимость разработки алгоритмов поиска приближенных ближайших соседей с достаточной точностью и вычислительной сложностью в пространствах большой размерности.

*Анализ последних исследований.* Для оптимизации поискового перебора 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 методы, основанные на использовании хеширующих функций, которые однозначно указывают на область пространства, которой принадлежит точка. Одной из проблем при разработке хеширующих функций является возможность возникновения коллизий хешей – получение одинаковых значений хеша для разных областей пространства, поэтому необходимы методы вычисления хешей без коллизий.

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

$$h = \frac{x}{C} \cdot 2^k + \frac{y}{C} \cdot 2^m + \frac{z}{C} \cdot 2^n,$$

где  $C$  – размер сетки;

$k$ ,  $m$  и  $n$  – некоторые константы, такие что,  $k > m > n$   
(или  $k < m < n$ ).



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

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

где  $p_1 = 73856093$ ,  $p_2 = 19349663$ ,  $p_3 = 83492791$  – большие простые числа,

*XOR* – побитовая операция «Исключающее ИЛИ»,

*MODn* – операция нахождения остатка от деления на  $n$ ,

$n$  – общее количество точек.

В работе [10] предложен алгоритм приблизительного поиска ближайших соседей на двумерной сетке для применения в решении задач молекулярной динамики. Предложен следующий алгоритм вычисления пространственного хеша:

1) пространство разбивается на сетку размером  $C \times C$ ;

2) для координат всех точек  $(x, y)$  вычисляются индексы ( $j$  – номер колонки,  $i$  – номер ряда в сетке) клетки, в которой находится данная точка:

$$j = \frac{x}{C}, \quad i = \frac{y}{C}$$

3) по заданным индексам вычисляются значения хеша:

$$h = j \cdot 10^n + i \cdot 10^m,$$

где  $n$  и  $m$  – небольшие целые числа, значения которых зависят от количества разрядов в  $j$  и  $i$ , соответственно (в общем случае  $n = m + 1$ ,  $m = 0$ ).

Одним из преимуществ данного алгоритма является отсутствие коллизий хешей. Однако, данный алгоритм может быть использован



для пространств с  $N = 2$ , что приводит к необходимости его расширения на пространства большей размерности.

*Формулирование целей статьи.* Разработка алгоритма поиска приблизительных ближайших соседей методом упрощённого пространственного хеширования в  $N$ -мерных пространствах.

*Основная часть.* В работе предлагается следующее расширение алгоритма, предложенного в работе [10] для пространственного хеширования в пространствах с  $N > 2$ :

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

$$i_i = \frac{x_1}{C} \dots i_N = \frac{x_N}{C}$$

где  $N$  – размерность пространства;

- 3) по заданным индексам вычисляются значения хеша:

$$h_k = i_i \cdot 10^{P_i} / N$$

где  $P_i = 10^{(N-i) \cdot d}$ ,

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

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

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

$$t = N$$

до тех пор, пока  $t > 0$ , повторять:

$$i_i = h \bmod 10^d$$

$$h = h / 10^d$$

$$t = t - 1$$



Для проверки данные алгоритмы были реализованы средствами языка Python. В качестве тестовых данных были использованы данные карты глубины, полученной методом стереозрения (рис. 1). На рис. 2 представлена визуализация полученного множества хешей, которые соответствуют пространственному разбиению исходного множества на ячейки размером  $C = 8$  для  $N = 3$ . Также были разработаны дополнительные алгоритмы для проведения дальнейших исследований, в частности алгоритм определения ближайших точек в окрестности данной точки, алгоритм фильтрации исходного пространства по критерию количества точек в пределах одной ячейки, что позволит, например проводить сегментацию точечных множеств на отдельные, независимые области.

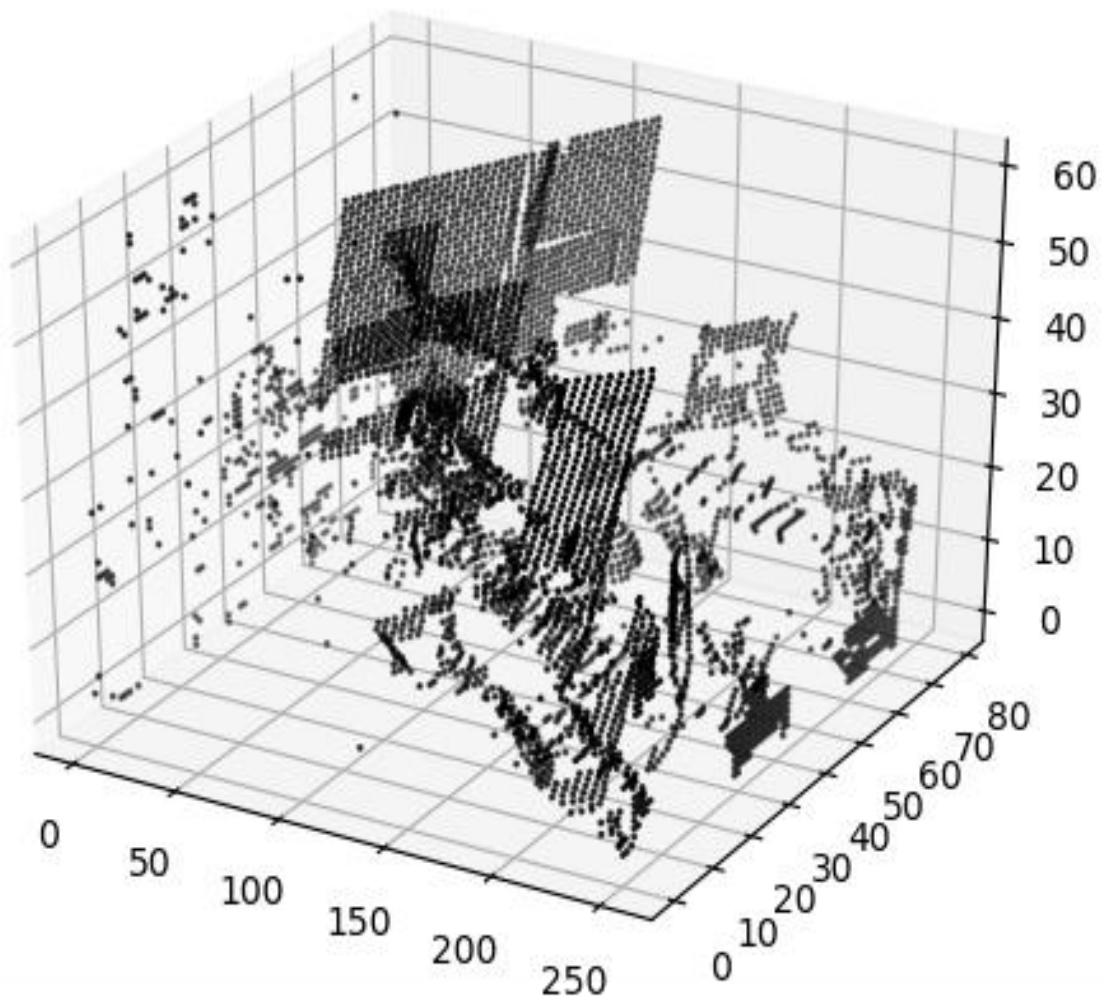


Рис. 1. Исходное множество точек

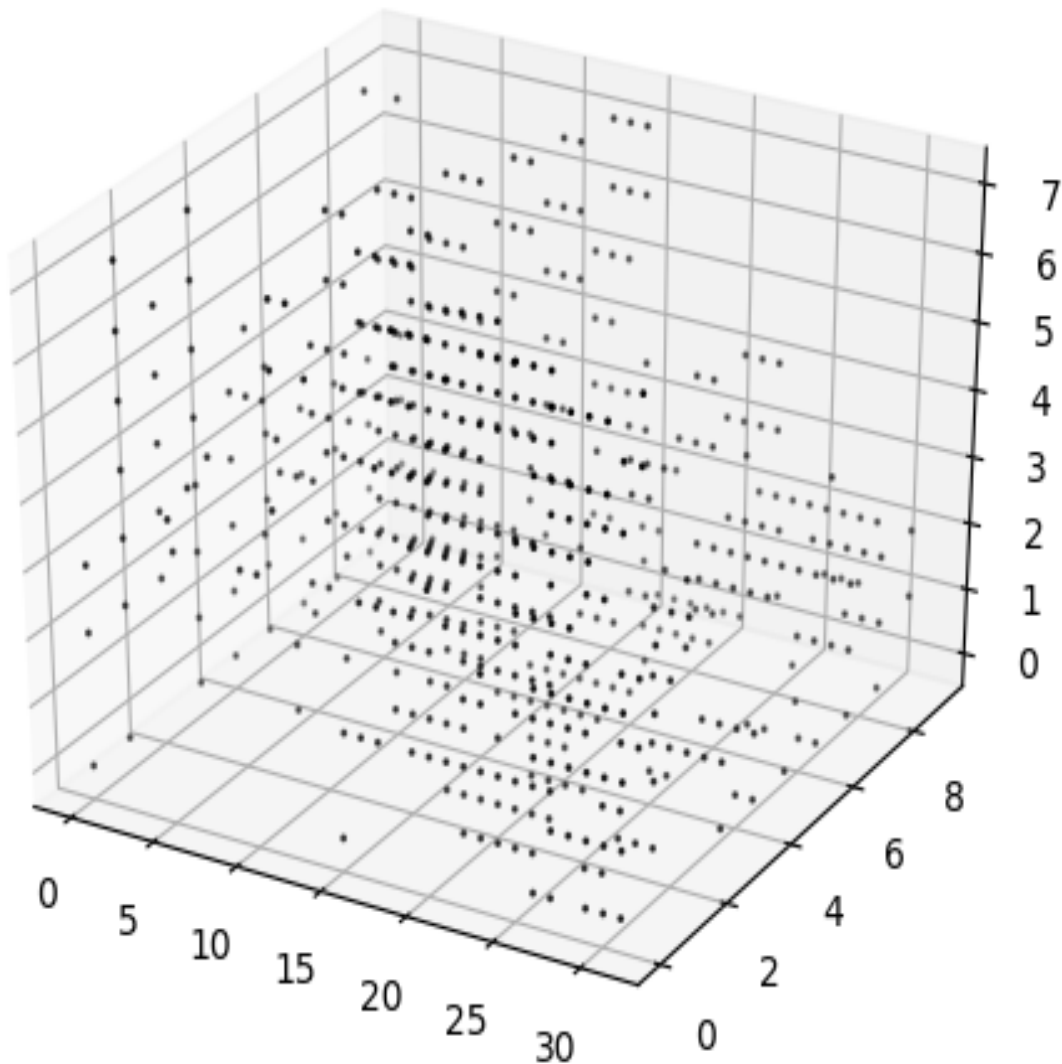


Рис. 2. Визуализация пространственного хеша для множества

Для реализации быстрого поиска точек в пределах одной ячейки разработана структура данных, которая представляет собой хеш-таблицу, ключами в которой выступают значения хешей, а значениями — номера точек исходного множества, которые находятся в пределах заданной ячейки хеша.

*Выводы и перспективы дальнейших исследований.* Разработанный метод позволяет быстрое вычисление приблизительных ближайших соседей для точек в  $N$ -мерном пространстве. Алгоритм требует линейного времени от количества точек для построения хеша. Также одним из преимуществ



разработанного метода является отсутствие коллизий хешей, т.е. каждая ячейка исходного пространства будет иметь уникальный хеш.

### *Література*

1. *Bentley J.L.* Multidimensional Divide and Conquer / J.L Bentley // Communications of the ACM, 1980. – Vol. 23. – Is. 4. – Pp. 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. – Pp. 209–226.
3. *de Berg M.* Computational Geometry: Algorithms and Applications / de Berg M. // – 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 // Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 1984. –Pp. 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.* WhenIs “NearestNeighbor” Meaningful /K.Beyer, J.Goldstein, R.Ramakrishnan, U.Shaft // InInternational Conferenceon Database Theory: Springer, 1999. –Pp. 217–235.
8. *Nguyen H.* (ed.). GPU Gems 3 / Nguyen H. // Addison Wesley, 2007. – P. 1008.
9. *Ize T. Wald I.* 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.





## АЛГОРИТМ ПРОСТОРОВОГО ХЕШУВАННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПРИБЛИЗНОГО ПОШУКУ НАЙБЛИЖЧИХ СУСІДІВ

А.О. Дашкевич

### *Анотація*

Запропоновано реалізацію алгоритму і структур даних для просторового хешування в багатовимірних просторах. Розроблений алгоритм дозволяє проводити приблизний пошук найближчих сусідів на багатовимірних сітках, що дозволяє проводити оптимізацію таких задач геометричного моделювання, як апроксимація і виділення поверхонь з точкових множин, сегментація поверхонь.

## SPATIAL HASHING ALGORITHM FOR APPROXIMATE NEAREST NEIGHBORS SEARCH

A. Dashkevich

### *Summary*

The need of nearest neighbors search arises in many problems of computational geometry, geometric modeling and computer graphics, for example, polygonal mesh triangulation, collision detection, approximation and surface reconstruction from raw point sets. Developing of approximate nearest neighbors search algorithms, that decrease computational complexity, is the actual problem.

Algorithm and data structures for spatial hashing in multidimensional spaces is described in the paper. The algorithm allows to find approximate nearest neighbors on multidimensional grids for optimizing such problems in geometrical modeling, as surface reconstruction and approximation from point-sets, surface segmentation.



УДК 515.2

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО РОЗРОБКИ ТА АНІМАЦІЇ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПЕРСОНАЖУ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРИ

Зубішин І.О., магістрант, \*

Кузьменко А.С., магістрант, \*\*

Сидоренко О.С., к.т.н.,

Сімонова О.Г., к.т.н.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

*Тел. (057) 707-64-31*

**Анотація** – робота присвячена дослідженню засобів та обґрунтуванню рекомендацій щодо розробки та анімації індивідуального персонажу комп'ютерної гри. Розглянуті та проаналізовані засоби, що дозволяють зменшити кількість полігонів без суттєвої втрати візуальної якості моделі.

**Ключові слова** – 3D моделювання, комп'ютерна гра, індивідуальний персонаж, анімація.

*Постановка проблеми.* За короткий час в Україні, як і в інших країнах СНД, відбулися глибокі зміни в різних сферах життя. Серед нововведень, що змінили стиль життя та інтереси осіб різного віку, можна виділити 3D моделювання. Воно направлене на розробку візуального об'ємного образу бажаного об'єкта. Крім практичного використання комп'ютерів у роботі та побуті, спостерігається також поширення використання комп'ютерів у розробці 3D моделей. При цьому модель може як відповідати об'єктам реального світу, так і бути повністю абстрактною. Зараз цей напрямок активно розвивається.

Взагалі 3D моделювання – це досить унікальний процес, який дозволяє створювати не тільки гарні ігри, фільми, а й змінити конструкторську сферу та рівень життя в цілому.

На даний момент розробка та використання індивідуального персонажу – це дуже клопітка робота, що потребує багато часу, адже персонаж має бути не лише приємним для користувача, а й мати довершену механіку рухів та анімації.

---

\* Науковий керівник – к.т.н. Сімонова О.Г.

\*\* Науковий керівник – к.т.н. Сидоренко О.С.

*Аналіз останніх досліджень.* Процес створення реалістичного тривимірного персонажу починається з розробки скелету та завершується його анімацією. В роботі Джейсона Патнода [1] цей процес запропоновано відтворювати за допомогою 3D-редакторів Maya та ZBrush.

Робота Адама Уоткінса [2] присвячена створенню та оптимізації 3D моделей тривимірних ігор за допомогою 3D-редактора Maya та ігрового движка Unity, який дозволяє створювати ігри під більшість популярних платформ.

В роботі [3] для створення персонажу обрано середовище 3D Max. Для оптимізації високополігональної моделі персонажу рекомендовано використовувати комбінований метод (алгоритм видалення невидимих граней і ліній та алгоритм ручного створення низькополігональних моделей). Для досягнення більш реалістичної передачі рухів використовувати плагін Character Studio.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Ціллю даної роботи є дослідження засобів створення індивідуального персонажу «Big Boy» для комп'ютерної гри, а також обґрунтування рекомендацій щодо розробки та анімації цього персонажу.

*Виклад основного матеріалу дослідження.* Кожний персонаж починає своє існування у думках автора, а потім втілюється на папері. Першим етапом розробки персонажу є його схематичне зображення. Такі малюнки називаються скетч. Скетч (у 3D моделюванні) - двомірний ескіз майбутньої 3D моделі. Після створення ескізу треба визначитися з колірною гамою для майбутньої моделі (рис. 1).



Рис. 1. Колірний скетч



Створення кольорового скетчу дає можливість визначитися з колірною гамою 3D моделі на ранніх етапах розробки моделі. Такий спосіб дуже зручний оскільки дає можливість допрацювати скетч моделі за мінімальний проміжок часу і перейти до наступного етапу відтворення моделі, а саме до створення макету.

Для створення макету було проаналізовано можливості різних засобів створення персонажа та візуальних ефектів.

1. Blender. У Blender можна оперувати системами часток, контролювати ваги окремих часток при текстуруванні, застосовувати напрямні при анімації та використовувати зовнішні сили, наприклад вітер. В програмі є симулятор флюїдів, який відкриває перед користувачем величезні можливості по створенню ефектів текучих тіл, таких як дим або рідини.

2. 3D MAX. У 3D`s Max є велика кількість інструментів, необхідних при моделюванні різних архітектурних проектів — від заготовок дверей і вікон різних форм до рослинності, сходів і огорож. Крім того, в даному 3D-редакторі присутні засоби для аналізу і настройки освітленості тривимірного проекту. Також в програму був інтегрований фотореалістичний візуалізатор, який надає можливість досягти високої правдоподібності зображення, що зчитується. [4].

3. SculptrisAlpha, ZBrush. На відміну від інших тривимірних редакторів Sculptris і ZBrush використовують тільки одну техніку 3D-моделювання – тривимірне ліплення. Суть даного способу створення тривимірних моделей полягає в тому, що 3D-художник за допомогою віртуальних кистей надає потрібну форму об'єкту, вдавлюючи або витягуючи окремі ділянки поверхні. Такий спосіб моделювання дуже нагадує ліплення з пластиліну.

4. CINEMA 4D. Інструментарій програми поступово вдосконалювався і розширювався дуже корисними доповненнями. В Cinema 4D є засоби для створення анімації персонажу, середовище для роботи з частками, система фотореалістичної візуалізації і інструменти моделювання. В останніх версіях Cinema 4D істотно перероблений алгоритм візуалізації і розширені можливості обробки тривимірних сцен. Програма дозволяє прораховувати ефекти глобальної освітленості, каустику і підповерхневе розсіювання світла.

Проведені дослідження дозволили обрати 3D`s MAX як засіб створення макету персонажа та ZBrush для його подальшого доопрацювання.

Використовуючи скетч і двовимірні та тривимірні геометричні примітиви такі як паралелограм, коло, куб та сфера, було створено в 3D`s MAX модель образу персонажа «Big Boy». Далі модель доопрацьовувалася у програмі ZBrush для отримання готової основи моделі. Для цього методом витягування полігонів було створено волосся і одяг персонажу, а також відредаговано їх згладженість відповідно до скетч начерку (рис. 2).

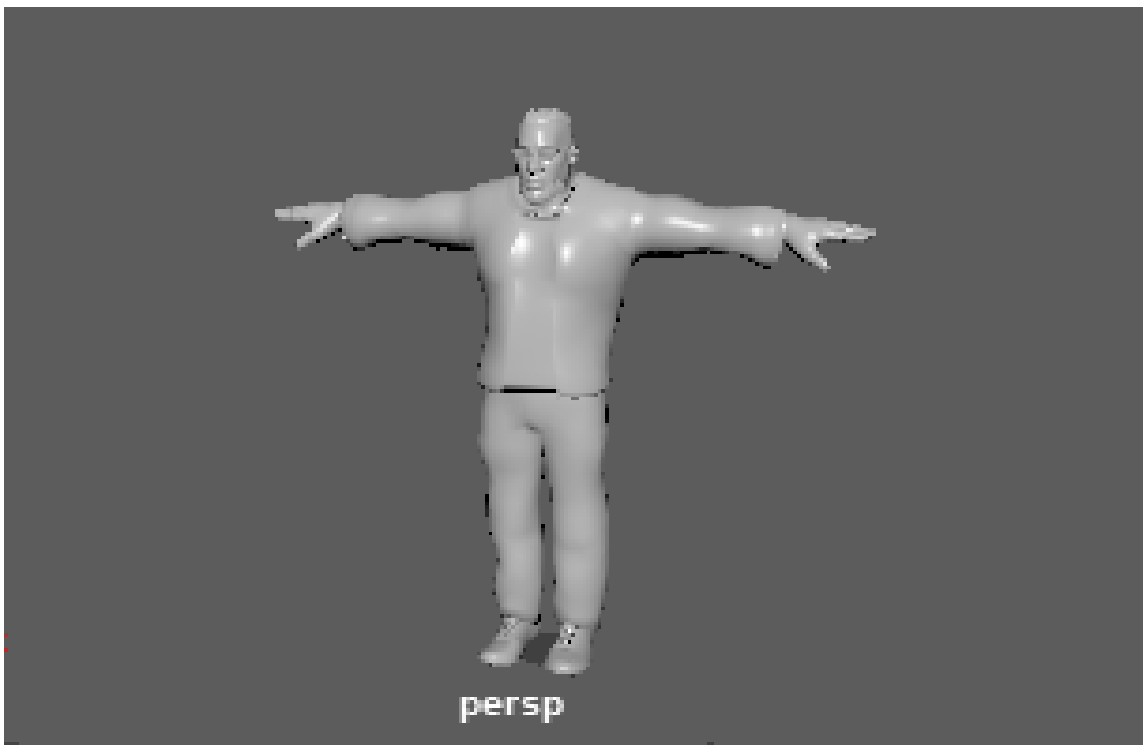


Рис. 2. Відтворення волосся та одягу персонажу

Останнім кроком у створенні персонажу є фарбування або створення текстур для моделі (рис. 3). За допомогою програми 3D-Coat виконано розфарбування моделі та розгортка її текстури, використовуючи вбудований зв'язок для розгортки між 3D-Coat та PhotoShop CS6. Крім того, за допомогою 3D-Coat було підвищено деталізацію тривимірної моделі - деякі деталі було задано за допомогою текстури, завдяки чому модель з середнім числом полігонів стала виглядати як високополігональна.



Рис. 3. Модель персонажу з текстурами

Для анімації персонажу було проаналізовано засоби створення анімації для гри.

1. Unity3D. Движок багатоплатформовий, продуктивний, стабільний і легкий в застосуванні. У нього є ряд незаперечних переваг перед конкурентами і, мабуть, ключове з них в тому, що за ліцензію платити всього один раз. З фінансової точки зору - це вдале рішення, особливо для стартапів і початківців розробників. Реальні мінуси складно визначити з першого погляду [5].

2. CryEngine 3. Якщо в грі основним є зовнішня складова, то необхідно використовувати саме CryEngine 3. Функція Flowgraph допоможе прикрасити гру відмінною графікою.

3. HeroEngine. Цей движок добре зарекомендував себе в створенні мультіплеєрних ігор - взяти хоча б Star Wars: The Old Republic. Ліцензія досить дорога і навряд чи підійде початківцям розробникам.

4. Rage Engine. Мало хто може конкурувати з широким спектром можливостей, які надає Rage Engine. Grand Theft Auto V, Red Dead Redemption і багато інших прославлених проєктів розроблено за допомогою цього движка. Основною перевагою движка є його здатність ефективно обробляти великі ігрові простори.

5. Project Anarchy. Цей потужний ігровий движок подобається багатьом розробникам за наочну і зрозумілу документацію. Так, за

допомогою безкоштовних засобів розробки Project Anarchy можна створювати ігри під платформи Android і Tizen. Розширені можливості доступні за окрему плату. Проте, і у нього є свої недоліки.

6. App Game Kit - кросплатформовий софт для розробників. Головною особливістю і перевагою AGK є підтримка безлічі платформ і можливість розробки одного єдиного проекту для всіх. Цінується за універсальність і легкість в управлінні.

Проведені дослідження дозволили обрати середу Unity як засіб анімації персонажу.

Одним з поширених завдань в ігровій анімації є змішування двох або більше схожих анімацій. Наприклад, це змішування анімацій кроку і бігу відповідно до швидкості персонажа. Іншим прикладом є нахил персонажа вліво або вправо в разі повороту під час бігу. Blend Trees (дерево анімації) використовуються в Unity для плавного змішування декількох анімацій шляхом їх об'єднання. Щоб змішування працювало нормально, переміщення повинні відбуватися на тому ж самому місці при нормалізованому часі. Наприклад, анімації ходьби і бігу прив'язуються так, що в момент контакту ноги з підлогою, вони залишаються на місці при нормалізованому часу (наприклад, ліва нога потрапляє на 0.0, а права на 0.5).

Для анімації основних рухів готового персонажа «Big Boy» було завантажено в середу Unity, де за допомогою відповідних налаштувань дерева анімації (рис. 4) він став рухатися.

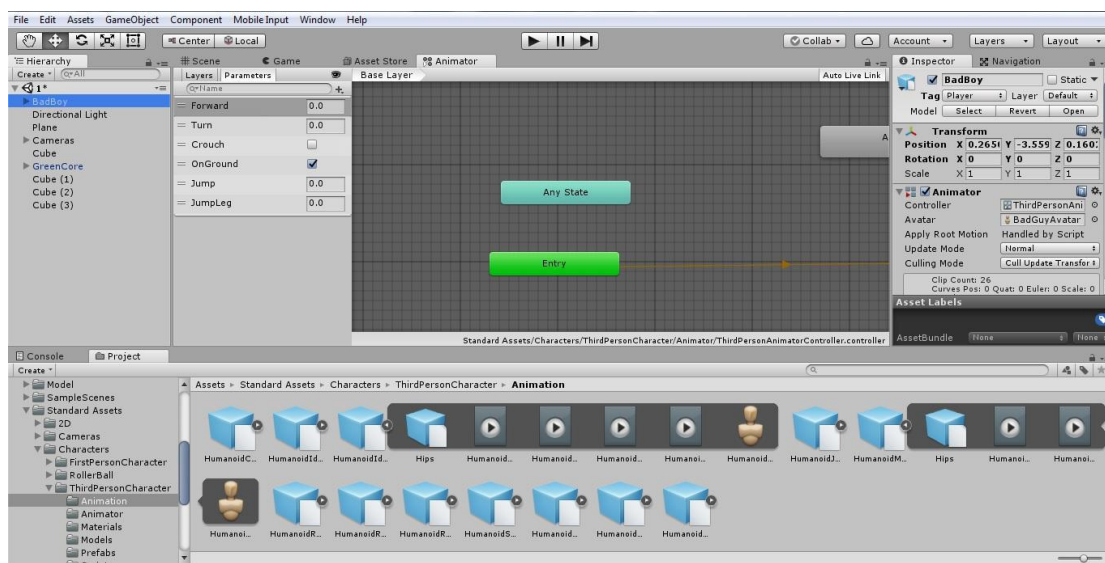


Рис. 4. Дерево анімації



Після налаштування персонаж може ходити вперед, назад та повертати в різні сторони, стрибати та присідати.

*Висновки.* В роботі було досліджено засоби розробки 3D-моделей для створення комп'ютерних ігор та надано рекомендації до їх застосування. В рамках дослідження було розроблено 3D-модель персонажу «Big Boy» за допомогою 3D's MAX та ZBrush. За допомогою програми 3D-Coat виконано розфарбування моделі і розгортку її текстури, використовуючи вбудований зв'язок для розгортки між 3D-Coat та PhotoShop CS6. Крім того, за допомогою 3D-Coat було підвищено деталізацію тривимірної моделі - деякі деталі було задано за допомогою текстури, завдяки чому модель з середнім числом полігонів стала виглядати як високополігональна. Крім того, було зроблено прив'язку анімації до відповідних рухів персонажа за допомогою ігрового движка Unity.

Готова розробка має великий потенціал. Вона може застосовуватися у подальших розробках ігор або мультфільмів, а також може бути виставлена на сайті Unity для платного користування.

#### *Література*

1. *Jason Patnode* Character Modeling with Maya and ZBrush. Professional Polygonal Modeling Techniques. – UK, 2008. – 409 p.
2. *Watkins, Adam.* Creating games with Unity and Maya: creating games with Unity and Maya: how to develop fun and marketable 3D games / Adam Watkins. – London: Reaction, 2011. - 546 p.
3. *Корнійчук А.В.* Розробка та анімація тривимірної моделі персонажа для комп'ютерної гри / А.В.Корнійчук, О.А. Глібко, М.О. Максимова // Теорія та практика дизайну: Збірник наукових праць / Технічна естетика – К.: «Компрінт», 2016. - Вип. 10. - с. 70-77.
4. Келли Мэрдок. Autodesk 3ds Max 2013. Библия пользователя = Autodesk 3ds Max 2013 Bible. - М.: «Диалектика», 2013. - 816 с. — ISBN 978-5-8459-1817-8.
5. Вікіпедія [Електронний ресурс]: Unity (рушій гри). 10 червня 2017 Creative Commons Attribution-ShareAlike. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(рушій\\_гри\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Unity_(рушій_гри)).





**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И ОБОСНОВАНИЕ  
РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И АНИМАЦИИ  
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПЕРСОНАЖА  
КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ**

Зубишин И.О., Кузьменко А.С., Сидоренко Е.С., Симонова О.Г.

*Аннотация*

Работа посвящена исследованию средств и обоснованию рекомендаций по разработке и анимации индивидуального персонажа компьютерной игры. Рассмотрены и проанализированы средства, позволяющие уменьшить количество полигонов без существенной потери визуального качества модели.

**RESEARCH OF THE MEANS AND SUBSTANTIATION OF  
RECOMMENDATIONS FOR THE DEVELOPMENT AND  
ANIMATION OF THE INDIVIDUAL CHARACTER OF THE  
COMPUTER GAME**

I. Zubishin, A. Kuzmenko, O. Sydorenko, O. Simonova

*Summary*

The work is devoted to the research of means and substantiation of recommendations for the development and animation of the individual character of the computer game. Considered and analyzed means that allow to reduce the number of landfills without significant loss of visual quality of the model. An appraisal of software products that allows you to perform a realistic character that meets the needs of a modern user, with the least amount of resources to develop it.

In work means of development of 3D-models for creation of computer games have been investigated and recommendations to their application are given. Within the framework of research the 3D-model of the character «Big Boy» with the help 3D's MAX and ZBrush has been developed. With the help of the program 3D-Coat it is executed colouring model and development of its structure, using built - in communication{connection} for development between 3D-Coat and PhotoShop CS6. Besides with the help 3D-Coat has been raised detailed elaboration of three-dimensional model - some details have been set with the help of a structure. Besides the binding of animation in corresponding movements of the character with the help of game cursor Unity has been made.



УДК 514.18

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТКОВИХ АПАРАТІВ КОМПРЕСОРІВ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ ДИСКРЕТНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

**Спирінцев В.В., к.т.н.**

*Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара  
Тел. (056) 374-97-29*

**Анотація** – Пропонується методика, згідно з якою здійснюється геометричне моделювання профілів плоских перерізів компресорних лопаток на основі адаптивного методу, що дозволяє усунути розриви кривини в точках сполучення обводів, що описують спинку та коритце з вхідною та вихідною кромками, а також проводити ефективну локальну корекцію та керування формою моделюємої кривої.

**Ключові слова** – плоский переріз, лопатка, профілювання, адаптивний метод.

*Постановка проблеми.* Газотурбобудування (ГТД) – одна з найбільш складних і наукомістких галузей машинобудування, яка динамічно розвивається й знаходить усе більш широке застосування. Ефективність газотурбінних двигунів, основу яких становить газогенератор, суттєво залежить від ступеня геометричного вдосконалювання лопаткових апаратів турбін і компресорів. Турбінні й компресорні лопатки є найбільш масовими й у той же час найбільш складними з погляду геометрії деталями ГТД. Тому проектуванню й виготовленню лопаток турбін і компресорів навіть в умовах дрібносерійного виробництва двигунів приділяється значна увага.

*Аналіз останніх досліджень.* При розробці геометричної моделі лопатки осьового компресора в якості базової прийнята методика профілювання, заснована на розподілі по висоті проточної частини певної сукупності плоских перерізів.

Перо лопатки (рис.1) задається сукупністю плоских перерізів, при цьому нижній переріз визначає форму переходу пера лопатки в її замкову частину. Профілі всіх перерізів задаються в головній координатній системі, що пов'язана з кореневим перерізом лопатки, а початок координатної системи розташовується в центрі ваги перерізу.

Останнім часом на світовому ринку з'явилося високошвидкісне технологічне устаткування.

Зазначені високошвидкісні високотехнологічні обробні центри на базі уведених профілів плоских перерізів лопаток своїм програмним забезпеченням формують геометричну модель лопатки, що підлягає обробці. Дані обробні центри дозволяють виготовляти лопатки досить складної просторової форми за рахунок того, що мають високий ступінь волі переміщення різального інструменту на ЧПУ. Отримана при цьому форма лопаток визначається умовами руху повітря і забезпечує зниження рівня витрат енергії робочої речовини, що позитивно впливає на ефективні показники як окремих ступенів лопаткових компресорів різного конструктивного оформлення, так і їх комбінацій. Однак ці центри мають свої специфічні програмні засоби, і тому ставлять дуже високі вимоги до якості геометричного моделювання лопаток компресорів, що приводить до застосування більш ретельних підходів стосовно геометричного моделювання робочих поверхонь даних елементів.

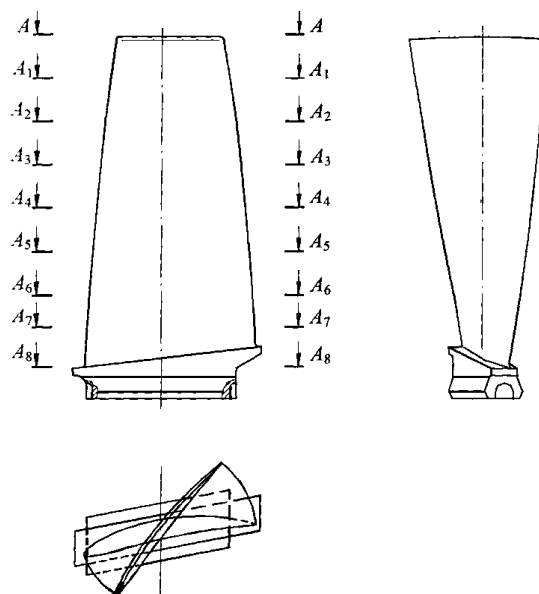


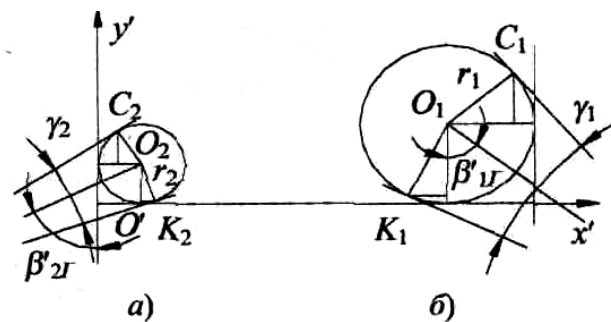
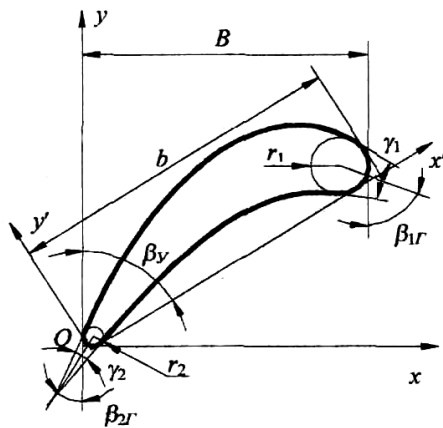
Рис.1. Загальний вид лопатки

У спеціальній літературі з компресорної тематики є достатня кількість публікацій, присвячених проектуванню, дослідженню, геометричному та газодинамічному моделюванню, технології виготовлення, аналізу виконаних конструкцій осьових компресорів. Виконаний аналіз показує, що найбільш ефективні методи розв'язання задачі профілювання лопаткових апаратів компресорів засновані на геометричному підході [1-4], який дозволяє проектувати лопаткові компресорні апарати за заданими параметрами робочої речовини з урахуванням газодинамічних, конструктивних, технологічних обмежень. Однак, незважаючи на велику кількість проведених досліджень в даному напрямку задача удосконалення геометричних

моделей просторових лопаток осьових компресорів ще далека до повного розв'язання.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є розгляд можливості застосування розробленого перспективного методу дискретної інтерполяції [5-7] для здійснення геометричного моделювання профілів лопаткових апаратів компресорів осьового типу шляхом адаптивного підходу до формування дискретного точкового ряду (формує профіль лопатки) та його програмна реалізація.

*Основна частина.* Вихідними даними при профілюванні плоских перерізів пера лопатки компресора (рис.2) є: координати теоретичного профілю лопатки, що описують спинку і коритце та задані дискретною сукупністю точок; координати центрів і радіуси дуг кіл, що описують вхідні та вихідні кромки профілів (рис.3).



а) – вихідна кромка; б) вхідна кромка

Рис. 2. Плоский переріз лопатки

Рис.3 Кромки профілю

Для згладжування обводів спинки і коритця профілю лопатки використовують неперервні та дискретні методи геометричного моделювання. Традиційна методика спирається на застосування методів неперервного геометричного моделювання (криві Безьє, В-сплайни і т.ін.). Обводи вхідної і вихідної кромки при цьому описуються дугами кіл. Аналіз неперервних методів геометричного моделювання [5] показав, що поряд з явними перевагами (володіють спільністю і глибоко розвиненою теорією, простота і наочність) дані методи не в силах задовольнити зростаючим потребам реального проектування, оскільки не завжди в змозі забезпечити гарантію відсутності осциляції, внаслідок чого, не можуть гарантувати стійкість і забезпечення необхідної точності моделювання; найчастіше, виникають значні труднощі при здійсненні корекції рішення і управлінні формою модельованої кривої; мають складний апарат обчислювальної та програмної реалізації і т.ін.



Зазначених недоліків позбавлені методи дискретної інтерполяції, що володіють простотою розрахункових алгоритмів і їх програмної реалізації, що дають широкі можливості локальної корекції рішення, та гарантують відсутність осциляції і, отже, високу точність моделювання.

Тому дослідження в напрямку геометричного моделювання лопаток турбокомпресора із застосуванням методів дискретної інтерполяції є актуальними та потребують подальшого вивчення.

В роботі [5] було запропоновано адаптивний спосіб дискретної інтерполяції. Наведені схеми дозволяли згущувати лише опуклі ділянки ДПК, та не завжди усували можливість появи осциляції поблизу вузлових точок. Також не були розглянуті питання, що виникають при практичному моделюванні та пов'язані зі згущенням ДПК, що мають перехідні та прямолінійні ділянки. Подальші дослідження [6-7] дозволили усунути виявлені недоліки адаптивного способу та дали підґрунтя для формування нового перспективного методу геометричного моделювання. В даній роботі пропонується застосувати розроблений адаптивний метод для вирішення поставленого практичного завдання - геометричного моделювання лопаток турбокомпресора.

Для цього пропонуємо наступну методичку:

1. З'єднуємо ланками точки теоретичного профілю. В результаті одержуємо деяку замкнену супроводжуючу ламану лінію (СЛЛ) дискретно представлені кривої (ДПК) лінії.
2. Визначаємо основні характеристики даної СЛЛ (довжини ланок, кути нахилу даних ланок  $\alpha_i^0$  відносно глобальної осі  $Ox$ , кути суміжності у вузлах  $\gamma_i^0$  до згущення) відповідно до пунктів основного алгоритму методу [5].
3. Визначаємо положення дотичних  $t_i$  у вузлах вихідної СЛЛ на підставі основних положень дискретного диференціювання [5].
4. Визначаємо тип ділянки (опукла, перехідна, прямолінійна), що підлягає згущенню (згідно [8]), для визначення необхідного алгоритму.
5. Здійснюємо процес згущення вихідної СЛЛ ДПК згідно визначеної схеми п.4.
6. Враховувати значення примикаючих кутів суміжності і їх взаємозв'язок вздовж вихідної СЛЛ ДПК формуємо обвід.

На основі запропонованої методички в роботі розроблено програмне забезпечення для моделювання профілів лопаткових апаратів компресорів на базі адаптивного методу дискретної інтерполяції. Розроблено інтерфейс програмного модулю та складено інструкцію користувача.

### Інструкція користувача.

1. Ввести вихідні координати точок за допомогою кнопки «Добавить» та введенням значень в таблицю або натисканням лівої кнопки миші у потрібному місці на графічному полі.

2. При необхідності виділити потрібну точку, натиснути кнопку «Редактировать» та ввести в таблицю нове значення.

3. Якщо потрібно видалити точку, необхідно виділити її координати в таблиці та натиснути кнопку «Удалить».

4. Після введення координат точок натиснути кнопку «Загустить» необхідну кількість разів.

5. Зберегти результат, натиснувши кнопку «Экспортировать», ввести ім'я файлу та вибрати каталог (рис.4). Розширення файлу .dxf додається автоматично програмою.

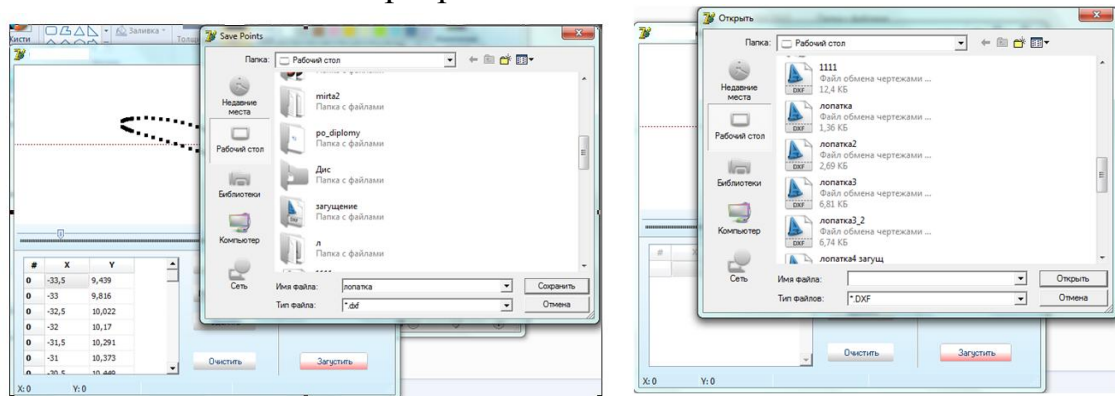


Рис.4. Экспорт та імпорт даних

6. Щоб відкрити раніше збережені дані, треба натиснути кнопку «Импортировать» та знайти необхідний файл (див. рис.4).

7. Перед введенням нових точок в новому файлі натиснути кнопку «Очистить» для очищення графічного поля.

Результат роботи розробленого програмного модулю показаний на рис.5.

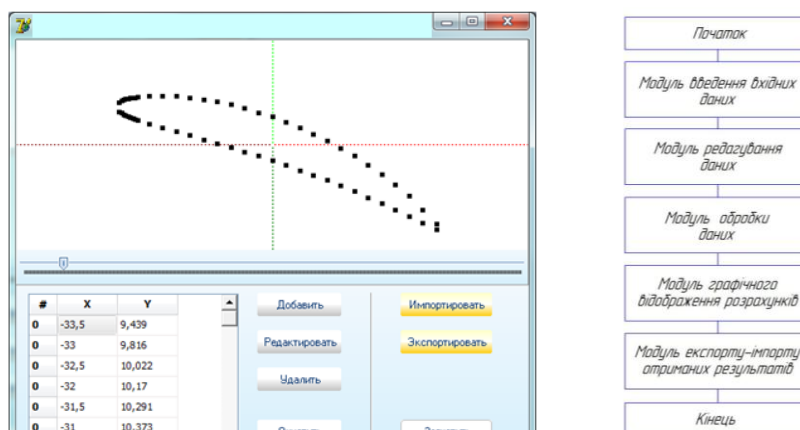


Рис.5. Результат роботи програмного модулю

Отримані профілі лопатки за допомогою створеного програмного модулю імпортуються у систему AutoCAD. Моделювання починається зі створення допоміжних площин, на яких буде розташовано перерізи лопатки (рис.6).

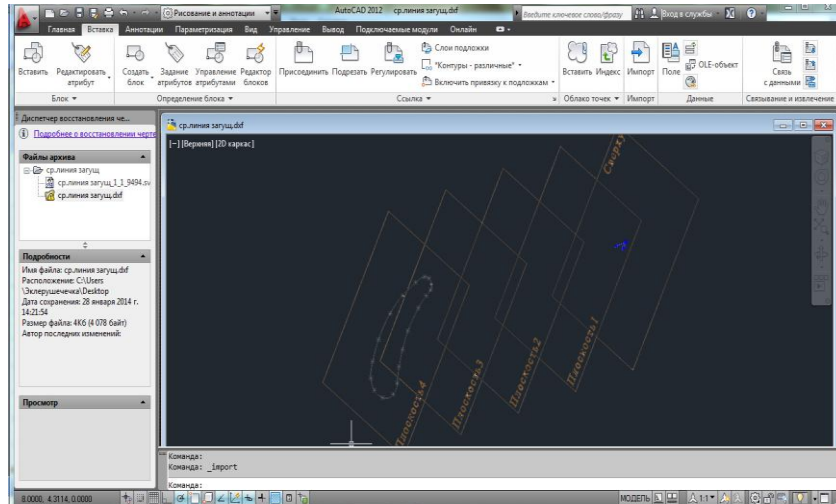


Рис.6. Розташування допоміжних площин

На кожен зі створених площин поміщується профілі лопатки. На профілі натягується поверхня «По сеченням». Результат показаний на рис.7.

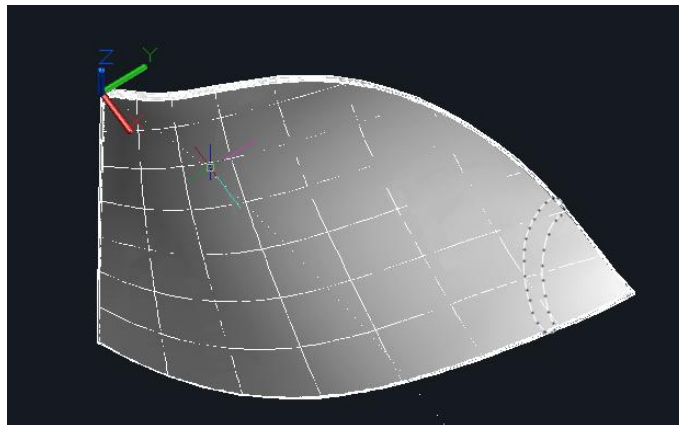


Рис.7. Модель лопатки компресора

*Висновки.* На підставі запропонованої в роботі методики було здійснене моделювання профілю перерізу лопатки компресора по координатах теоретичного профілю відповідно до результатів здійснених розрахунків на базі адаптивного методу дискретної інтерполяції. Розроблене програмне забезпечення дозволяє: отримати дискретний точковий ряд; експортувати отримані результати в систему AutoCAD для подальшого моделювання лопатки на основі



отриманих у програмному модулі плоских перерізів; імпортувати у програмний модуль раніше отримані дискретні точкові ряди для перегляду або внесення змін. Практичне значення отриманих результатів полягає в скороченні термінів проектування, за рахунок автоматизації процесу моделювання та підвищенні якості поверхонь лопаток, що в цілому підвищує ефективність роботи турбокомпресора.

### *Література*

1. *Борисенко В.Д.* Геометричне моделювання лопатних апаратів нагнітальних і розширювальних турбомашин різного конструктивного оформлення /Валерій Дмитрійович Борисенко//: Дис... д-ра техн. наук: 05.01.01.- Миколаїв, 2001. – 359 с.
2. *Кукліна О.Ю.* Геометричне моделювання елементів проточних частин діагональних турбомашин. Автореферат дис...канд. техн. наук: 05.01.01/КНУБА.- К. 2003. – 19 с.
3. *Тормосов Ю.М.* Геометрическое моделирование и способы совершенствования компрессорных решеток / Юрий Михайлович Тормосов // Дис... канд. техн. наук: 05.01.01. – К., 1990.- 145 с.
4. *Спіцин В.Є.* Геометричне моделювання компресорних лопаткових апаратів / Володимир Євгенович Спіцин.// Дис... канд. техн. наук: 05.01.01.- Миколаїв, 2005. – 182 с.
5. *Спірінцев В.В.* Дискретна інтерполяція дискретно представлених кривих ліній на основі заданого закону зміни кутових параметрів / В'ячеслав Васильович Спірінцев//. Дис...канд. техн. наук: 05.01.01.- Мелітополь., 2006. – 183 с.
6. *Спірінцев В.В.* Згущення перехідних ділянок ДПК на основі адаптивного способу дискретної інтерполяції / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету секція «Прикладна геометрія та інженерна графіка» – Вип.14, т.2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2014. – С.143-148.
7. *Спірінцев В.В.* Дискретна інтерполяція прямолінійних ділянок ДПК на основі адаптивного способу / В.В.Спірінцев, О.В.Спірінцева, В.О.Лебедев / Вестник Херсонского национального технического университета. Вып.3(50).- Херсон: ХНТУ, 2014.-С.605-610.
8. *Спірінцев Д.В.* Ідентифікація ділянок дискретно представлених кривих за її кутовими геометричними властивостями / Д.В.Спірінцев, В.А.Строкань, О.А.Ерьомін, І.В.Глокі / Праці XIII Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання” – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С.88-93.





## **ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ ЛОПАТКОВЫХ АППАРАТОВ КОМПРЕССОРОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО МЕТОДА ДИСКРЕТНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ**

В.В. Спиринцев

### *Аннотация*

**Предлагается методика, согласно которой осуществляется геометрическое моделирование профилей плоских сечений компрессорных лопаток на основе адаптивного метода, позволяющего устранить разрывы кривизны в точках соединения обводов, описывающих спинку и корытце с входной и выходной кромками, а также проводить эффективную локальную коррекцию и управление формой моделируемой кривой.**

## **GEOMETRICAL MODELLING OF THE PROFILES OF BLADES OF COMPRESSORS ON THE BASIS OF THE ADAPTIVE METHOD OF THE DISCRETE INTERPOLATION**

V. Spirintsev

### *Summary*

**Is offered a technique according to which geometrical modelling of profiles of flat sections of compressor blades on the basis of the adaptive method is carried out. This method allows to remove ruptures of curvature in points of connection of the contours describing a back and a bucket with input and output edges and also to carry out effective local correction and control of the form of the modeled curve. The developed software allows: to receive a discrete dot row; to export the received results to the AutoCAD system for further modeling of compressor blades on the basis of the flat sections received in the program module; to import to the program module earlier received discrete dot ranks for viewing or modification. The practical value of the received results consists in reduction of terms of design, due to automation of process of modeling and improvement of quality of surfaces of blades that in general increases overall performance of a turbocompressor.**



УДК 512.2

## ПАРАМЕТРИЧНІ РІВНЯННЯ ПОВЕРХНІ ВІДНОСНО СИСТЕМИ ЇЇ ІНВАРІАНТНОГО ТРИГРАННИКА В ТОЧЦІ

**Фролов О. В., к.т.н.**

*Донецький національний технічний університет*

*Тел/факс (062) 338-4885*

**Анотація** – розглядається координатна система побудована на основі супровідного тригранника поверхні, осі якого розташовані за напрямками її нормалі та головних кривин у деякій точці на поверхні.

**Ключові слова** – супровідний тригранник поверхні, головні напрямки, кривина, квадратичні форми поверхні.

*Постановка проблеми.* Подальший розвиток геометричного моделювання об'єктів, що утворюються кінематичним способом, потребує застосування притаманним механіці засобів. Так, зазвичай, для визначення положення твердого тіла в кінематиці поряд з інерціальною (нерухомою) системою відліку розглядається рухома система незмінно пов'язана з тілом, що має початок у довільній точці тіла [1]. Особливу увагу, в цьому сенсі, притягує рухома система, яка має безпосередній зв'язок з формою тіла в цій точці, а, отже, не залежить від обраної параметризації поверхні тіла. Розгляд такої координатної системи, становить проблему, що досліджується в роботі.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналогом тригранника Френе, що відіграє визначальну роль в теорії кривих, в теорії поверхонь слугує рухомий супровідний тригранник, що визначається в точці на поверхні. Вперше загальні принципи використання методу рухомого тригранника до дослідження поверхонь було запропоновано Г. Дарбу, що дозволило йому отримати значні результати в класичній теорії поверхонь [2]. Подальший розвиток цього методу пов'язаний з роботами Е. Картана, який виклав цим методом теорію кінцевих безперервних груп перетворень та розробив свій метод зовнішніх форм [3]. Систематичне використання цього методу можливо також знайти в працях С. П. Фінікова [4,5,6]. Застосування теорії тригранника до задач формоутворення поверхонь на станках з ЧПК можливо знайти в роботах С. П. Радзевича [8, 9].



На відміну від тригранника Френе, осі якого мають однозначно визначені напрямки незалежно від параметризації кривої лінії, призначення супровідного тригранника в точці поверхні натикається на труднощі, які призводять до введення припущень чи обмежень. Вимога взаємної ортогональності осей тригранника дозволяє призначити одну з осей за напрямком нормалі до поверхні, а дві другі розташувати у дотичній площині. Оскільки напрямки дотичних до координатних ліній поверхні в загальному випадку не є взаємно перпендикулярними, беруться до розгляду тільки ортогональні сітки чи вводиться “паразитний” параметр положення осей тригранника в дотичній площині. В такому випадку зміна параметризації поверхні призводить до невизначеності цих осей. Вимога ж інваріантності розташування осей тригранника потребує однозначного визначення напрямків головних кривин поверхні в точці [7]. Остання вимога цілком виключає із розгляду тільки дві відомі поверхні – площину та сферу, всі точці яких є омбілічними, а, отже, є більш прийнятною, оскільки не потребує спеціальної параметризації поверхні.

Отже, надалі в роботі розглядається супровідний тригранник поверхні, осі якого складають прямокутну систему та визначаються ортами  $e_1$ ,  $e_2$  та  $e_3$  у відповідності до напрямків двох головних кривин та нормалі до поверхні в точці. Такий тригранник, згідно з [3,6], буде називати інваріантним тригранником Дарбу поверхні.

*Формулювання цілей статті.* За поданими параметричними рівняннями поверхні визначити положення її тригранника Дарбу в точці та скласти формули переходу від довільної системи координат, відносно якої розглядається поверхня, до системи, осі якої розташовані за напрямками її інваріантного тригранника у визначеній точці.

*Основна частина.* Розглянемо поверхню подану параметричними рівняннями відносно прямокутної декартової системи  $Oxuz$

$$x = f(u, v), y = \varphi(u, v), z = \psi(u, v) \quad (1)$$

та точку  $M$  на ній, що визначається значенням параметрів  $u_0$  та  $v_0$ .

При цьому згідно з попереднім вважається, що точка  $M$  не є омбілічною точкою поверхні.

Перейдемо до визначення положення осей супровідного тригранника в розглядуваній точці. Для цього будемо вважати відомими вирази перших та других часткових похідних рівнянь (1) та отриманих з них коефіцієнтів першої –  $E, F, G$  та другої –  $L, M, N$  квадратичних



форм поверхні.

Напрямок одиничного вектора нормалі до поверхні в точці  $M - e_3$  визначається значенням косинусів трьох кутів -  $\alpha_3, \beta_3, \gamma_3$ , що утворює цей вектор з ортами  $i, j, k$  системи  $Oxyz$ . Розглядаючи  $e_3$  як векторний добуток одиничних векторів дотичних до ліній  $u=const$  та  $v=const$  в цій точці, отримуємо вирази косинусів [7]

$$\cos \alpha_3 = \frac{y_u z_v - z_u y_v}{\sqrt{EG - F^2}}, \cos \beta_3 = \frac{z_u x_v - x_u z_v}{\sqrt{EG - F^2}}, \cos \gamma_3 = \frac{x_u y_v - y_u x_v}{\sqrt{EG - F^2}}, \quad (2)$$

де:  $x_u, x_v, y_u, y_v, z_u, z_v$  - вирази перших часткових похідних функцій (1), які беруться при значенні параметрів  $u_0$  та  $v_0$ .

Визначення головних напрямків поверхні в поданій точці можливо здійснити двома шляхами:

- безпосередньо з виразів коефіцієнтів першої та другої квадратичних форм поверхні;
- з виразів головних кривин (або радіусів кривини) та коефіцієнтів квадратичних форм;

Перейдемо до першого способу визначення напрямків головних кривин в точці поверхні (1). Запишемо основну формулу для кривини нормального перерізу в точці [7]:

$$k = \frac{II}{I} = \frac{L du^2 + 2M du dv + N dv^2}{E du^2 + 2F du dv + C dv^2}. \quad (3)$$

Головні напрямки отримують з (3) як екстремальні значення цієї функції з аргументом  $\frac{du}{dv}$ , що призводить до рівності нулеві квадратичної форми [7]:

$$(LF - ME) du^2 + (LG - NE) dudv + (MG - NF) dv^2 = 0. \quad (4)$$

Якщо точка поверхні не є омбілічною, коефіцієнти рівняння (4) не дорівнюють одночасно нулеві, більш того для дійсності коренів цього рівняння дискримінант

$$(LG - NE)^2 + 4(LF - ME)(NF - MG) > 0.$$



Отже, можлива тільки одночасна рівність нулеві двох коефіцієнтів при квадратах диференціалів, тоді головні напрямки визначаються рівняннями  $du = 0$ ,  $dv = 0$ , тобто в точці координатні лінії збігаються з лініями кривини.

Нехай дорівнює нулеві перший або третій коефіцієнт цього рівняння, тоді (4) можливо розкласти на два лінійних множника першим з яких можливо призначити диференціал  $dv$  (коли  $(LF - ME) = 0$ ) або  $du$  (коли  $(MG - NF) = 0$ ). Отримаємо два корені рівняння (4): перший - відповідно  $dv = 0$  (або  $du = 0$ ), другий - як співвідношення диференціалів  $\frac{du}{dv}$  (або  $\frac{dv}{du}$ ). Отже, один з напрямків координатних ліній збігається з головним.

У випадках, що залишились (в тому числі, коли  $(LG - NE) = 0$ ), маємо право поділити (4) на квадрат одного з диференціалів. Нехай це буде  $dv^2$ , тоді отримуємо розв'язок (4) у вигляді:

$$\frac{du}{dv} = \frac{NE - LG \pm \sqrt{(NE - LG)^2 + 4(LF - ME)(NF - MG)}}{2(LF - ME)}. \quad (5)$$

Оскільки рівняння (4) в загальному випадку має два корені, що визначаються співвідношенням диференціалів, позначимо перший з них як  $\frac{du}{dv}$ , а другий -  $\frac{\delta u}{\delta v}$ . Для визначення одиничних векторів головних напрямків поверхні -  $e_1$  та  $e_2$ , отримаємо їх розкладення за векторами  $r_u$  та  $r_v$  дотичних до координатних ліній поверхні (1) за формулами [7]:

$$e_1 = \frac{r_u \frac{du}{dv} + r_v}{\sqrt{E\left(\frac{du}{dv}\right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}}, \quad e_2 = \frac{r_u \frac{\delta u}{\delta v} + r_v}{\sqrt{E\left(\frac{\delta u}{\delta v}\right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}}. \quad (6)$$

Переходячи від векторної форми до координатної, маємо вирази напрямних косинусів цих векторів:



$$\cos \alpha_1 = \frac{x_u \frac{du}{dv} + x_v}{\sqrt{E \left( \frac{du}{dv} \right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}}, \quad \cos \alpha_2 = \frac{x_u \frac{\delta u}{\delta v} + x_v}{\sqrt{E \left( \frac{\delta u}{\delta v} \right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}};$$

$$\cos \beta_1 = \frac{y_u \frac{du}{dv} + y_v}{\sqrt{E \left( \frac{du}{dv} \right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}}, \quad \cos \beta_2 = \frac{y_u \frac{\delta u}{\delta v} + y_v}{\sqrt{E \left( \frac{\delta u}{\delta v} \right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}};$$

$$\cos \gamma_1 = \frac{z_u \frac{du}{dv} + z_v}{\sqrt{E \left( \frac{du}{dv} \right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}}, \quad \cos \gamma_2 = \frac{z_u \frac{\delta u}{\delta v} + z_v}{\sqrt{E \left( \frac{\delta u}{\delta v} \right)^2 + 2F \frac{du}{dv} + G}}, \quad (7)$$

де всі вирази похідних та коефіцієнтів квадратичних форм, що входять до (5) та (7) беруться при значенні параметрів, яким відповідає точка  $M$ .

Перейдемо до другого способу визначення головних напрямків. Насамперед отримаємо функції, що визначають головні кривини поверхні в точці. Це можливо зробити, наприклад, на основі відомих залежностей для гаусової та середньої кривин поверхні [7]. В результаті прийдемо до квадратного рівняння, корені якого:

$$k_{1,2} = \frac{LG - 2MF + EN \mp \sqrt{(NE - LG)^2 + 4(LF - ME)(NF - MG)}}{2(EG - F^2)}, \quad (8)$$

де в правій частині (8) значення подвійного знаку надано у відповідності до напрямків (5), в чому можливо впевнитись безпосередньою підстановкою виразу для  $du$  через праву частину (5) та  $dv$  до (3).

Визначивши головні кривини, складемо на основі (3) дві квадратичних форми наступним чином:

$$A = II - k_1 I, \quad \bar{A} = II - k_2 I. \quad (9)$$



Форми (9) вирізняються тим, що мають дискримінант, який дорівнює нулеві, а, отже, можуть бути представлені у вигляді квадратів двох лінійних форм:

$$A = (a_1 du + b_1 dv)^2, \bar{A} = (a_2 du + b_2 dv)^2, \quad (10)$$

де коефіцієнти  $a_i, b_i$  ( $i = 1, 2$ ) можуть бути отримані з (9) через дві головних кривини та чотири коефіцієнти квадратичних форм поверхні (два - першої та два - другої). Покажемо це на прикладі першої з форм (8), для цього представимо її у вигляді:

$$A = (L - k_1 E) du^2 + 2(M - k_1 F) du dv + (N - k_1 G) dv^2. \quad (11)$$

Рівність нулеві дискримінанта (11) надає можливість представити будь-який з коефіцієнтів при диференціалах через два інших. Отже, маємо три варіанти представлення  $a_1$  та  $b_1$ :

$$\begin{aligned} a'_1 &= \sqrt{L - k_1 E}, a''_1 = \frac{M - k_1 F}{\sqrt{N - k_1 G}}, a'''_1 = a'_1; \\ b'_1 &= \frac{M - k_1 F}{\sqrt{L - k_1 E}}, b''_1 = \sqrt{N - k_1 G}, b'''_1 = b''_1. \end{aligned} \quad (12)$$

Згідно з (3) рівність нулеві першої з форм (9) визначає напрямки, якому відповідає перша з головних кривин поверхні в точці  $M$ . Отримаємо цей напрямки у вигляді:

$$\frac{du}{dv} = -\frac{b_1}{a_1}, \quad (13)$$

де  $a_1$  та  $b_1$  визначаються за формулами (12).

Аналогічним чином приходимо до визначення другого з головних напрямків через коефіцієнти другої з форм (10):



$$\frac{\delta u}{\delta v} = -\frac{b_2}{a_2}, \quad (14)$$

де вирази для  $a_2$  та  $b_2$  східні з (12), якщо замість  $k_1$  записати  $k_2$ .

Вилучення з дискримінантів форм (9) коефіцієнтів при диференціалах надає можливість також представлення двох коефіцієнтів квадратичних форм поверхні (одно – першої форм, одного - другої) через вирази чотирьох інших коефіцієнтів та функції головних кривин. Наприклад, вирази  $a'_1, b'_1$  та  $a'_2, b'_2$  вилучають відповідні коефіцієнти  $N - k_1 G$  та  $N - k_2 G$ . В такому випадку коефіцієнти  $N$  та  $G$  можуть бути представлені у вигляді:

$$N = \frac{k_1}{(k_1 - k_2)} b_2'^2 + \frac{k_2}{(k_2 - k_1)} b_1'^2, \quad G = \frac{b_2'^2}{(k_1 - k_2)} + \frac{b_1'^2}{(k_2 - k_1)}.$$

Аналогічно, у другому варіанті представлення ( $a''_1, b''_1$  та  $a''_2, b''_2$ ) - коефіцієнти  $L$  та  $E$  можна записати через коефіцієнти  $M, N, F, G$  та головні кривини, у третьому варіанті - середні коефіцієнти квадратичних форм через вирази перших та других коефіцієнтів, та  $k_1, k_2$ .

Визначимо одиничні вектори головних напрямків –  $e_1$  та  $e_2$  у відповідності до (6), підставивши праву частину (13), (14) у чисельнику та вираз одного з коефіцієнтів першої квадратичної форми поверхні, отриманий згідно з попереднім. Зробивши перетворення, представимо результат у вигляді:

$$e_1 = n_1 r_u + n_2 r_v, \quad e_2 = \bar{n}_1 r_u + \bar{n}_2 r_v, \quad (15)$$

де коефіцієнти  $n_1, n_2$  та  $\bar{n}_1, \bar{n}_2$  матимуть вирази у відповідності до варіантів представлення (12):

- для першого варіанта





$$n'_1 = \frac{M - k_1 F}{(LF - ME)} \sqrt{\frac{L - k_2 E}{k_1 - k_2}}, n'_2 = \frac{L - k_1 E}{(ME - LF)} \sqrt{\frac{L - k_2 E}{k_1 - k_2}};$$

$$\bar{n}'_1 = \frac{M - k_2 F}{(LF - ME)} \sqrt{\frac{L - k_1 E}{k_2 - k_1}}, \bar{n}'_2 = \frac{L - k_2 E}{(ME - LF)} \sqrt{\frac{L - k_1 E}{k_2 - k_1}}.$$

- для другого варіанта

$$n''_1 = \frac{N - k_1 G}{(MG - NF)} \sqrt{\frac{N - k_2 G}{k_1 - k_2}}, n''_2 = \frac{M - k_1 F}{(NF - MG)} \sqrt{\frac{N - k_2 G}{k_1 - k_2}};$$

$$\bar{n}''_1 = \frac{N - k_2 F}{(MG - NF)} \sqrt{\frac{N - k_1 G}{k_2 - k_1}}, \bar{n}''_2 = \frac{M - k_2 F}{(NF - MG)} \sqrt{\frac{N - k_1 G}{k_2 - k_1}}.$$

- для третього варіанта

$$n'''_1 = \frac{1}{(LG - NE)} \left( (N - k_1 G) \sqrt{\frac{L - k_2 E}{k_1 - k_2}} + (M - k_1 F) \sqrt{\frac{N - k_2 G}{k_1 - k_2}} \right),$$

$$n'''_2 = \frac{1}{(NE - LG)} \left( (L - k_1 E) \sqrt{\frac{N - k_2 G}{k_1 - k_2}} + (M - k_1 F) \sqrt{\frac{L - k_2 E}{k_1 - k_2}} \right);$$

$$\bar{n}'''_1 = \frac{1}{(LG - NE)} \left( (N - k_2 G) \sqrt{\frac{L - k_1 E}{k_2 - k_1}} + (M - k_2 F) \sqrt{\frac{N - k_1 G}{k_2 - k_1}} \right),$$

(16)

$$\bar{n}'''_2 = \frac{1}{(NE - LG)} \left( (L - k_2 E) \sqrt{\frac{N - k_1 G}{k_2 - k_1}} + (M - k_2 F) \sqrt{\frac{L - k_1 E}{k_2 - k_1}} \right);$$

Порівнявши знаменники рівнянь (16) з коефіцієнтами (4) та бе-



ручи до уваги зауваження до цих коефіцієнтів, можна стверджувати, що в загальному випадку (коли дотичні до координатних ліній не визначають головні напрямки), маємо право обирати любий з трьох варіантів представлення. У випадку, коли один з головних напрямків в точці збігається з дотичною до координатної ліній  $u = const$ , можемо користуватися першим варіантом, та, навпаки, другим – коли дотична  $v = const$  збігається з головним напрямком. Третій варіант можливо застосовувати в обох цих випадках. У випадку ж, коли обидва головні напрямки мають напрямки дотичних до координатних ліній, коефіцієнти рівнянь (15) набувають виразів:

$$n_1 = 0, n_2 = \frac{1}{\sqrt{G}}, \bar{n}_1 = \frac{1}{\sqrt{E}}, \bar{n}_2 = 0, \left( k_1 = \frac{N}{G}, k_2 = \frac{L}{E} \right).$$

Для напрямних косинусів головних напрямків будемо мати:

$$\cos \alpha_1 = n_1 x_u + n_2 x_v, \cos \alpha_2 = \bar{n}_1 x_u + \bar{n}_2 x_v;$$

$$\cos \beta_1 = n_1 y_u + n_2 y_v, \cos \beta_2 = \bar{n}_1 y_u + \bar{n}_2 y_v;$$

$$\cos \gamma_1 = n_1 z_u + n_2 z_v, \cos \gamma_2 = \bar{n}_1 z_u + \bar{n}_2 z_v,$$

де значення параметрів при обчисленні коефіцієнтів за формулами (16) відповідає точці  $M$ .

Отримавши вирази для напрямних косинусів осей тригранника Дарбу, призначимо осі  $O'x'$ ,  $O'y'$  та  $O'z'$  рухомої прямокутної системи  $O'x'y'z'$  у відповідності до напрямків  $e_1$ ,  $e_2$  та  $e_3$  тригранника в точці  $M(x_0, y_0, z_0)$ . Будемо мати звичайні формули перетворення координат:

$$x = x_0 + \cos \alpha_1 x' + \cos \alpha_2 y' + \cos \alpha_3 z',$$

$$y = y_0 + \cos \beta_1 x' + \cos \beta_2 y' + \cos \beta_3 z',$$

$$z = z_0 + \cos \gamma_1 x' + \cos \gamma_2 y' + \cos \gamma_3 z'.$$

Формули зворотного перетворення:



$$\begin{aligned}x' &= (x - x_0) \cos \alpha_1 + (y - y_0) \cos \beta_1 + (z - z_0) \cos \gamma_1, \\y' &= (x - x_0) \cos \alpha_2 + (y - y_0) \cos \beta_2 + (z - z_0) \cos \gamma_2, \\z' &= (x - x_0) \cos \alpha_3 + (y - y_0) \cos \beta_3 + (z - z_0) \cos \gamma_3.\end{aligned}\quad (17)$$

Перед тим, як користуватися формулами перетворення необхідно зорієнтувати осі тригранника у відповідності до орієнтації простору правою чи лівою трійкою векторів  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ . Наявність радикалів дозволяють визначити значення напрямних косинусів ортів тригранника лише з точністю до знаку, з іншого боку ці значення згідно з формулами аналітичної геометрії не є незалежними. Отже, можливо вчинити наступне: спочатку визначити будь-які два вектора трійки  $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$  та  $\mathbf{e}_3$ , а напрямні косинуси третього орту призначити, як координати векторного добутку отриманих векторів. Наприклад, за формулами (16) визначимо напрямні косинуси векторів  $\mathbf{e}_1$  та  $\mathbf{e}_2$ , тоді для  $\mathbf{e}_3$  будемо мати:

$$\begin{aligned}\cos \alpha_3 &= \cos \beta_1 \cos \gamma_2 - \cos \gamma_1 \cos \beta_2, \\ \cos \beta_3 &= \cos \gamma_1 \cos \alpha_2 - \cos \alpha_1 \cos \gamma_2, \\ \cos \gamma_3 &= \cos \alpha_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \cos \alpha_2.\end{aligned}$$

Перехід від параметричних рівнянь поверхні (1) до рівнянь відносно системи супровідного тригранника здійснено за рівняннями (17), підставивши замість старих координат  $x, y, z$  праву частину (1). При цьому звернемо увагу на чотири можливі випадки розташування поверхні відносно дотичної площини із визначеними на неї головними напрямками (варіанти симетрії).

Цим випадкам буде відповідати чотири варіанти розташування осей нової системи без зміни орієнтації простору. Перехід від одного до іншого випадку розташування поверхні здійснюється за рахунок одночасні зміни напрямків будь-який двох осей тригранника (рис.1).

*Висновки.* Отримані результати мають чисельну кількість застосувань в задачах прикладного кінематичного формоутворення поверхонь, розташування об'єктів відносно поверхні, геометричного моделювання рухів твердого тіла та контактних задач механіки.

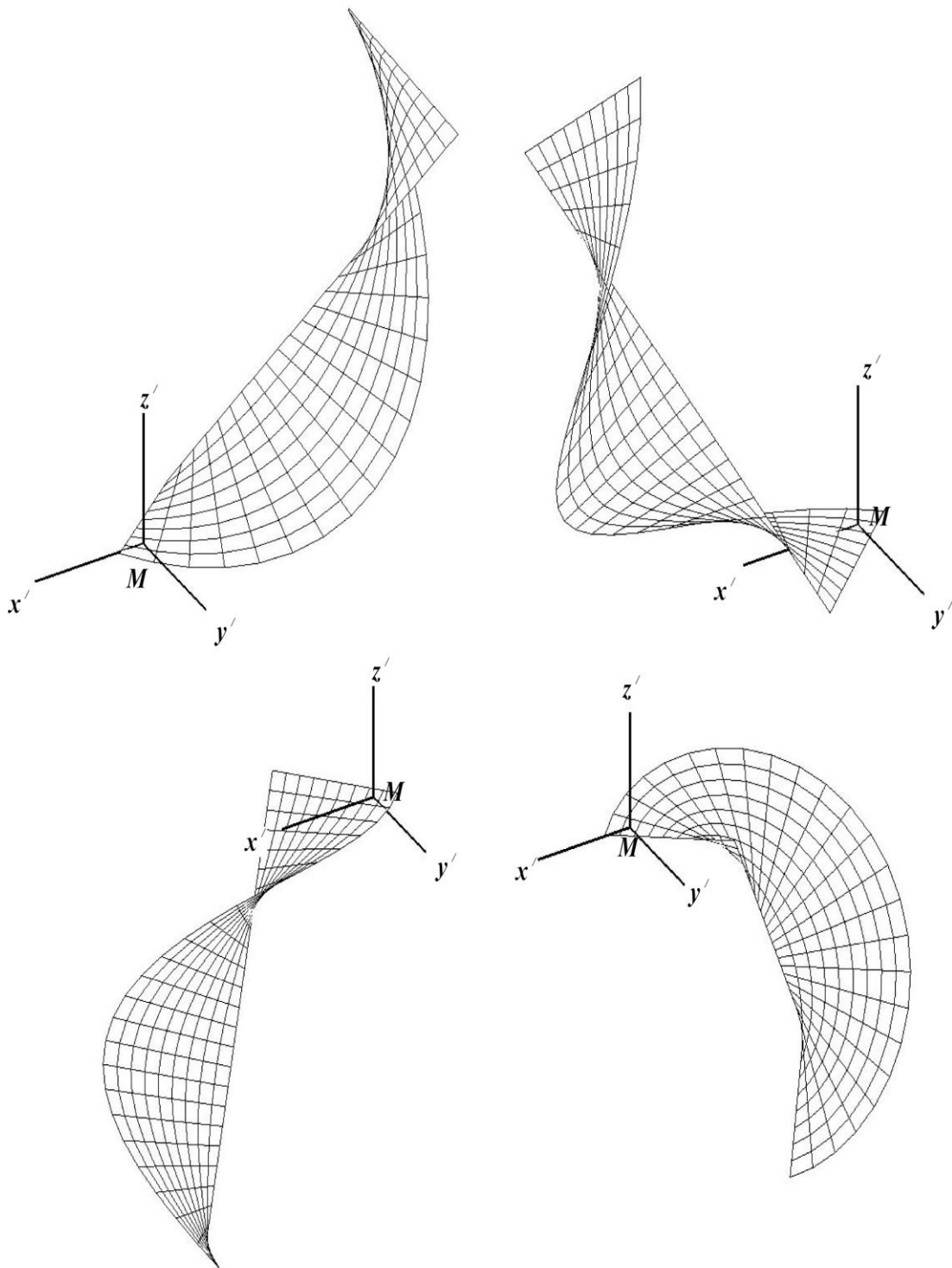


Рис. 1. Випадки розташування поверхні відносно системи її супровідного тригранника в точці

### Література

1. Лурье А. И. Аналитическая механика /А.И.Лурье// – М.: Гос. изд-



- во физ.-мат. лит-ры, 1961.- 824 с.
2. *Darboux G. Leçons sur la théorie générale des surfaces /G. Darboux// Paris, Gautier – Villars, 1887 – I.– 514 p.*
  3. *Картан Э. Теория конечных непрерывных групп и дифференциальная геометрия, изложенная методом подвижного репера /Э.Картан// – М.: Изд-во Московского унив-та, 1963. – 368 с.*
  4. *Фиников С.П. Проективно-дифференциальная геометрия /С.П.Фиников// М.- Л.: ОНТИ, 1937 – 264 с.*
  5. *Фиников С.П. Теория конгруэнций /С.П.Фиников// М. – Л.: ГИТТЛ, 1950 – 530 с.*
  6. *Фиников С.П. Метод внешних форм Картана в дифференциальной геометрии /С.П.Фиников// М. – Л.: ГИТТЛ, 1948 – 433 с.*
  7. *Бляшке В. Дифференциальная геометрия и геометрические основы теории относительности Ейнштейна /В.Бляшке// М. - Л.: ОНТИ, 1935 – т.1. – 330 с.*
  8. *Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории /С.П.Радзевич// К.: Растан, 2001. – 592с.*
  9. *Stephen P. Radzevich Geometry of surfaces: a practical guide for mechanical engineers /P.Stephen// 1st Edition, Wiley; 1 edition (March 4, 2013) – 264 p. (p.69)*

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО СИСТЕМЫ ЕЕ ИНВАРИАНТНОГО ТРЕХГРАННИКА В ТОЧКЕ**

Фролов О. В.

### *Аннотация*

**Рассматривается координатная система, построенная на основе сопровождающего трехгранника поверхности в заданной точке. Оси координат этой системы расположены по направлениям нормали к поверхности и направлениям главных кривизн в некоторой точке поверхности.**

**PARAMETRICAL EQUATIONS OF SURFACE CONCERNING A  
COORDINATE SYSTEM OF DARBOUX'S FRAME**



O. Froloff

*Summary*

**An assignment of the trihedron at the point of the surface causes the difficulties that lead to the introduction of assumptions or limitations. The requirement of the mutual orthogonality of the axes of the trihedral allows one of the axes to be recognized in the direction of the normal to the surface, and the other two are arranged in a tangent plane. The requirement of the invariance of the arrangement of the axes requires unambiguous determination of the directions of the main curvatures at the point. For this reason, at an umbilic point, the principal directions are undefined. Consequently, the basis of Darboux's frame, whose axes form a rectangular system and are determined by the unit vectors  $e_1$ ,  $e_2$  and  $e_3$  in accordance with the directions of the two main curvatures and normal to the surface at the point, are considered in the paper.**

**A smooth regular surface could be specified uniquely by two independent variables. Therefore, we give a surface by expressing its rectangular coordinates  $x$ ,  $y$  and  $z$  as functions of two Gaussian coordinates,  $u$  and  $v$ .**

**Determination of the main directions of the surface at the given point is carried out in two ways:**

- directly from the expressions of the coefficients of the first and second fundamental forms of a surface;**
- from the expressions of the main curvatures (or curvature radii) and the coefficients of fundamental forms.**

**The results of this paper have a number of applications: problems of applied kinematic forming of surfaces, the location of objects on the regular surface, geometric modeling of solid-state movements and contact problems of mechanics.**



УДК 514.182.7

## ОСОБЛИВОСТІ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ АПРОКСИМАЦІЇ НЕПЕРЕВНИХ ФУНКЦІЙ

**Пихтєєва І.В., к.т.н.**

**Івженко О.В., к.т.н.**

*Таврійський державний агротехнологічний університет,  
Тел.: (0619)42-68-62*

**Залевський С.В., к.т.н.**

*Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Тел.: (044) 204-94-46*

**Анотація** – в роботі розглядаються особливості застосування алгоритмів вирішення задач апроксимації дискретно представлених неперервних функцій.

**Ключові слова** – дискретно представлена функція, рекурентне співвідношення, глобальне співвідношення, розділені різниці.

*Постановка проблеми.* Досвід автоматизації складних процесів все більше демонструє нездатність класичних методів теорії автоматичного керування ефективно розв'язувати задачі автоматизації виробництв та управління соціально-економічними проектами. Координація, координаційне управління, як головний принцип функціонування в загальній системі керування, відіграє роль підсистеми стабілізації процесу відносно до предписаної стратегії, що відображається траєкторією у просторі станів. Визначаючи роль координації у процесі управління, слід зазначити, що для будь якої інтелектуальної, виробничої, соціально – побутової діяльності людини обов'язково характерна процедура прийняття рішення. Останнє подається у вигляді однієї з форм: значень параметрів, функції керуючих впливів, формування продуктивних правил, лінгвістичних термів із заданої множини. Для формування теоретичних засад теорії координації складних систем необхідний подальший розвиток формальних методів, механізмів, інструментів координації, що забезпечують узгодженість функцій складових частин системи та синхронізацію цілей як єдине ціле.



Припустимо, що в результаті інженерного або наукового експерименту отримана система точок  $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ . Необхідно знайти аналітичну залежність  $Q(x)$ , таку, яка найкращим чином описує задану систему точок. Поняття «найкращим чином» означає розв'язання задачі по заданому критерію. Найбільш відомим критерієм для задач апроксимації є критерій *середньоквадратичних відхилень (СКВ)*, який являє собою мінімізацію суми квадратів відхилень експериментальних даних від аналітичної функції  $Q(x)$  і визначається на заданій множині точок як

$$\sum_{i=0}^n (Q(x_i) - y_i)^2 \Rightarrow \min$$

Однак, при такій постановці, задача апроксимації експериментальних даних має багато розв'язків. Тому виникає необхідність у застосуванні дискретного подання неперервних функцій.

#### *Аналіз останніх досліджень.*

Вперше питання про дискретне подання відомих неперервних функцій було поставлено і досліджено стосовно завдань інтерполяції і, частково, апроксимації, в роботах академіка Найдиша В.М. [1]. Йдеться про те, щоб деякі дискретні елементи графіка функції (точки, значення різниць і т.п.) на деякій сітці прийняти як базисні і, з їх допомогою, розрахувати відсутні точки або значення різниць в вузлах тієї ж сітки, ґрунтуючись на деяких властивостях функції.

*Формування цілей статті.* Метою роботи є аналіз методів вирішення задач апроксимації неперервних функцій за умови їх дискретного представлення.

#### *Основна частина.*

Розглянемо випадок. Зокрема, для точок прямої лінії на довільній сітці можливо записати:

$$y_{i+1} = \delta^1 \cdot h_{i+1} + y_i, \quad h_{i+1} = x_{i+1} - x_i, \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (1)$$





Тут в якості базисних елементів виступають одне зі значень  $y_i$ , наприклад,  $y_1$ , і значення  $l$ -ої розділеної різниці  $\delta^l$ , що є, по суті, кутовим коефіцієнтом прямої лінії. Решта точок розраховуються на основі цих базисних елементів і співвідношення (1). Аналогічне співвідношення можна записати для випадку, коли базисними елементами дискретного представлення прямої лінії є дві точки  $y_i$  та  $y_{i+1}$ .

$$y_{i+2} = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \cdot h_{i+2} + y_{i+1}, \quad i = \overline{1, n-2}. \quad (2)$$

На рівномірній сітці, коли  $h_{i+1} = h_{i+2} = h = const$ ,

$$y_{i+2} = 2y_{i+1} - y_i. \quad (3)$$

Як бачимо, дискретне представлення на рівномірній сітці виявляється значно простішим і не залежить від кроку  $h$ . На жаль вихідні дані не завжди задані на рівномірній сітці і тому дискретні подання необхідно розглядати в загальному вигляді. Як показано в роботах Найдюша В.М. [1], щоб отримати дискретне уявлення для будь-якої  $K$ -параметричної безперервної функції необхідно скласти систему з  $(K+1)$  рівнянь, що виражають інцидентність графіка функції деяким  $(K+1)$  точкам, і виключити їх із цих рівнянь  $K$  - параметрів. Отримане при цьому рівняння, що зв'язує ординати  $K+1$  точок графіка, є дискретним представленням функції і відображає інцидентність будь-якої з  $(K+1)$  точок графіку функції, яка визначається іншими  $K$  точками. Так, рівняння (2) або (3) відображає залежність ординати  $(i+2)$ -ої точки від ординат  $i$ -ої і  $(i+1)$ -ої точок, що визначають пряму лінію.

Відомо, що процес виключення параметрів є найбільш простим, якщо залежність функції від них є лінійною, тобто параметри повинні входити в рівняння адитивно.

У практиці геометричного моделювання можливі два варіанти дискретного представлення функції:



- у вигляді рекурентного співвідношення;
- у вигляді глобального співвідношення.

Наприклад, у разі рекурентного співвідношення дискретного представлення функції для алгебраїчного  $\mathcal{Z}$ -полінома на рівномірній сітці маємо:

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i + 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0, \quad i = \overline{3, n-2}. \quad (4)$$

У разі глобального співвідношення дискретного представлення функції, яке виражає ординату поточної  $i$ -ої точки через ординати базисних точок, що визначають заданий поліном (наприклад, точок  $y_1, y_2, y_3, y_4$ ) маємо:

$$\begin{vmatrix} y_1 & 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ y_2 & 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ y_3 & 1 & x_3 & x_3^2 & x_3^3 \\ y_4 & 1 & x_4 & x_4^2 & x_4^3 \\ y_i & 1 & x_i & x_i^2 & x_i^3 \end{vmatrix} = 0, \quad i = \overline{5, n}, \quad (5)$$

Співвідношення (5) частіше зустрічається і є кращим при встановленні області рішення, визначенні значень керуючих параметрів і т.п.

Аналогічні (5) різницеві співвідношення мають місце для інших функцій, які лінійно залежать від своїх коефіцієнтів. Наприклад, для показової функції

$$y = a_0 + a_1 q_1^x + a_2 q_2^x + a_3 q_3^x + \dots + a_n q_n^x, \quad (6)$$

де  $q_1, q_2, \dots, q_n$  – дійсні різні числа, при  $n=3$ , маємо:



$$\begin{vmatrix} y_1 & 1 & q_1 & q_1^2 & q_1^3 \\ y_2 & 1 & q_2 & q_2^2 & q_2^3 \\ y_3 & 1 & q_3 & q_3^2 & q_3^3 \\ y_4 & 1 & q_4 & q_4^2 & q_4^3 \\ y_i & 1 & q_i & q_i^2 & q_i^3 \end{vmatrix} = 0, \quad i = \overline{5, n}, \quad (7)$$

Якщо у (6) і (7) прийняти  $q_1 = e$ ,  $q_1 = e^2$ ,  $q_n = e^n$ , то отримуємо експоненціальний поліном.

У якості параметрів можуть виступати не тільки ординати точок, але й розділені різниці (РР) відповідних порядків.

Наприклад, для прямолінійного точкового ряду, можна скористуватися рекурентним співвідношенням (1) або глобальним співвідношенням:

$$y_k = \delta^1 \sum_{i=2}^k (h_i + y_1), \quad k = \overline{2, n}, \quad (8)$$

що виражає ординату  $K$ -ої точки ряду через значення  $1$ -ої розділеної різниці  $\delta^1$  і параметра  $y_1$  (ординати першої точки).

Відомо, що для 2 - параболі,  $\delta_i^2 = \delta^2 = const$ .

З рівняння

$$\delta^2 = \frac{\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i}}{h_i + h_{i+1}}, \quad (9)$$

маємо рекурентне співвідношення:

$$y_{i+1} = \delta^2 (h_i + h_{i+1}) h_{i+1} + \delta_i^1 + y_i, \quad i = \overline{2, n-1}, \quad (10)$$

де перша різниця  $\delta_i^1$  на відміну від (10) не є постійною, або



$$y_{i+1} = \delta^2 (h_i + h_{i+1}) h_{i+1} + y_i \cdot \frac{h_i + h_{i+1}}{h_i} - y_{i-1} \cdot \frac{h_{i+1}}{h_i}, \quad i = \overline{2, n-1}. \quad (11)$$

У першому випадку використовуються отримані на попередньому кроці розділені різниці  $\delta_i^1$  і ордината  $y_i$ , у другому випадку – ординати  $y_i$  та  $y_{i-1}$ .

Для (11) можна записати глобальне співвідношення з орієнтацією на (10).

$$y_k = \delta^2 \sum_{i=2}^{k-2} (h_i + h_{i+1}) h_{i+1} + \sum_{i=2}^{k-1} \delta_i^1 h_{i+1} + y_2, \quad k = \overline{3, n}, \quad (12)$$

або з орієнтацією на (11) на рівномірній сітці  $h = const$ .

$$y_k = (k-1)(k-2)h^2\delta + (k-1)y_2 - (k-2)y_1, \quad k = \overline{3, n} \quad (13)$$

Аналогічно можна записати для 3-параболи, де  $\delta_i^2 = \delta^2 = const$

$$\delta^2 = \frac{\frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_{i+1}}}{h_{i+1} + h_{i+2}} - \frac{\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i}}{h_i + h_{i+1}}; \quad (14)$$

Враховуючи (9), а також те що:

$$\delta_{i+1}^1 = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}}, \quad i = \overline{2, n-1}, \quad (15)$$

маємо рекурентне співвідношення:



$$y_{i+1} = \delta^2 (h_i + h_{i+1} + h_{i+2})(h_{i+1} + h_{i+2})h_{i+2} + \delta_i^1 (h_{i+1} + h_{i+2})h_{i+2} + \delta_{i+1}^1 h_{i+2} + y_i, \quad (16)$$

Тепер в чкості параметрів виступають перша  $\delta_i^1 \neq const$  та друга  $\delta_i^2 \neq const$  розділені різниці, а, також ордината  $y_1$ .

У цьому випадку глобальне співвідношення має вигляд:

$$y_k = \delta^2 \sum_{i=1}^{k-2} (h_i + h_{i+1} + h_{i+2})(h_{i+1} + h_{i+2})h_{i+2} + \delta_i^2 (h_{i+1} + h_{i+2})h_{i+2} + \delta_{i+1}^1 h_{i+2} + y_2, \quad k = \overline{4, n}, \quad (17)$$

#### Висновок.

Подальше підвищення порядку різниць пов'язане зі значними труднощами, в їх визначенні або попередньому завданні, а також з виникаючими при цьому похибками обчислень і тому недоцільно.

Звернемо увагу на те, що в роботі розглядаються вихідні ДПК довільної конфігурації на довільній сітці. В цьому випадку пропонувані алгоритми повинні мати достатню універсальність, а базисні функції апроксимації повинні складати систему Чебишева [2]. Найбільшою мірою цьому відповідають поліноміальні функції, серед яких найбільшою простотою і допустимою точністю відрізняються алгебраїчні поліноми.

#### Література

1. *Найдыш В.М.* Дискретное представление непрерывных функций. В кн.: Прикладная геометрия и инженерная графика / В.М.Найдыш К.: Будівельник, 1990, вип.49, с.15-18.
2. *Гончаров. В.Л.* Теория интерполирования и приближения функций /В.Л.Гончаров.. - М., ГИТТЛ, 1954.- 328 с.
3. *Пихтєєва І.В.* Метод подання апроксимуючої функції /І.В. Пихтєєва, О.Є.Мацулевич, В.М.Щербина / Науковий вісник ТДАТУ / Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь, 2016. – Вип. 6, Т. 2. – С. 88-94.



## ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АППРОКСИМАЦИИ НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ

И.В.Пыхтеева, А.В.Ивженко, С.В.Залевский

### *Аннотация*

**В работе рассматриваются особенности применения алгоритмов решения задач аппроксимации дискретно представленных непрерывных функций.**

## FEATURES OF THE DECISION OF PROBLEMS OF APPROXIMATION OF CONTINUOUS FUNCTIONS

I. Pyhteeva, A. Ivzhenko, S. Zalevskyi

### *Summary*

**Experience of automation of complex processes shows inability of application of methods of the theory of automatic control effectively more and more to solve than a problem of automation of manufactures and management of social and economic projects. For anyone intellectual, industrial, socially - household activity of the person procedure of decision-making is necessarily characteristic. For formation of theoretical bases of the theory of coordination of complex systems the further development of formal methods, mechanisms, tools of the coordination, providing a coordination of functions of components of system and synchronization of the purposes as a unit is necessary.**

**Problem of approximation of the received experimental dependences is definition of the analytical dependence describing set system of points by set criterion. The most known criterion for problems of approximation is the criterion среднеквадратических deviation which represents minimization of the sum of squares of deviations of experimental data from some analytical function. However, at such statement, the problem of approximation of experimental data has set of decisions. Therefore there is a necessity in discrete representations of continuous functions.**

**In work features of application of algorithms of the decision of problems of approximation discretely представленных continuous functions are considered.**



УДК 515.2 + 519.5

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІМУНІТЕТУ ЛЮДИНИ, ЯК СИСТЕМИ ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ

Северин В.П., д.т.н.

Ніцин Д.О., к.т.н.

Сидоренко О.С., к.т.н.

Національний технічний університет «ХПІ»,

Тел. (057) 707-64-31

**Анотація** – Розглянуто базову модель імунітету людини, як відповіді організму на вторгнення антигену. Побудована модель імунної відповіді на основі моделі інфекційних хворіб Марчука. Проаналізовано результати роботи обраної моделі на прикладах загальної імунної реакції і хронічних захворювань.

**Ключові слова** – імунна система, інфекційні захворювання, геометричне моделювання, математична модель, регресійна модель, модель Марчука.

*Актуальність проблеми*. Основне призначення імунної системи полягає у виявленні антигенів (генетично чужорідних організмів, клітин і молекул) і їх знищення або нейтралізації їх патогенного дії. Антиген може мати як зовнішнє походження (бактерії, віруси, токсини, лікарські препарати, медичні протези, пересажені органи та ін.), так і внутрішнє (пухлинні клітини, старіючі власні тканини, організми нормальної мікрофлори і т.п.). Актуальність використання математичного моделювання системи імунітету обумовлена наступним. При побудові моделі проводиться систематизація, узагальнення, аналіз експериментальних спостережень і наявних теорій, а також надається точне причинно-наслідкове формулювання біологічної або біофізичної гіпотези, що лежить в основі моделі. Дослідження моделей дозволяє виділити ключові змінні і параметри, оцінити відносну значимість врахованих при моделюванні регуляторних механізмів, визначити біфуркаційні значення коефіцієнтів, які задають межі різної динамічної поведінки систем. Все це має велике теоретичне значення.

Крім цього, математичні моделі дають можливість спрогнозувати на кількісному рівні реакцію системи імунітету на той чи інший антиген, зовнішні умови системи, а також форму взаємодії системи і зовнішніх умов. Це особливо важливо, коли експериментальне відтворення відповіді системи ускладнене або, коли досвід потребує значної витрати часу і ресурсів.

*Метою статті є* аналіз існуючих методів математичного та геометричного моделювання біологічних систем для опису імунітету людини, як системи зі зворотним зв'язком. Розглянуті методи моделювання повинні мати практичне застосування, а не тільки теоретично описувати систему. При аналізі методів необхідно враховувати специфіку сприйняття результатів моделювання медичними працівниками, що вимагає розширеної і адекватної візуалізації результатів моделювання.

*Основна частина.* Для побудови математичної моделі, яка описує основні закономірності гуморальної імунної відповіді на білок – антиген, що вводиться, використовується популярна гіпотеза, згідно з якою імунокомпетентні клітини (*B*-лімфоцити) під впливом антигену зазнають якісних змін. Можна розрізнити три послідовних стани клітин *X*, *Y* та *Z*,

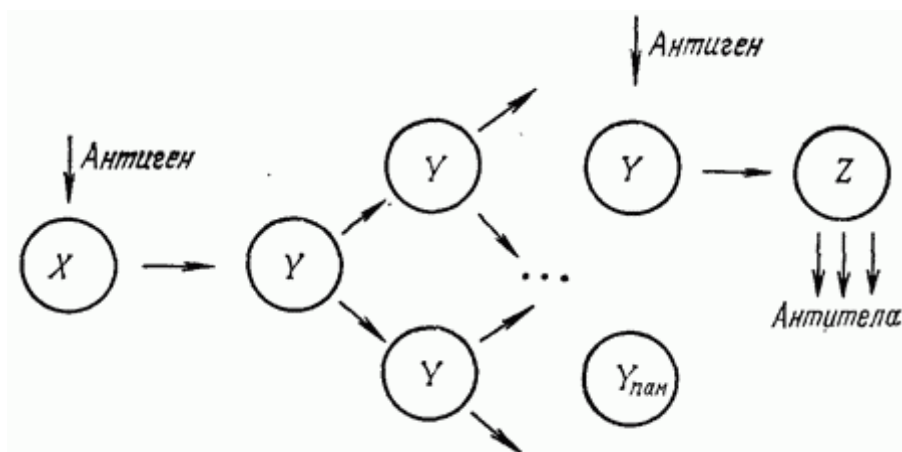


Рис. 1. Схема диференціювання елементів імунітету

де *X* – це клітини-попередники, що після взаємодії з антигеном переходять в проліферуючий стан *Y* (незрілі плазмоцити, або бласти). Клітини *Y* швидко діляться і поступово набувають здатність виробляти специфічні антитіла проти даного антигену. Вторинна





взаємодія клітин  $Y$  з антигеном переводить їх у кінцевий стан  $Z$  – плазматичних клітин, що не здатні ділитися, але які виробляють антитіла з великою швидкістю. Клітини, що неспроможливі вступити в контакт з антигеном  $Y$ , переходять в стан  $Y_{\text{пам}}$  – пам'ятних клітин, що циркулюють в організмі достатньо довго і забезпечують «іммунну пам'ять» до даного антигену.

Широке коло явищ імунітету охоплюють моделі інфекційних хворіб запропонованих академіком Г.І. Марчуком.

Найпростіша математична модель інфекційного захворювання записується у вигляді системи четвертого порядку з запізненням:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= (\beta(T) - \gamma F)V, \\ \frac{dC}{dt} &= \vartheta(m)\alpha(T)V(t - \tau)F(t - \tau) - \mu_c(C - C^*), \\ \frac{dF}{dt} &= \rho C - (\mu_F - \eta\gamma V)F, \\ \frac{dm}{dt} &= \sigma V - \mu_m m, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $V$  – концентрація узагальненого «вірусу» (антитіл),  $C$  – плазмоцитів,  $F$  – узагальнених антитіл (це можуть бути і ефекторні клітини),  $dm$  – описує в явному вигляді динаміку ураженого антигеном органу-мішені,  $m$  – частка ураженої частини органу,

$$0 \leq m \leq 1.$$

Перше рівняння показує стан антитіл в організмі. Концентрація антитіл залежить від темпу їх розмноження в організмі за проміжок часу та від темпу знищення їх антитілами.

Друге рівняння говорить про те, як імунна система реагує на наявність антитіл в організмі. Вона накопичує плазматичні клітини  $C$ . Наростання концентрації цих клітин залежить від числа активних  $V$  – лімфоцитів і темпу їх розмноження, за винятком тих з них, які виходять з роботи системи в результаті природного старіння.

Третє демонструє, як виробляються антитіла  $F$ . Зміна кількості антитіл за  $dt$  залежить від швидкості їх виробництва, числа пов'язаних з вірусом антитіл і числа загиблих антитіл.

Четверте визначає ступінь ураження органу антигеном. Маса ураженого органу  $m$  залежить від різної для різних захворювань

патогенності джерела антигену та від здатності органу відновлюватися, яка, в свою чергу, пов'язана з дієздатністю імунних клітин.

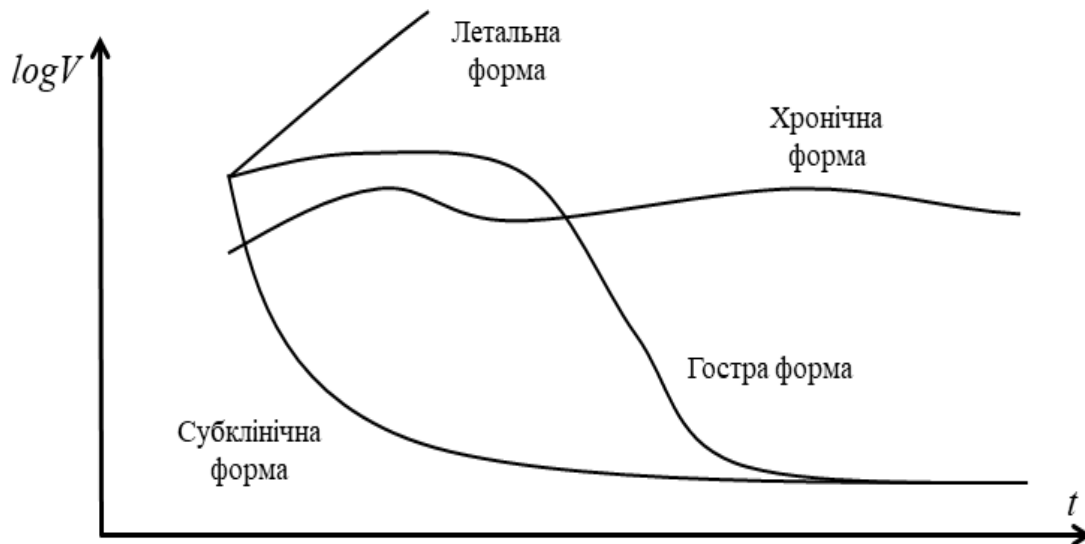


Рис. 2. Моделювання основних форм протікання інфекційних захворювань людини

У моделі (1) може враховуватися вплив температури тіла на динаміку імунної реакції. Коефіцієнт розмноження вірусу  $\beta(T)$  падає при збільшенні температури  $T$ , а коефіцієнт стимуляції плазмоцидів  $\alpha(T)$  – зростає.

Після проведеного моделювання в графічній формі були показані основні результати (рис. 2). На першому етапі змодельовані основні форми протікання інфекційних захворювань людини.

По-перше, модель показала, що хвороба залежить не від початкової дози зараження, а від того чи пройшли антигени імунологічний бар'єр, чи ні. Якщо ні – хвороба не прогресує, кількість вірусів в організмі монотонно убуває зменшуючись до нуля ( $V \rightarrow 0$ ). По-друге, що кожна форма хвороби має свою, чітко виражену, особливість виникнення і розвитку, що піддається кількісному і графічному аналізу.

У разі субклінічної форми інфекція імунологічний бар'єр не долає. Організм практично не вражається, а концентрація антигенів в ньому поступово зменшується до нуля. В результаті такої постійної

стимуляції антигенами в організмі накопичуються імунні клітини пам'яті. Рівень плазматичних клітин постійно підтримується на певній позначці, а разом з ним підтримується і імунологічний бар'єр.

При гострій формі відбувається швидке збільшення кількості антитіл, здійснюється ефективна імунна відповідь, спостерігається різкий спад кількості збудника, повне виведення його з організму і одужання. Але при глибокому і великому ушкодженні будь-якого органу ( $m \rightarrow 1$ ) захворювання може перейти з гострої форми в хронічну. При моделюванні неадекватного лікування, що знижувало би функції імунної системи, також відбувся перехід з гострої форми захворювання в хронічну.

У моделі хронічної форми кілька ознак є провідними, а саме: деяка невелика кількість антигену, що пройшов імунологічний бар'єр і постійно присутній в організмі, млявий перебіг хвороби і слабке ураження органів.

На другому етапі було змодельоване протікання хронічного захворювання з імунною відповіддю. Вивчалися моделі двох форм його перебігу: латентний перебіг і хронічне захворювання з періодичними загостреннями. Результати були отримані в зручній для користувачів графічній формі.

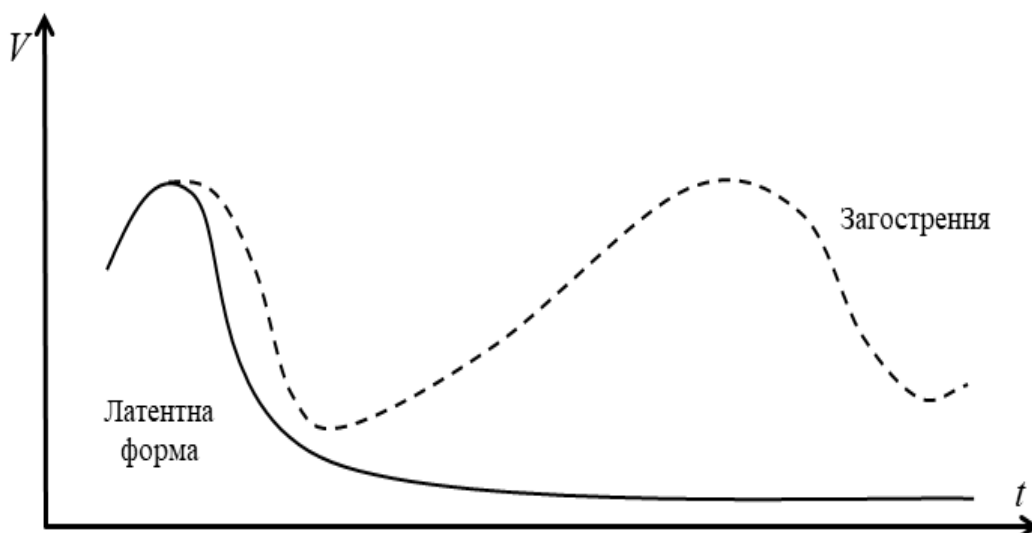


Рис. 3. Моделювання поведінки антигену при хронічному перебігу захворювання

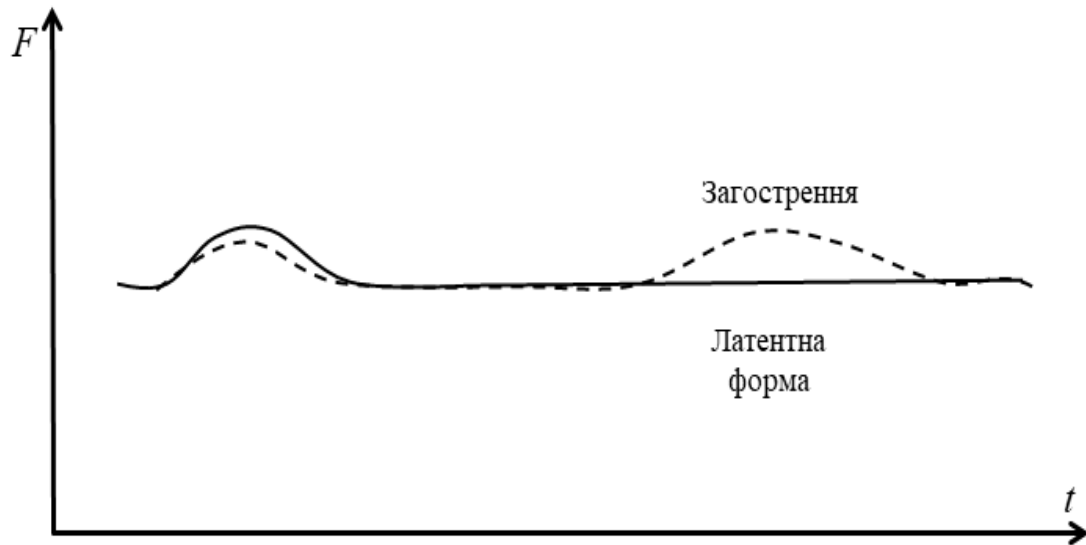


Рис. 4. Моделювання поведінки антитіл при хронічному перебігу захворювання

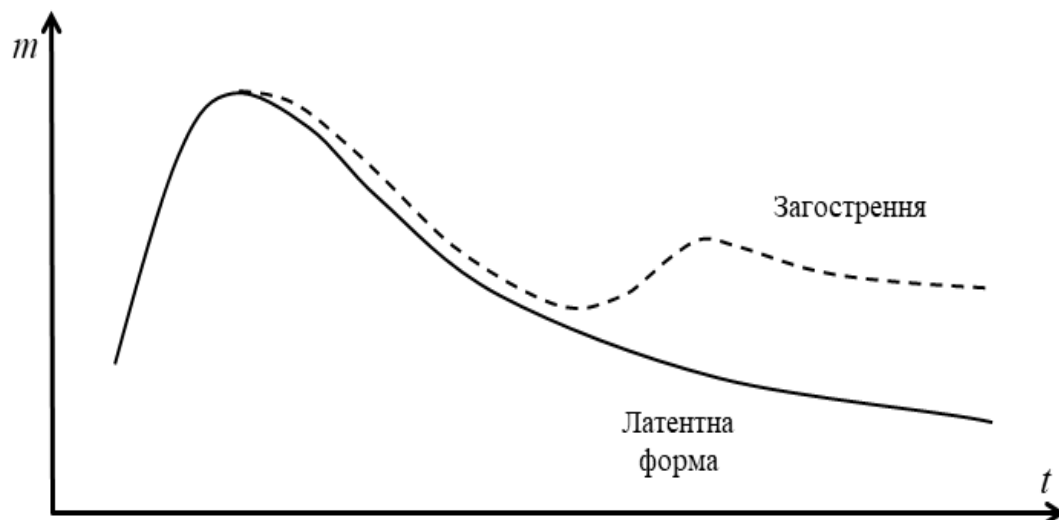


Рис. 5. Моделювання поведінки органів при хронічному перебігу захворювання



В результаті моделювання отримані результати, що описують поведінку системи при хронічному перебігу захворювання.

Для латентної форми характерна одноразова атака антигену з подальшим збереженням рівня. Відповідно до цього рівень антигенів залишається постійним після відбиття першої атаки. Органи з часом відновлюються.

При хронічному перебігу захворювання з загостреннями звертає на себе увагу більш сильна перша атака при декілька слабкій імунній відповіді. Рівень антигену підвищується практично відразу після неповного одужання і зростає до тих пір, поки не відбудеться загострення. Антитіла зберігають постійний рівень після першого захворювання і їх кількість піднімається тільки в момент загострення з подальшим зниженням до константного рівня. Органи відновлюються після першої атаки, але загострення призводить до різкого погіршення стану.

Отримані результати моделювання цілком відповідають конкретним клінічним результатам. Заснована на дослідженнях академіка Г.І. Марчука, математична модель дозволяє аналізувати не тільки поведінку імунної системи людини при інфекційних захворюваннях, а й оцінювати поведінку імунітету в цілому.

*Висновки.* Розглянуто модель інфекційних захворювань академіка Г.І. Марчука і показано, що вона може бути застосовна для моделювання імунної відповіді організму людини в цілому. Проаналізовано моделі загального і хронічного захворювань. Напрямок подальших досліджень є розробка методу визначення коефіцієнтів моделі для практичного застосування.

### *Література*

1. *Марчук Г.И.* Математические модели в иммунологии: вычислительные методы и эксперименты /Г.И.Марчук //.-М.: Наука, 1991-276с.
2. *Марри Дж.* Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях /Дж.Марри //.-М.:Мир, 1983-397с.
3. *Романюха А.А.* Математические модели в иммунологии и эпидемиологии инфекционных заболеваний /А.А.Романюха //.-М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012-217с.
4. *Неймарк Ю.И.* Математические модели в естествознании и технике /Ю.И.Неймарк //.-Н. Новгород: Издательство Нижегородского университета, 2004-281с.



## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИММУНИТЕТА ЧЕЛОВЕКА КАК СИСТЕМЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В.П. Северин, Д.А. Ницын, Е.С. Сидоренко

### *Аннотация*

Рассмотрена базовая модель иммунитета человека, как ответ организма на вторжение антигена. Построена модель иммунного ответа на основе модели инфекционных болезней Марчука. Проанализированы результаты работы выбранной модели на примерах общего иммунной реакции и хронических заболеваний.

## GEOMETRIC MODELING OF HUMAN IMMUNITY AS A SYSTEM WITH FEEDBACK

V. Severyn, D. Nitsyn, O. Sydorenko

### *Summary*

Antigens detecting and their destruction or neutralization of their pathogenic action (genetically alien organisms, cells and molecules) is the main purpose of the immune system. Antigen can have as an external origin (bacteria, viruses, toxins, medicines, medical prostheses, transplanted organs, etc.), and internal (tumor cells, aging own tissues, organisms of normal microflora, etc.). The basic model of human immunity as a response to an antigen invasion is considered. The model of the immune response based on the Marchuk model of infectious diseases is constructed. The results of the work of the chosen model on examples of the general immune response and chronic diseases are analyzed.



УДК 514.18

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕХАНИЧЕСКИХ СРЕДАХ ДЕТАЛЕЙ

**Бережной В.А.,**

**Матюшенко Н.В., к.т.н.**

**Федченко А.В., к.т.н.**

*НТУ «Харьковский политехнический институт» (Украина, г.Харьков)*

*Тел.(057) 7076431*

**Аннотация** – в работе предлагается применение геометрического метода имиджевой интерполяции для исследования напряжённых контуров деталей.

**Ключевые слова** – геометрическое моделирование, имиджевая интерполяция и экстраполяция, экспериментальный метод, напряжённый контур.

*Постановка проблемы.* Важным направлением развития прикладной геометрии является создание способов и геометрических моделей прогнозирования объектов и процессов, которые изменяются во времени и пространстве.

Подход, который может быть положен в основу таких способов, заключается в построении элементов семьи кривых сложной геометрической формы. В задачах геометрического моделирования гетерогенных процессов эти кривые выступают как геометрические модели линий раздела фаз развития процесса. К данным задачам относят, и задачу геометрического моделирования в механических средах изображений напряжённо-деформированного состояния деталей и узлов.

В механике для изучения изменений напряжённо-деформированного состояния деталей и узлов используются различные оптические методы.



Общими недостатками этих методов является сложность практической реализации, недостаточная точность, большая трудоемкость и постоянно растущая стоимость испытаний. В этой связи целесообразно для анализа предельных состояний объектов совместно осуществлять экспериментальное и геометрическое исследование. Такой подход предусматривает уточнение и дополнение экспериментальных испытаний результатами, которые получаются геометрическим методом имиджевой интерполяции и экстраполяции [1].

Геометрический метод имиджевой интерполяции и экстраполяции позволяет оперативно обрабатывать визуальную информацию и определять как промежуточные, так и последующие картины развития характера явления [1, 2].

*Анализ последних исследований.* В работах [1] был разработан математический аппарат имиджевой экстраполяции, который заключается в синтезе экстраполированного изображения (имиджа) на основе нескольких входных изображений [2], предшествовавших состоянию процесса в момент моделирования. То есть за несколькими фотоснимками района пожара, сделанными в определенные моменты времени, получали прогнозируемые изображения контура пожара [3].

Однако упомянутые результаты имеют определенный недостаток – при расчетах не учитывалось влияние предыдущих контуров выгорания (геометрическая форма которых была известной) на следующие контуры выгорания (геометрическую форму которых необходимо было определить). Легко показать, что при большой кривизне контура выгорания игнорирование этого фактора искажает геометрическую форму следующих контуров [3]. А внутреннее содержание контура вообще не рассматривалось [4].

*Формирование целей статьи.* Выполнить геометрическое описание на основе теории R-функций и метода имиджевой интерполяции и экстраполяции для уже имеющихся изображений напряженно-деформированного состояния пластины, полученных экспериментальным методом, и спрогнозировать их недостающие промежуточные и последующие изображения.

*Основная часть.* Чтобы применить данный геометрический подход необходимо развитие существующего алгоритма исследования





имиджевой интерполяции и экстраполяции по отношению к механическим изображениям напряженного состояния деталей.

Так предполагается на первом этапе получить изображения плоских контуров механической среды на основе экспериментального поляризионно-оптического метода. В качестве примера такого физического поля выбраны изображения напряженного состояния пластины.

На втором этапе необходима обработка изображения, оцифровка картин напряженного состояния пластины и составление уравнений прямых и кривых для получения единого логического уравнения контура с использованием R-функций на основе алгоритма Рвачева.

На третьем этапе планируется получить промежуточные и последующие картины напряженных эффектов в пластине на основе формул имиджевой интерполяции и экстраполяции. Базовой формулой взята формула векторной экстраполяции. [ 4]

На рисунке 1 изображены экспериментальные и кодированные напряжённые контура пластины на основе R-функций. На рисунке 2 показан промежуточный контур, полученный на основе метода имиджевой интерполяции.

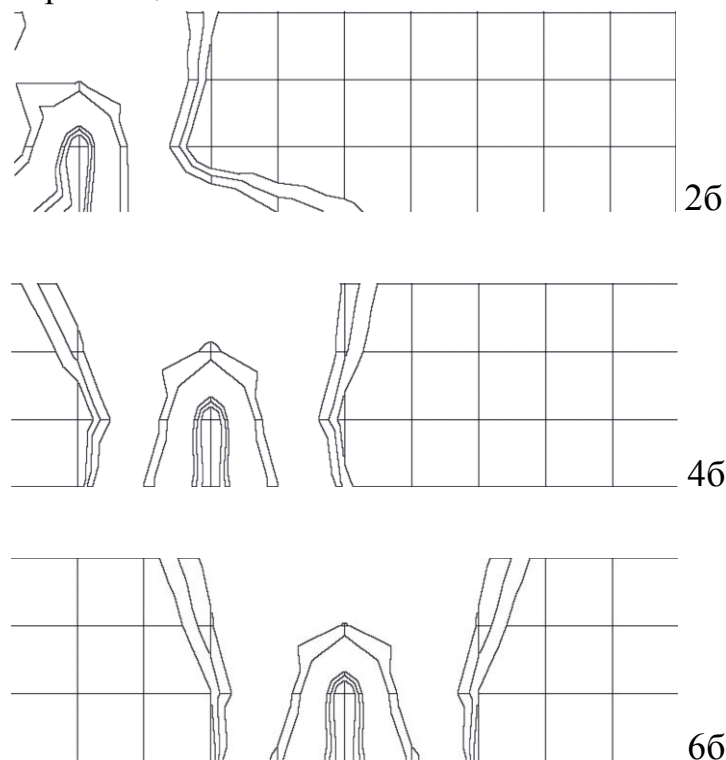


Рис.1. Экспериментальные и кодированные напряжённые контура пластины

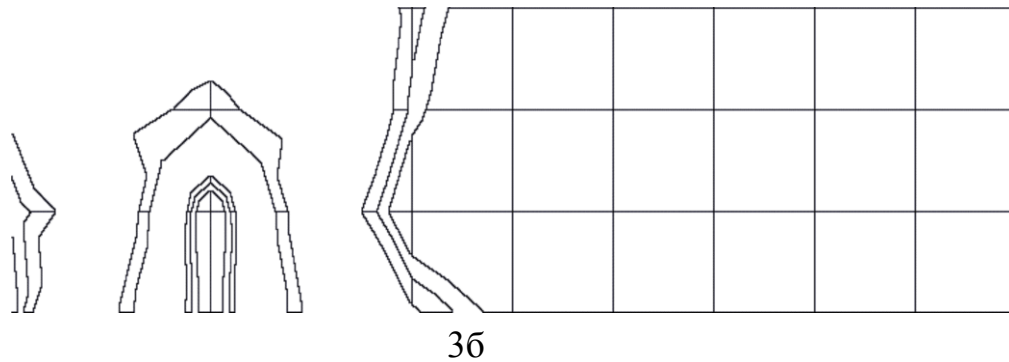


Рис.2. Промежуточный напряжённый контур пластины

*Выводы.* Геометрическое моделирование напряжённых контуров пластины позволит получить приемлемый промежуточный результат, что свидетельствует о правильности выбранного направления исследований.

#### *Литература*

1. *Куценко Л.М.* Метод іміджевої інтерполяції та екстраполяції /Л.М.Куценко, О.В.Шоман, А.В. Ромін // Труды ТДАТУ. – Мелитополь, 2001. – Вып. 4, т. 12. – С. 15–20.
2. *Шоман О.В.* Геометрическое моделирование обобщенных параллельных множеств: Диссертация ...д.т.н.: 05.01.01 / Шоман Ольга Вікторівна – Киев., 2007. – 488 с.
3. *Анисимов К.В.* Геометрическое моделирование семейства кривых с учётом влияния предыдущих элементов на следующие: Диссертация ... к.т.н. / Анисимов К.В. –Харьков., 2011. -192 с.
4. *Бережной В.А.* Разработка экспериментально-геометрического подхода для механических картин напряжённого состояния деталей / В.А.Бережной, О.В.Шоман // Современные проблемы моделирования: сб. науч. трудов / МГПУ им. Б.Хмельницкого. – Мелитополь, изд. МГПУ, 2014. – Вып.3, с.17-20.



## МОДЕЛЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В МЕХАНІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ДЕТАЛЕЙ

О.В. Бережний, М.В. Матюшенко, Г.В. Федченко

### *Анотація*

В роботі пропонується застосування геометричного методу іміджевої інтерполяції для дослідження напружених контурів деталей.

## MODELING IMAGES IN MECHANICAL ENVIRONMENTS OF DETAILS

V. Berezhniy, M. Matyushenko, H. Fedchenko

### *Summary*

In mechanics for studying changes tensely - deformed conditions of details and units are used various optical methods. Common faults of these methods is complexity of the practical realization, insufficient accuracy, the big labour input and constantly growing cost of tests. In this connection it is expedient to carry out in common for the analysis of limiting conditions of objects experimental and geometric-theoretical research. Such approach provides specification and addition of experimental tests with results which turn out a geometrical method image interpolation and extrapolations. By means of the geometrical description, on the basis of the theory of R-functions, a method image to interpolation and extrapolation for already available images, the stressed - deformed condition of the plate, received the experimental method offers a technique forecasting their missing intermediate and subsequent images.



УДК 004.9

## АЛГОРИТМ ПЕРЕТВОРЕННЯ DICOM ЗОБРАЖЕННЯ У ФОРМАТ JPEG, BMP ТА PNG

Спирінцев В.В., к.т.н.

Кондратюк Ю.Р.

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

*Тел. (056)3749729*

**Анотація** – Пропонується загальний обчислювальний алгоритм та його програмна реалізація для перегляду і перетворення зображень DICOM у формати BMP, PNG, JPEG. Програмний модуль дозволяє отримувати зображення у площинах з інформацією про пацієнта у зручному для користування форматі, що суттєво зменшує об'єм пам'яті для збереження цього зображення та надає більші переваги для їх трансляції через мережу Internet.

**Ключові слова** – DICOM, PACS, набір даних, формат.

**Постановка проблеми.** Необхідність телемедицини широко зростає щодня. Цифрова обробка зображень та комунікації в медицині - це стандарт для обробки, зберігання, друку та передачі інформації при медичній візуалізації даних. Сучасні томографи (МРТ, КТ, ПЕТ) не виробляють готових зображень. Замість цього формується файл у спеціальному форматі DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Формат файлу DICOM зберігає подробиці про об'єкт візуалізації та дані пацієнта в одному файлі. DICOM відрізняється від інших форматів тим, що об'єднує інформацію в набори даних, тобто файл зображення X-Ray фактично містить ідентифікатор пацієнта в файлі, тому зображення не можна відокремити від цієї інформації [1]. Оскільки формат зображення DICOM зберігає дані про об'єкт та пацієнта в одному файлі, то розмір зображень може містити до 200 файлів .dcm (до 1 ГБ пам'яті) і не може бути трансльований через мережу для отримання експертної консультації від особи, яка знаходиться на відстані, зокрема, в іншій країні чи континенті. Наступний графік (рис.1) відображає діаграму порівняння об'єму пам'яті при використанні різних форматів зображення [2]. Як показано на рис. 1, зображення DICOM вимагає більшого простору або пам'яті для збереження зображення в порівнянні з універсальними форматами (BMP, PNG, JPEG).

Слід зазначити, що файли DICOM вимагають наявності спеціалізованого програмного забезпечення для їх перегляду, тому вирішення проблеми конвертації даних у зручний формат є актуальним питанням для телемедицини та онлайн-підтримки проведення дистанційних операцій [3].

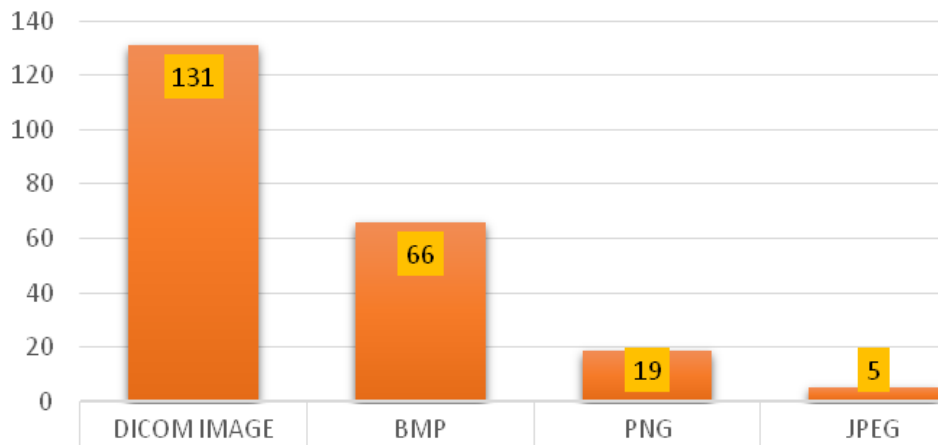


Рис. 1. Діаграма порівняння об'єму пам'яті різних форматів (МБ)

*Аналіз останніх досліджень.* Стандарт DICOM був розроблений комітетом стандартів в рамках досліджень [4]. Технологія використовується для відправки зображень на відстань між різними відділами лікарень. Проте, слід зазначити, що деякі відділи не мають системи зчитування файлів DICOM. Рекомендації з використання перетворених файлів були опубліковані Європейським об'єднанням радіології, британським Інститутом радіології та канадською асоціацією.

На сьогодні вже існують ресурси, що перетворюють файл .dcm у генералізований файл перегляду зображень типу .jpeg, .bmp, .png тощо. Проте, більшість viewers не безкоштовні та мають ряд особливостей, зокрема: при досить ефективному завантаженні локальних файлів виникають проблеми завантаження каталогів з віддаленого PACS (picture archiving and communication systems) та з'являються проблеми при зберіганні інформації про пацієнта; більшість конвертерів не розуміють кириличні теги.

Для усунення вказаних недоліків в роботі [6], було запропоновано алгоритм перетворення DICOM зображення у формат jpeg, bmp та png. Однак дане питання потребує подальших досліджень.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є розробка алгоритму та його програмна реалізація для візуалізації зображень

формату .dcm через конвертацію у інші формати, такі як: .jpeg, .bmp і .png.

*Основна частина.* В роботі запропоновано алгоритм перетворення файлу .dcm в узагальнений файл універсального формату (JPEG, BMP і PNG і т. ін.).

Архітектура системи наведена на рис.2.

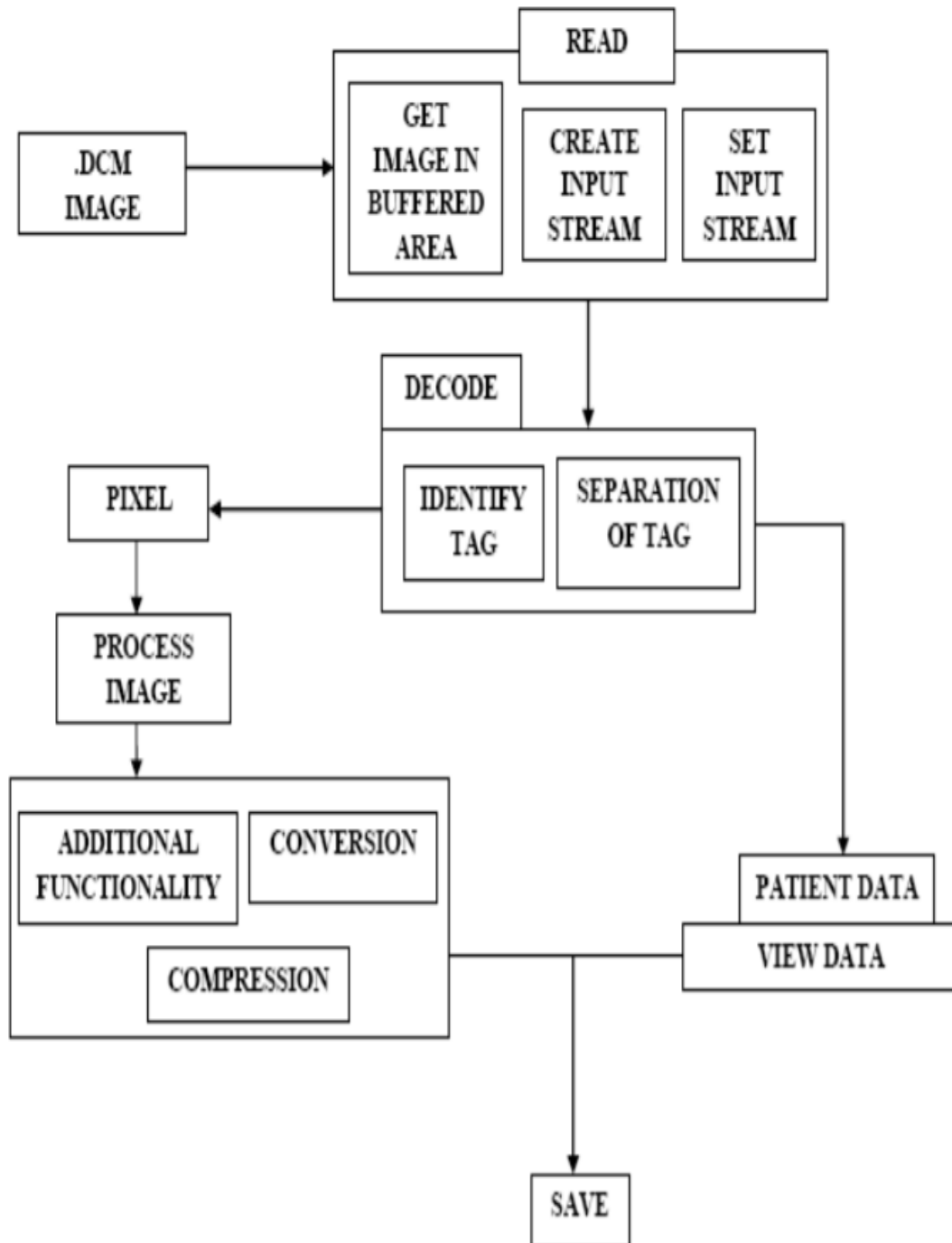


Рис. 2. Архітектура системи

Для обробки зображень DICOM використовується даний блок алгоритму (рис.3).

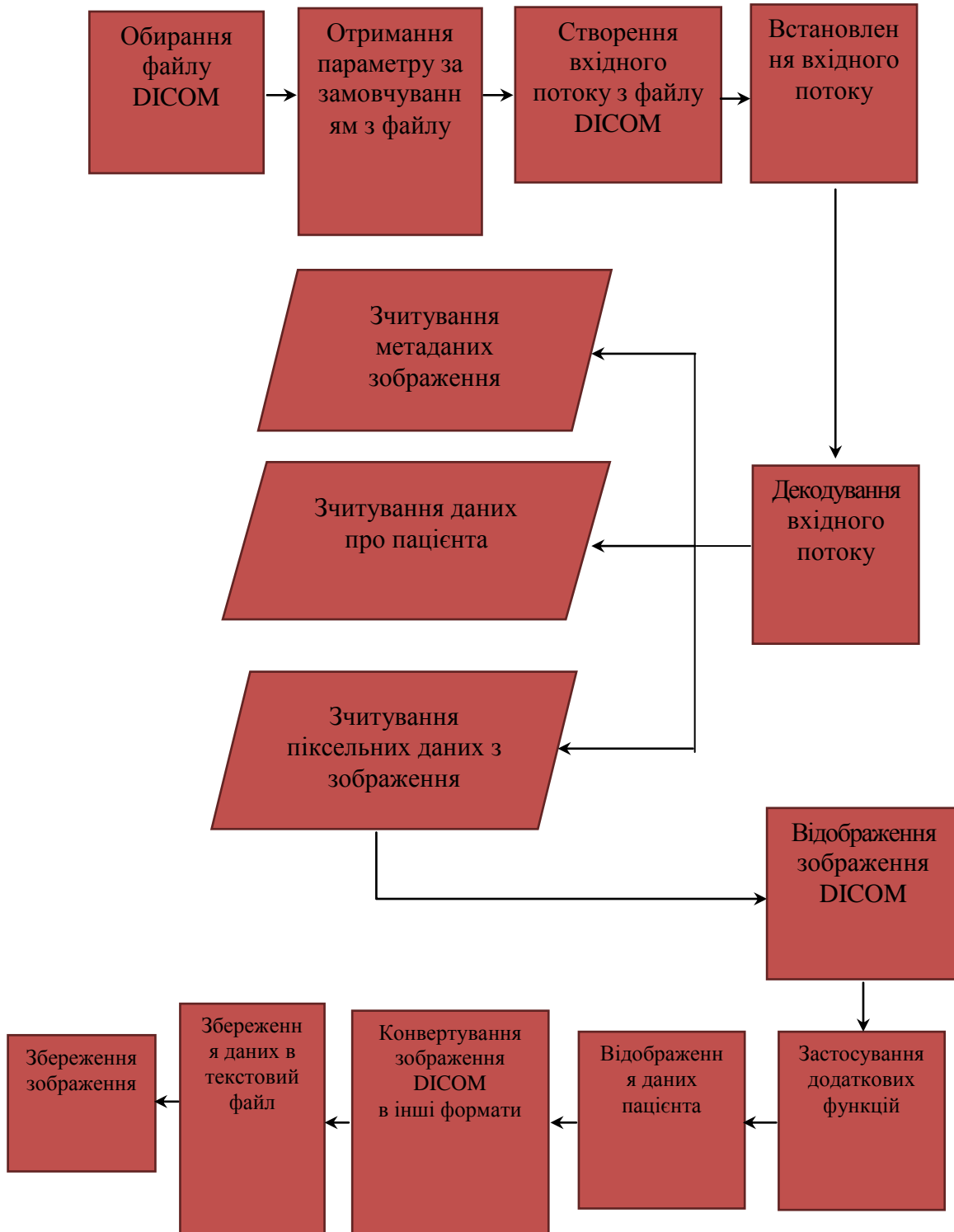


Рис.3. Блок алгоритму для обробки зображень DICOM



Основним пунктом даного алгоритму є процес переходу від формату \*.dcm у \*.jpg. Дана послідовність дій була реалізована на платформі Java, де фрагмент головної функції конвертування наведено нижче:

```
public void convert(File src, File dest) throws
IOException {
    Iterator<ImageReader> iter =
ImageIO.getImageReadersByFormatName("DICOM");
    try {
        reader.setInput(iis, false);
        bi = reader.read(frame - 1, param);
        if (bi == null) {
            System.out.println("\nError: " + src +
" - couldn't read!");
            return;
        }
        out = new BufferedOutputStream(new
FileOutputStream(dest));
        JPEGImageEncoder enc =
JPEGCodec.createJPEGEncoder(out);
        enc.encode(bi);
    } finally {
        CloseUtils.safeClose(iis);
        CloseUtils.safeClose(out);
    }
}
```

На рис.4 наведено результат роботи програми (зображення у 2-х площинах з інформацією про пацієнта).

*Висновки.* Збільшення числа методів діагностики і створення сучасної медичної техніки призвели до необхідності розробки особливого формату даних, який підтримувався б більшістю виробників апаратури і програмних засобів для виконання комплексних обстежень пацієнтів. Більшість апаратів медичної візуалізації дозволяють отримати двовимірні або тривимірні зображення досліджуваних органів. Часто тривимірні зображення ґрунтуються на дискретних перерізах (двовимірних зображеннях), що вимагає застосування сучасних інформаційних програмних засобів для обробки, візуалізації і організації збереження медичних даних. Для вирішення вказаної вище проблеми було розроблено стандарт даних DICOM, призначений для обробки і зберігання як поодиноких





зображень або їх об'єднаних форм, та реалізації зв'язку між медичними пристроями.

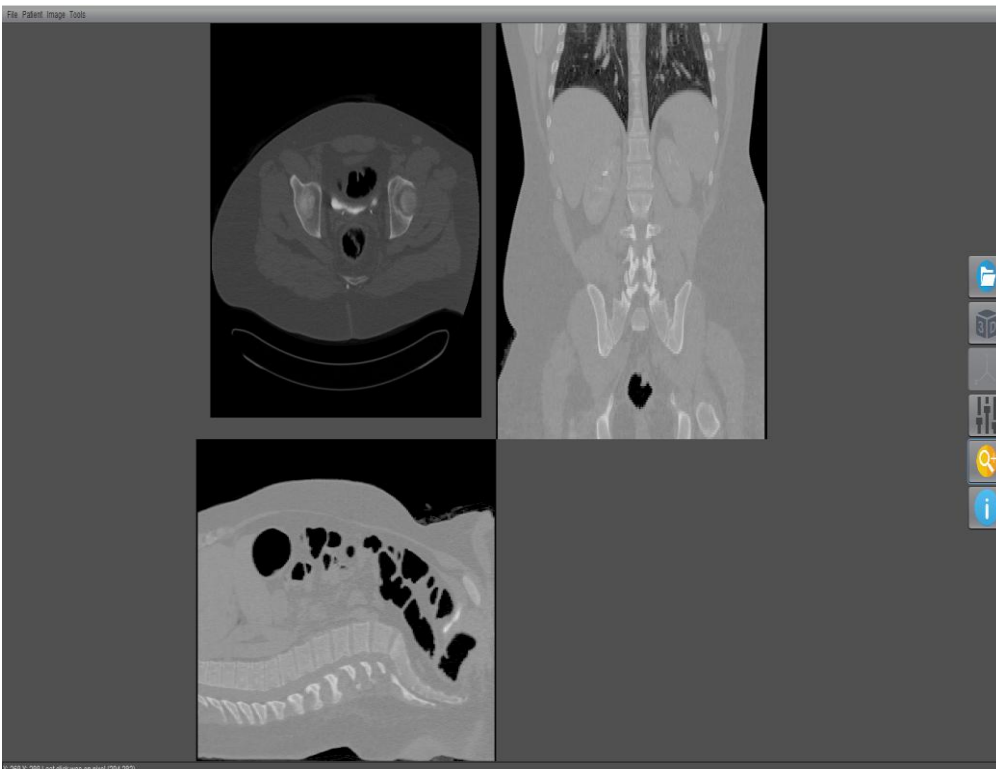
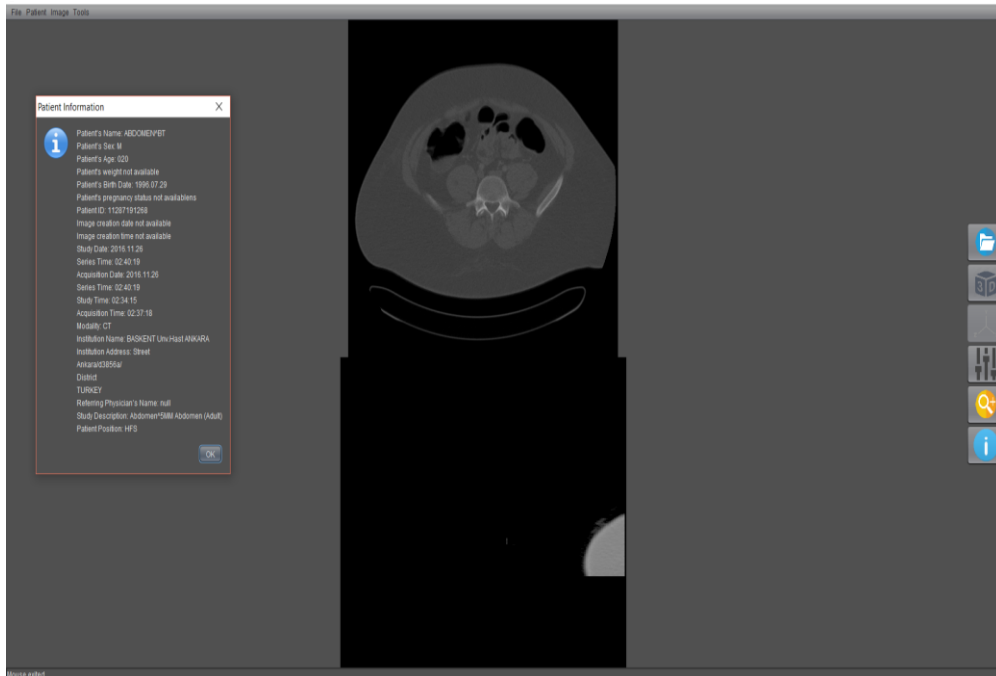


Рис. 4. Результат роботи програми



Набір даних формату DICOM є стандартизованою множиною, незважаючи на це усі поодинокі зображення знаходяться на одному рівні файлової системи в хаотичному порядку. Певний порядок у файли зображень вносять метадані, які зберігаються в одному файлі DICOMDIR, що формує файли зображень за ієрархічною структурою. Враховуючи цю особливість, розмір зображень DICOM може містити до 200 файлів .dcm (до 1 ГБ пам'яті), що ускладнює процес їх трансляції через мережу для отримання експертної консультації від особи, яка знаходиться на відстані, зокрема, в іншій країні чи континенті. Для вирішення цього питання в роботі запропоновано алгоритм перетворення файлу .dcm у генералізований файл перегляду зображень типу .jpeg, .bmp, .png (що суттєво зменшує об'єм пам'яті для збереження зображення) тощо, та здійснена програмна реалізація даного алгоритму на мові програмування Java.

### *Література*

1. *Mario Mustra* Overview of the DICOM Standard /Mustra Mario, Delac Kresimir, Grgic Mislav// 50th International Symposium ELMAR-2008, 10- 12 September 2008, Zadar, Croatia.
2. *Duarte H.* Effect of image compression of digital lateral cephalograms on the reproducibility of cephalometric points / H,Duarte R.Vieck, D.Siqueira, F.Angelier, S.Bommarito, G.Dalben, E.Sannomiya// Dentomaxillofacial Radiology, 2014.
3. *Климов А.С.* Форматы графических файлов – С.-Петербург: ДиаСофт, 1995. – 480с.
4. Digital Imaging and Communications in Medicine. NEMA PS 3 2004 ed.; Global Engineering Documents, Englewood CO, 2004, P. 21-28.
5. *Batinic T.* Effects of glossopharyngeal insufflation on cardiac function and the analysis of involuntary movements of the diaphragm in apnea divers - studies with magnetic resonance imaging PhD Thesis. University of Split, 2012.
6. *Спирінцев В.В.* Реалізація алгоритму перетворення DICOM зображення у формат JPEG, BMP та PNG, /В.В.Спирінцев, Ю.Р.Кондратюк / Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2017). Тези доповідей на II Всеукраїнській науково-практичній конференції: 22-24 листопада 2017 р., м. Дніпро. – Дніпро: Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, 2017. – С. 121.



## **АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ DICOM ИЗОБРАЖЕНИЯ В ФОРМАТ JPEG, BMP И PNG**

В.В. Спиринцев, Ю.Р.Кондратюк

### *Аннотация*

**Предлагается обобщенный вычислительный алгоритм и его программная реализация для просмотра и преобразования изображений DICOM в форматы BMP, PNG, JPEG. Программный модуль позволяет получать изображения в плоскостях с информацией о пациенте, в удобном для пользования формате, что значительно снижает объемы памяти для хранения данного изображения и дает больше преимуществ при их трансляции через сеть Internet.**

## **ALGORITHM OF THE DICOM CONVERSION OF THE IMAGE IN THE JPEG, BMP AND PNG FORMAT**

V. Spirintsev, Y.Kondratiuk

### *Summary*

**The increase in the number of diagnostic methods and the creation of modern medical equipment have led to the need to develop a special data format, which would be supported by the majority of manufacturers of hardware and software to perform comprehensive examinations of patients. To solve this problem, a DICOM data standard was developed, designed to process and store single images or their combined forms, and to implement communication between medical devices. However, the size of DICOM images can contain up to 1 GB of memory, which complicates the process of their transmission over the Internet. To solve this problem, the algorithm of file conversion is proposed .dcm to generalized image viewer file type .jpeg, .bmp, .png (which significantly reduces the amount of memory for storing images), and implemented a software implementation of this algorithm in the Java programming language.**



УДК 658.512.2

## ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ МІЖ ЕТАПАМИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ОБ'ЄКТІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Лясковська С.Є., к. т. н.

Національний університет "Львівська політехніка" (Україна, м. Львів)  
Тел. (032) 258 – 21 – 55

**Анотація** – у роботі приведені основні етапи життєвого циклу проектування деталі та процесу її експлуатації. Побудована схема взаємозв'язків етапів створення та реалізації об'єктів машинобудування. Враховані сучасні методи для динамічної співпраці між інженером – механіком та замовником на підприємстві. Проаналізовані особливості передачі конструкторської графічної інформації за допомогою хмарного середовища, адаптованого для машинобудівної галузі. Складено факторну математичну модель взаємозв'язків між параметрами для передачі даних за допомогою хмари, враховуючи зворотній зв'язок у системі «інженер-механік – замовник». Здійснено аналіз технологічного процесу обробки деталі із використанням її 3D моделі у CAD/CAE/CAPP/CAM системі.

**Ключові слова:** об'єкт машинобудування, життєвий цикл, CAD/CAE/CAPP/CAM системи, хмарні середовища, 3D – модель.

**Постановка проблеми.** Проектування устаткування обладнання для машинобудівної промисловості потребує, насамперед, ретельного аналізу технологічного процесу. Інженер – механік постає розробником та менеджером, адже для складання технологічного процесу потрібно проаналізувати та обчислити деякі кроки наперед. Зокрема, виконується аналіз представлених на ринку виробів – аналогів, узгодження із замовником особливостей майбутнього проекту, складання технічної пропозиції, виготовлення досліdnого зразка виробу. Для планування, розроблення та модернізації обладнання машинобудування важливим є окреслити життєвий цикл виробів.

**Аналіз попередніх досліджень.** Питання дослідження планування життєвого циклу виробів машинобудування за допомогою



**CAD** – систем досліджуються у роботі [1], зокрема, означені системи розглядають як об'єднання **CAD** і **CAM** систем [2]. У науковій розвідці [3] розглянуто етапи проектування у **CAPP** системі, вплив даних про досліджуваній об'єкт моделювання на створення технологічного процесу.

Дослідження показали, що динаміка розвитку сучасних інформаційних технологій диктує потребу у створенні нових методів та засобів і використання їх на виробництві, зокрема, для машинобудівної галузі. Актуальною постає проблема організації виробництва з використанням сучасних **CAD/CAE/CAPP/CAM** систем, хмарних технологій щодо їх систематизації та взаємозв'язку. Важливими є питання аналізу етапів життєвого циклу об'єктів машинобудування з урахуванням сучасних інформаційних систем та технологій.

*Формування цілей статті.* Завданням даного дослідження є підвищення результативності проектування обладнання шляхом систематизації і взаємозв'язку етапів проектування виробу машинобудування у **CAPP** системі та врахування особливостей взаємодії елементів системи «інженер – замовник» за допомогою хмарного середовища. А також шлях інтеграції графічних моделей з **CAD** системи у **CAPP** систему.

*Основна частина.* Реалізація етапів проектування складових елементів об'єкта машинобудування включає безпосередній зв'язок проектування та експлуатації виробів машинобудування загалом. Детальне планування виробництва починається від одержання замовлення, узгодження технічного завдання, опрацювання необхідної інформації про проект, тобто перших кроків життєвого циклу продуктів машинобудування.

Далі слідує етап вибору методів та систем для розроблення графічних моделей продукції, тобто **CAD/CAE/CAM** систем, **CAPP** систем, **DFMA** методології, яку використовують дизайнери для аналізу особливостей структури виробу. Аналізом популярних **CAPP** програм встановлено, що ефективнішими для машинобудівної галузі є **CATIA**, **SolidWorks**, **NX(SiemensPLM)**. Для реалізації комп'ютерних технологій проектування ефективними є такі типи **CAPP**, які містять модулі графічного проектування **CAD**, інженерного аналізу тобто перевірку розробленого об'єкта на міцність методом скінчених елементів блоком **CAE** та бібліотеку для об'єктів машинобудівних галузей **CAM**, тобто **CAD/CAE/CAM** систем. **PLM** – система (**ProductLifeManagement**) об'єднує етапи проектування деталей в

один життєвий цикл. На рис.1 подано послідовність етапів проектування та реалізації машинобудівної продукції.

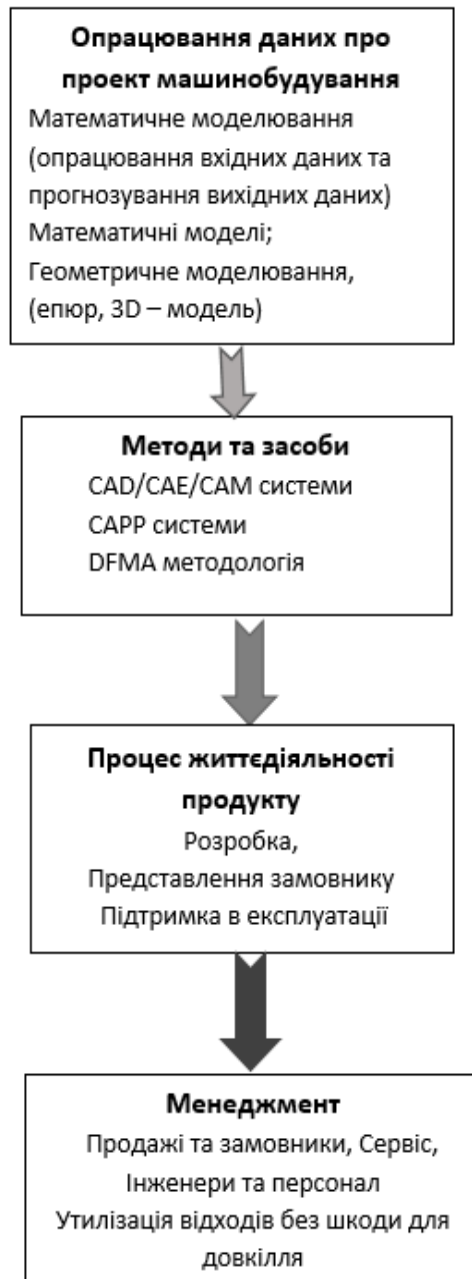


Рис.1. Етапи проектування та реалізації машинобудівної продукції

Перший блок демонструє опрацювання даних про проект машинобудування, розроблення математичних моделей, а також геометричне моделювання. Блок «Методи та засоби» містить етап вибору відповідного САПР середовища та комплекс відповідних

програм для роботи над завданням машинобудування. Процес життєдіяльності містить етапи розроблення, представлення продукції замовникові, підтримку в процесі експлуатації. Блок «Менеджменту та реалізації» містить наступні складові: дані про персонал, кількість інженерів, забезпечення належних засобів для персоналу (токарів, електриків тощо), робота з працівниками та клієнтами, продажі, аналіз продукції конкурентних виробництв, представлення підприємства на ринку збуту, організація утилізації відходів без шкоди для довкілля.

Застосування хмарних сервісів в сфері машинобудування є сучасним та ефективним рішенням для роботи у системі «клієнт – замовник». Перевагою таких сервісів є оперативний обмін інформацією між замовником та розробником. Серед сучасних хмарних сервісів та мобільних програм для галузі машинобудування відомими є **Auto CAD 360 PRO**, **Fusion 360**, **3D CAD Models Engineering**, **Gstar CAD DWG FastView**.

На рис.2 подана модель, яка демонструє процес взаємодії клієнта та інженера – механіка з використанням хмарних сервісів. Дана модель окреслює процес взаємодії інженера – механіка, який відповідає за створення проекту машинобудування, та клієнта розроблювального завдання. Після одержання та опрацювання всіх даних інженером, насамперед, обрано та затверджено із клієнтом відповідне хмарне середовище для спільної роботи над поставленим завданням щодо проекту. Розробник «скидає» свої напрацювання у «хмару» та очікує відгук від клієнта. Після отримання та опрацювання інформації стосовно свого замовлення здійснюється зворотній зв'язок від клієнта до розробника, який полягає у відправленні повідомлень із коментарями по завданнях, одержаних із хмарного середовища. Типи повідомлень розглядаються двох видів: «через хмару» або прямий зв'язок «клієнт – інженер-механік».

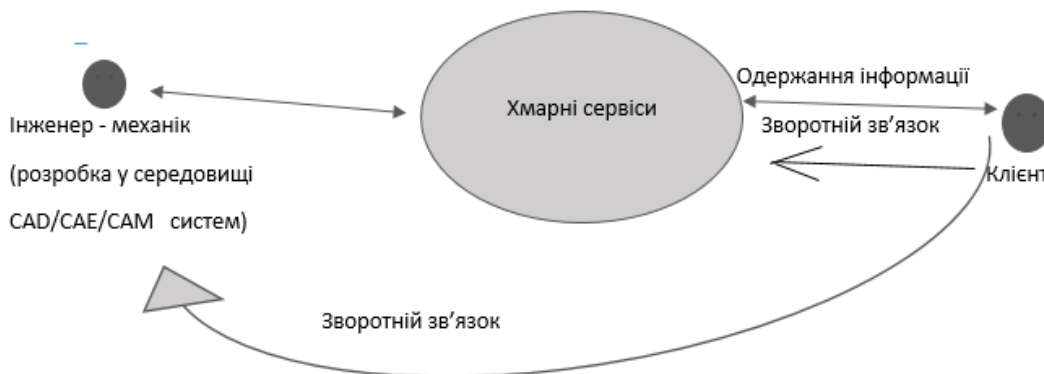


Рис.2. Взаємозв'язок клієнта та інженера – механіка з використанням хмарних сервісів

Модель на рис.2 є частковим випадком узагальненого процесу проектування, в якому його учасниками може розглядатися обґрунтована факторна математична модель  $P$ , яка описує взаємозв'язки між параметрами даних:

$$P = (Q, G_{graph}, T, Re, Org), \quad (1)$$

де

$Q$  – кількість розробників;

$G_{graph}$  – графічна компонента: графічні результати, 3D моделювання;

$T$  – часова компонента опрацювання даних щодо проекту;

$Re$  – множина одержаних результатів;

$Org$  – множина організаційних факторів, які впливають на процес проектування, оброблення та виготовлення об'єктів машинобудування.

Розглянемо, для прикладу, взаємозв'язки між різними етапами практичного проектування деталей машинобудування за допомогою **САРР** системи «Вертикаль». Першим етапом є створення креслення та побудова 3D моделі в **CAD** середовищі (рис.3).

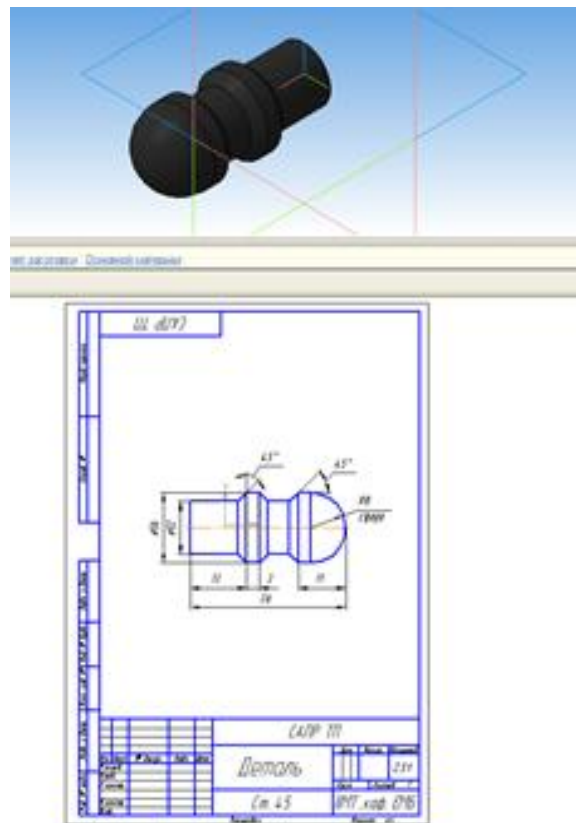


Рис.3. Перший етап створення креслення у **САРР** системі «Вертикаль»



Наступним кроком є вибір типу оброблення потрібної поверхні. Для цього обираємо *Точіння загального профілю - Обробку різанням - Операцію «Токарна»* (рис.4).

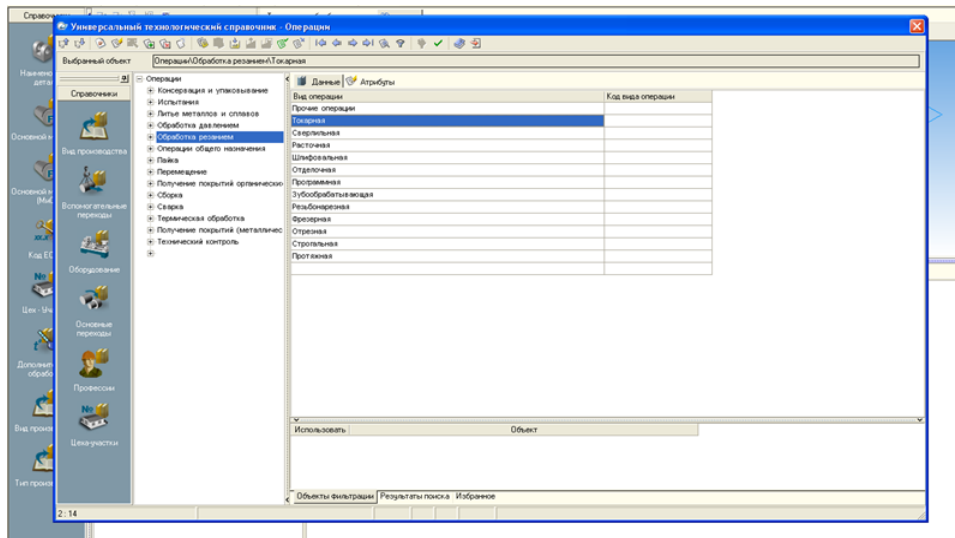


Рис.4. Шлях вибору операції «Токарна» для здійснення обробки поверхні деталі

Важливий етап складає вибір професії для здійснення певної операції. В даному прикладі обрали професію «Токар» (рис.5).

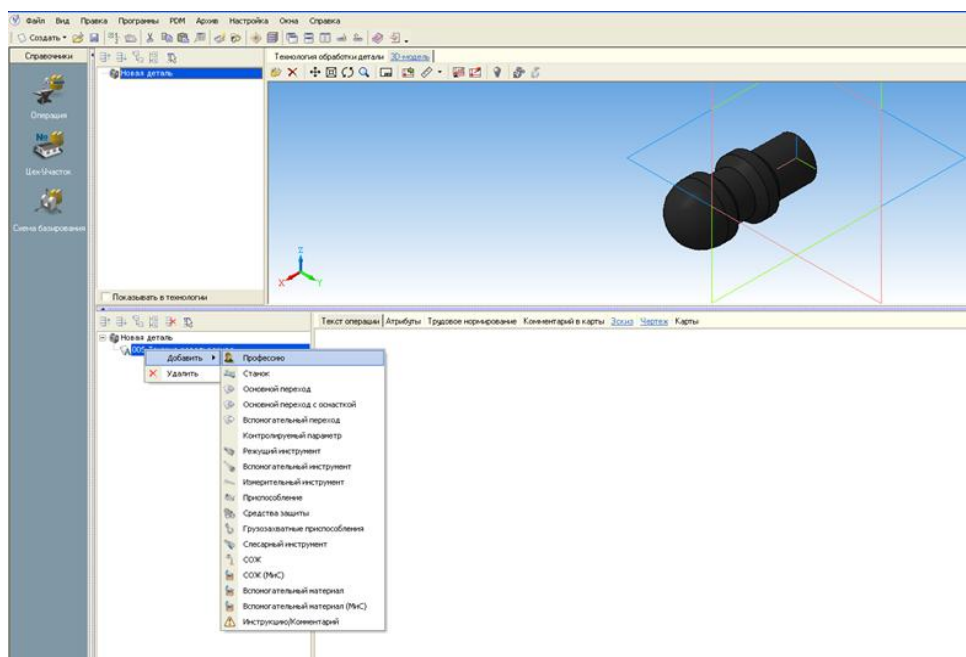


Рис.5. Вибір професії «Токар» для здійснення операції

Наступний етап передбачає вибір ріжучої пластинки (рис.6).

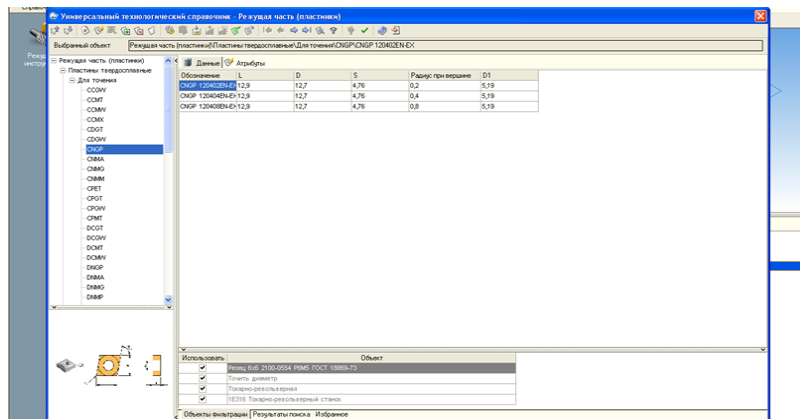


Рис.6. Вибір ріжучої пластинки

Отже, бачимо, що взаємозв'язки між різними етапами проектування та обробки деталей машин та механізмів є послідовними або непослідовними. Незалежно від етапу розробки об'єктів машинобудування на загальний результат проектування впливають параметри процесу, які пов'язані прямим чи зворотнім зв'язком.

*Висновок.* Проведений аналіз взаємозв'язків між етапами життєвого циклу об'єктів машинобудування показав важливість процесу комунікації елементів системи «інженер-механік – клієнт», заснованого на використанні хмарних сервісів.

### Література

1. *Topilnytskyu V.* Modeling the dynamic of vibratory separator of the drum type with concentric arrangement of sieves / Rebot D., Sokil M., Velyka O., Liaskovska S., Verkhola I., Kovalchuk R., Dzyuby kL. // Eastern – European Journal of Enterprise Technologies 2/7 (86) 2017, p. 26 – 35.
2. *Мартин Є.В.* Візуальне програмування задач механіки із залученням геометричних засобів CAD – систем / Є.В. Мартин, О.М. Гумен, С.Є. Ляковська.- Прикл. геом. та інж. графіка.–М.: ТДАТУ, 2013. – Вип. 4. Т.55. – С.18 – 23.
3. *Велика О.Т.* Оптимізація геометричних параметрів під час розрахунків деталей у середовищі CAD/CAE Auto CAD Mechanical 2006 / С. Є. Ляковська, О. Т. Велика // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. - Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2012. - № 729.



## ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЭТАПАМИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Лясковская С.Е.

### *Аннотация*

В работе приведены основные этапы жизненного цикла проектирования деталей и процесса ее эксплуатации. Построена схема взаимосвязей этапов создания и реализации объектов машиностроения. Учтены современные методы для динамической работы между инженером - механиком и заказчиком на предприятии.

Проанализированы особенности передачи конструкторской графической информации с помощью облачной среды, адаптированной для машиностроительной отрасли. Составлена факторная математическую модель взаимосвязей между параметрами для передачи данных с помощью облака, учитывая обратную связь в системе «инженер-механик - заказчик». Проведен анализ технологического процесса обработки детали с использованием ее 3D модели в CAD / CAE / CAPP / CAM системе.

## INTERACTION BETWEEN THE STEPS OF THE LIFE CYCLE OF MACHINE BUILDING OBJECTS

S. Ljaskovsky

### *Summary*

The main stages of the life cycle of designing the part and the process of its exploitation are presented in this work. The scheme of interconnections of stages of creation and realization of objects of machine building is constructed. Modern methods are considered for dynamic cooperation between the engineer - the mechanic and the customer at the enterprise. The peculiarities of transmission of design graphic information with the help of a cloud environment adapted for the machine-building industry are analyzed. Factorial mathematical model of interconnections between parameters for data transmission with the help of a cloud is made, taking into account the feedback in the system "engineer-mechanic-customer". An analysis of the process of processing the part using its 3D model on the CAD / CAE / CAPP / CAM system is carried out.



УДК 514.18

## ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ МАТРИЦЬ ДЛЯ УТВОРЕННЯ ТОЧКОВИХ РІВНЯНЬ Б-ПОВЕРХОНЬ

**Адоньєв Є.О., к.т.н.,**

*Запорізький національний університет, Україна;*

*Тел.: (0619) 42-64-61*

**Верещага В.М., д.т.н.,**

**Найдиш А.В., д.т.н**

*Мелітопольський державний педагогічний університет*

*імені Богдана Хмельницького, Україна;*

*Тел.: (0619) 44-80-29*

*Анотація* – У точковому численні Балюби-Найдиша (БН-численні), для розв'язання задач інтерполяції, встановлюються внутрішні зв'язки між елементами геометричної фігури без розв'язання систем рівнянь. Якщо будь-яку геометричну фігуру, що визначена рівнянням у декартовій системі координат, представити методами точкового БН-числення рівнянням відносно локальної системи координат, отримаємо цілий ряд переваг. Зокрема, можливість управляти формою геометричної фігури через зміну положень вихідних точок, а функції-параметри, при цьому, лишаються сталими і визначають долю від одиниці участі кожної вихідної точки у визначенні будь-якої змінюваної точки. Така можливість є важливою для проведення комп'ютерних експериментів з моделлю з метою прийняття найкращого управлінського рішення щодо багатофакторних ситуацій або процесів.

Розглянуто різні геометричні фігури, для формування поверхонь Балюби (Б-поверхонь) з різною кількістю та різним розташування вихідних точок. Наведено методіку формування геоматриць для однакових та різних точкових рівнянь щодо ребер сегменту поверхні.

*Ключові слова* – геометрична інтерполяція, геоматриця, БН-числення, Б-криві, Б-поверхні.



*Постановка проблеми.* Побудова математичних моделей для ситуацій і процесів шляхом розв'язання систем рівнянь різного степеня, здебільшого, обмежує кількість залучених вихідних факторів, що є елементами процесу. Свідоме або несвідоме зменшення кількості вихідних факторів, у будь-якому випадку, знижує адекватність моделі процесу. Зменшення адекватності веде до підвищення похибки у прийнятті управлінських рішень.

Збільшення кількості факторів та можливість зміни, у процесі проведення комп'ютерних експериментів, кількості та якості цих вихідних факторів без зміни самої моделі є нагальною задачею у моделюванні багатofакторних процесів. Розв'язання цієї задачі потребує зміни методів побудови моделі, яка б не обмежувала, за кількістю та якістю, включених до неї вихідних факторів і не змінювалась сама зі зміною цих факторів. Окрім цього, модель, що буде будуватися за новими методами, не має бути чутливою до зміни розмірності факторів, що включені до неї. Під розмірністю фактору треба розуміти кількість параметрів-характеристик типомоделі фактору. У моделюванні часто виникає необхідність змінювати кількість показників, що характеризують типомодель, з метою визначення найкращого управлінського рішення.

Точкові інтерполяційні рівняння, які одержано за використанням точкового числення Балюби-Найдиша (БН-числення), названо кривими Балюби (Б-кривими), поверхнями Балюби (Б-поверхнями), або узагальнююча назва – фігурами Балюби (Б-фігурами).

Процес інтерполяції на базі геометро-математичного апарату точкового БН-числення, названо геометричною інтерполяцією, або геометричною кореляцією.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* У роботах [1, 2] пропонується застосовувати метод головних компонент, факторний аналіз, тощо для підвищення адекватності моделі при обмеженій кількості вихідних факторів.

Поява у прикладній геометрії точкового БН-числення [3] надала можливість для створення нового методу моделювання багатofакторних ситуацій та процесів. Головною відмінністю точкового БН-числення у здійсненні інтерполяції є те, що точкова форма інтерполянта, у вигляді точкового рівняння, знаходиться на підставі встановлення сполучень між елементами або властивостями вихідної геометричної фігури. У той же час, у традиційних методах інтерполяції, для одержання рівняння інтерполянта, проводять розрахунки параметрів цього рівняння через розв'язання відповідних систем рівнянь.

*Формування цілей та завдання статті.* Запропонувати спосіб геометричної інтерполяції, що не обмежує, у межах раціонального, кількість вихідних факторів, кількість параметрів, які характеризують фактори та допускає можливість варіювати означеними кількостями.

*Основна частина.* Про інтерполяцію, у традиційному сенсі, достатньо повно викладено у роботі [4]. У роботі [5] розроблено методи дискретної інтерполяції дискретно поданих кривих і поверхонь.

Розглянемо три точкові рівняння:

$$M = A\bar{t}(1 - 2t) + C \cdot 4\bar{t}t + Bt(2t - 1), \quad (1)$$

$$M = A\bar{t}(1 - 3t) + C \cdot 4,5\bar{t}(1 - t) + B \cdot 0,5\bar{t}(3t - 1), \quad (2)$$

$$M = A \cdot 0,5(1 - t)(2 - 3t) + C \cdot 4,5\bar{t}(1 - t) + Bt(3t - 2), \quad (3)$$

кожне з яких одержано за допомогою геометричних побудов, показаних на рис.1 за однієї відмінності щодо параметру  $t_C$  розташування точки  $C$ .

Для (1)  $t_C = \frac{1}{2}$ , для (2)  $t_C = \frac{1}{3}$ , для (3)  $t_C = \frac{2}{3}$ . Точкові рівняння (1), (2), (3) забезпечують проходження через наперед визначені точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , тобто, здійснюють геометричну інтерполяцію.

Виконаємо перевірку геометричної інтерполяції для першого рівняння за умови, що у точці  $A \rightarrow t = 0$ , у точці  $B \rightarrow t = 1$ , у точці  $C \rightarrow t = \frac{1}{2}$ .

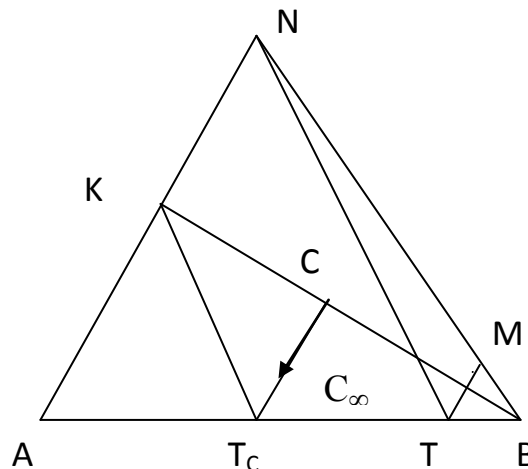


Рис.1. Схема одержання точкових рівнянь (1), (2), (3)



Для  $t=0$  (1) матиме вигляд:

$$M = A \cdot 1(1 - 2 \cdot 0) + C \cdot 4 \cdot 0 \cdot 1 + B \cdot 0 \cdot (2 \cdot 0 - 1), \rightarrow M = A.$$

$$\text{Для } t = \frac{1}{2}; M = A \cdot \frac{1}{2}(1 - 2 \cdot \frac{1}{2}) + C \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + B \cdot \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot \frac{1}{2} - 1), \rightarrow M = C.$$

$$\text{Для } t=1; M = A \cdot 0(1 - 2 \cdot 1) + C \cdot 4 \cdot 1 \cdot 0 + B \cdot 1 \cdot (2 \cdot 1 - 1), \rightarrow M = B.$$

Аналогічним чином, точкове рівняння (2) забезпечує геометричну інтерполяцію, тобто проходження через точки  $A, C, B$  для значень параметрів, відповідно,  $t=0, t=\frac{1}{3}, t=1$ . У результаті матимемо  $M=A; M=C; M=B$ .

Точкове рівняння (3) для  $t=0, t=\frac{2}{3}, t=1$  також інтерполуює, відповідно, точки  $A, B, C$ .

Застосуємо точкові рівняння (1), (2), (3) для двомірної геометричної інтерполяції сегменту поверхні (рис.2).

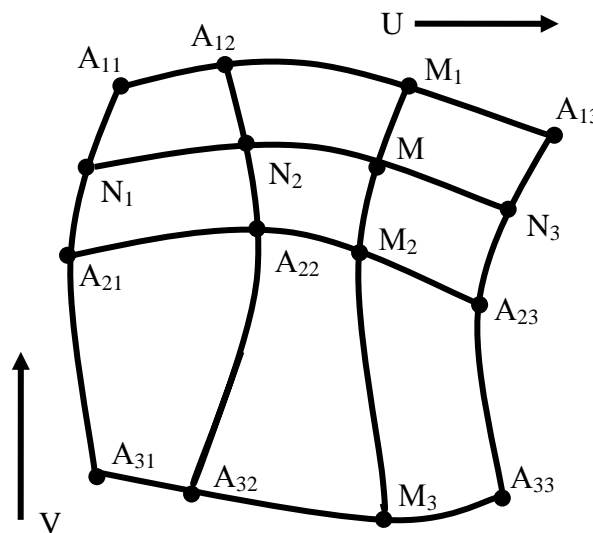


Рис. 2. Схема розташування вузлів для двомірної геометричної інтерполяції сегменту

У відповідності до схеми, запишемо рівняння (1), (2), (3) для напрямку  $u$ :



$$M_1 = A_{11} \bar{u}(1-3u) + A_{12} \cdot 4,5u(1-u) + A_{13} \cdot 0,5u(3u-1);$$

$$M_2 = A_{21} \bar{u}(1-2u) + A_{22} \cdot 4u \cdot \bar{u} + A_{23} \cdot u(2u-1); \quad (4)$$

$$M_3 = A_{31} \cdot 0,5\bar{u}(2-3u) + A_{32} \cdot 4,5u(1-u) + A_{33} \cdot u(3u-2),$$

де  $\bar{u} = (1-u)$ ;  $0 \leq u \leq 1$ .

Для напрямку  $v$ :

$$N_1 = A_{11} \bar{v}(1-3v) + A_{21} \cdot 4,5v(1-v) + A_{31} \cdot 0,5v(3v-1);$$

$$N_2 = A_{12} \bar{v}(1-2v) + A_{22} \cdot 4v \cdot \bar{v} + A_{32} \cdot v(2v-1); \quad (5)$$

$$N_3 = A_{13} \cdot 0,5\bar{v}(2-3v) + A_{23} \cdot 4,5v(1-v) + A_{33} \cdot v(3v-2),$$

де  $\bar{v} = (1-v)$ ;  $0 \leq v \leq 1$ .

У відповідності до методу рухомого симплексу [6], об'єднавши рівняння (4) та (5), дістанемо точкове рівняння поверхні:

$$M = A_{11} \bar{u}(1-3u) \cdot \bar{v}(1-3v) + A_{12} \cdot 4,5u(1-u) \cdot \bar{v}(1-2v) +$$

$$+ A_{13} \cdot 0,5u(3u-1) \cdot 0,5\bar{v}(2-3v) + A_{21} \bar{u}(1-2u) \cdot 4,5v(1-v) +$$

$$+ A_{22} \cdot 4u \cdot \bar{u} \cdot 4v \cdot \bar{v} + A_{23} \cdot u(2u-1) \cdot 4,5v(1-v) + \quad (6)$$

$$+ A_{31} \cdot 0,5\bar{u}(2-3u) \cdot 0,5v(3v-1) + A_{32} \cdot 4,5u(1-u) \cdot v(2v-1) +$$

$$+ A_{33} \cdot u(3u-2) \cdot v(3v-2).$$

Покажемо алгоритм складання точкового рівняння (6) із застосуванням геоматриць. Складемо геоматрицю параметрів  $U_{II}$  для точкових рівнянь (4) та для параметрів  $V_{II}$  у напрямку  $V$  для точкових рівнянь (5):

$$U_{II} = \left( \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} \end{pmatrix} \right); \quad V_{II} = \left( \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \end{pmatrix} \right). \quad (7)$$

Знайдемо геоматрицю параметрів  $A_{II}$ , помноживши геоматриці параметрів  $U_{II}$  та  $V_{II}$ :





$$\begin{aligned}
 A_{II} &= U_{II} \cdot V_{II} = \left( \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} \end{pmatrix} \right) \cdot \left( \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \end{pmatrix} \right) = \\
 &= \left( \begin{pmatrix} u_{11}v_{11} & u_{12}v_{12} & u_{13}v_{13} \\ u_{21}v_{21} & u_{22}v_{22} & u_{23}v_{23} \\ u_{31}v_{31} & u_{32}v_{32} & u_{33}v_{33} \end{pmatrix} \right) = \left( \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \right), \quad (8)
 \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= u_{11}v_{11} = \bar{u}(1-3u) \cdot \bar{v}(1-3v), & a_{12} &= u_{12}v_{12} = 4,5u(1-u) \cdot \bar{v}(1-2v), \\
 a_{13} &= u_{13}v_{13} = 0,5u(3u-1) \cdot 0,5\bar{v}(2-3v), & a_{21} &= u_{21}v_{21} = \bar{u}(1-2u) \cdot 4,5v(1-v) \quad (9) \\
 a_{22} &= u_{22}v_{22} = 4u \cdot \bar{u} \cdot 4v \cdot \bar{v}, & a_{23} &= u_{23}v_{23} = u(2u-1) \cdot 4,5v(1-v), \\
 a_{31} &= u_{31}v_{31} = 0,5\bar{u}(2-3u) \cdot 0,5v(3v-1), & a_{32} &= u_{32}v_{32} = 4,5u(1-u) \cdot v(2v-1), \\
 a_{33} &= u_{33}v_{33} = \bar{u}(3u-2) \cdot v(3v-2)
 \end{aligned}$$

Параметри  $u_{ij}$  та  $v_{ij}$  з (7) для  $i = \overline{1, m}$ ;  $j = \overline{1, n}$  є характеристичними функціями геометричної інтерполяції тому, що для одного із значень параметру у межах  $0 \leq u : v \leq 1$  вони приймають одиницю, а для усіх інших значень параметрів  $u$  і  $v$  – дорівнюють нулю. Ці параметри  $u_{ij}$  та  $v_{ij}$  у дослідженнях названо Б-функціями.

Функції-параметри  $a_{ij}$  з (9) визначають долю від одиниці, з якою вихідна точка  $A_{ij}$  приймає участь у визначенні змінюваної точки  $M_{ij}$  на Б-поверхні з точкового рівняння (6).

#### Висновки.

Створений алгоритм формування точкових рівнянь для Б-поверхонь спрощує побудову інтерполяційних поверхонь, робить його безпомилковим. Застосування геоматриць у алгоритмі одержання рівняння Б-поверхні надає можливість для узагальнень щодо їхнього використання.

#### Література:

1. Харман Г. Современный факторный анализ. – М.: Статистика, 1972. – 489 с.
2. Овсянников Г.Н. Факторный анализ в доступном изложении: изучение многопараметрических систем и процессов. – М.: Книжный дом «Либроком», 2013, – 176 с.



3. *Балюба И. Г.* Точечное исчисление [учебное пособие] // И. Г. Балюба, В. М. Найдыш; под ред. Верещаги В. М. – Мелитополь: Изд-во МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015. – 234 с.
4. *Гончаров В.Л.* Теория интерполирования и приближения функций, 2-ое изд. перераб. — М.: Гос. изд. технико-теорет. лит., 1954. — 327 с.
5. *Найдиш В.М.* Дискретна інтерполяція. – Мелітополь: ВДП «Люкс», 2007. – 250 с.
6. *Давиденко І.П.* Конструювання поверхонь просторових форм методом рухомого симплексу: автореф. ... канд. техн. наук 05.01.01 / Іван Петрович Давиденко: Таврійський держ. агротехнол. ун-т. – Мелітополь, 2012. – 23 с.
7. *Адоньев С.О.* Розробка узагальненої техніки алгебраїчного формування Б-функцій для чотирьох точок / С.О. Адоньев, В.М. Верещага, К.Ю. Лисенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХП», 2017 – №16(1238). – С. 17-23.

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ УРАВНЕНИЙ Б-ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е.А. Адоньев, В.М. Верещага, А.В. Найдыш

### *Аннотация*

**В точечном БН-исчислении, для решения задач интерполяции, определяются внутренние связи между элементами геометрической фигуры без решения систем уравнений. Если любую геометрическую фигуру, определенную уравнением в декартовой системе координат, представить методами точечного БН-исчисления уравнением относительно локальной системы координат, получим целый ряд преимуществ. В частности, возможность управлять формой геометрической фигуры через изменение положений исходных точек, а функции-параметры, при этом, остаются неизменными и определяют долю от единицы участия каждой исходной точки в определении любой изменяемой точки. Такая возможность важна для проведения компьютерных экспериментов с моделью с целью принятия**



наилучшего управленческого решения относительно многофакторных ситуаций и процессов.

Рассмотрены различные геометрические фигуры, для формирования Б-поверхностей с разным количеством и разным размещением исходных точек. Приведена методика формирования геоматриц для одинаковых и разных точечных уравнений относительно ребер сегмента поверхности.

Ключевые слова – геометрическая интерполяция, геоматрица, БН-исчисление, Б-кривые, Б-поверхности.

## APPLICATION OF GEOMETRIC MATTRESSES FOR DETERMINATION OF POINTING EQUATIONS OF B- SURFACES

### *Summary*

Y. Adoniev, V. Vereshchaga, A. Naidysh

**In a point BN-calculation, for solving interpolation problems, internal connections between elements of a geometric figure are established without solving equations. If any geometric figure defined by the equation in the Cartesian coordinate system is represented by the methods of the point BN-calculation by an equation relative to the local coordinate system, we obtain a number of advantages. In particular, the ability to control the shape of a geometric figure by changing the positions of the source points, and function-parameters, while, remain stable and determine the fate of the unit of participation of each starting point in determining any changeable point. Such an opportunity is important for carrying out computer simulations with the model in order to make the best management decision for multifactorial situations or processes.**

**Different geometric shapes are considered, for the formation of B-surfaces with different numbers and different location of the source points. The method of forming a geometric for the same and different point equations with respect to the edges of the segment of a surface is given.**

**ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ**

УДК 621.313.33:004

**РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ  
В ДВИГАТЕЛЬНОМ И ГЕНЕРАТОРНОМ РЕЖИМАХ ПРИ  
ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ****Прищепов М.А., д.т.н.****Прищепова Е.М.****Иванов Д.М.***Белорусский государственный аграрный технический университет  
(республика Беларусь, г. Минск)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы, касающиеся частотно-регулируемого асинхронного электропривода. Приведены основные статические законы частотного управления. Для наиболее широко распространённых законов стабилизации потокосцепления статора, ротора, взаимоиндукции разработаны детальные алгоритмы расчёта статических характеристик АД и проведено их сравнение.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, частотно-регулируемый электропривод, искусственные характеристики, стабилизация потока возбуждения, алгоритм расчёта.

*Постановка проблемы.* Процесс обкатки и испытания механических передач является важной завершающей операцией при изготовлении и ремонте механических передач. Данная операция проводится как на холостом ходу (без нагрузки), так и под нагрузкой. В качестве движителя используются асинхронные электроприводы. При этом, особое внимание уделяется механическим и электромеханическим характеристикам этих электроприводов.

*Анализ предыдущих исследований и формулирование целей статьи.* Различают два основных способа управления асинхронными электроприводами, использующими полупроводниковые преобразователи частоты: модульное (или скалярное) и векторное.



При этом модульное или скалярное управление в литературе, как правило, называют просто частотным. В настоящее время, несмотря на интенсивное развитие векторного способа управления, частотное управление довольно широко распространено, так как позволяет решать многие технические задачи просто и эффективно. Это относится в первую очередь к приводам с малым диапазоном регулирования (диапазон регулирования скорости – не более 50) и низкими требованиями к динамике привода. Модульное или скалярное управление базируется на изменении модулей или скаляров величин, определяющих электромагнитный момент асинхронных двигателей (АД) (частоты, напряжения, токов и магнитных потоков).

*Основная часть.* При частотном управлении в электроприводе реализуется один из статических законов частотного управления [1,2,3,4]:

$$1) \frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1H}}{f_H} = const; \quad (1)$$

$$2) \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{f_H}} = const; \quad (2)$$

$$3) \frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1H}}{f_H^2} = const; \quad (3)$$

4) оптимальный закон Костенко:

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_H} \cdot \sqrt{\frac{M_c}{M_H}}; \quad (4)$$

5) закон постоянства потокосцепления статора:

$$\Psi_1 = const \text{ или } \frac{E_s}{f_1} = const \text{ или } IR \text{ компенсации;}$$

6) закон постоянства потокосцепления цепи намагничивания:

$$\Psi_m = const \text{ или } \frac{d\Psi_m/dt}{f_1} = const \text{ или } \frac{E_1}{f_1} = const;$$

7) закон постоянства потокосцепления ротора:

$$\Psi_2 = const \text{ или } \frac{d\Psi_2/dt}{f_1} = const \text{ или } \frac{E'_2}{f_1} = const;$$



8) закон постоянства абсолютного скольжения:

$$s_a = s \cdot \alpha = \text{const} \quad \text{или} \quad s_a = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1H}} = \text{const}$$

9) минимизация тока статора  $I_1 \rightarrow \min$ ;

10) закон максимальной эффективности  $\eta \rightarrow \max$  ( $P_1 \rightarrow \min$ ) и

другие,

где  $\omega_1, f_1$  – синхронная угловая скорость электромагнитного поля и соответствующая ей частота питающего напряжения статора АД, рад/с, Гц;

$U_1$  – значение питающего напряжения статора АД, В;

$\omega_{1H}, f_H$  – номинальная угловая скорость электромагнитного поля и соответствующая ей номинальная частота питающего напряжения статора АД, Гц;

$U_{1H}$  – номинальное напряжение питания статора, В;

$M_c$  – статический момент на рабочем валу механизма, Н·м;

$M_H$  – номинальный момент на рабочем валу механизма при номинальной угловой скорости, Н·м;

$\omega$  – угловая скорость ротора, рад/с;

$\Psi_1, \Psi_2, \Psi_m$  – потокосцепления, соответственно, статора, ротора, и взаимоиндукции, В·с;

$E_s, E_1, E'_2$  – ЭДС, соответственно, статора, взаимоиндукции и ротора, приведенная к обмотке статора, В;

$\alpha = f_1/f_H$  – относительное значение частоты питающего

напряжения;

$s$  – скольжение АД, о.е.;

$s_a$  – абсолютное скольжение АД, о.е.;

$I_1$  – текущий ток статора, А;

$P_1$  – потребляемая мощность АД, Вт;

$\eta$  – КПД двигателя.

Формирование закона может выполняться как в разомкнутом, так и в замкнутом контуре управления.

Область применения разомкнутых систем управления ограничивается механизмами с небольшим диапазоном регулирования скорости и механизмами с известной механической характеристикой, т.е. зависимостью статического момента  $M_c$  на рабочем валу механизма от угловой скорости  $\omega$   $M_c = f(\omega)$ . В частности, жёсткое



задание зависимости  $U_1 = f(\omega_1)$  хорошо подходит для управления механизмами насосно-вентиляторной группы.

Если механическая характеристика нагрузки  $M_c = f(\omega)$  известна, то расчёт зависимости  $U_1 = f(\omega_1)$  может быть выполнен на основе статической модели АД с учётом выбранного закона частотного управления. Пока закон частотного управления не задан, задача расчёта  $U_1 = f(\omega_1)$  по  $M_c = f(\omega)$  решается неоднозначно.

Если механическая характеристика нагрузки заранее неизвестна (например, имеет случайный характер), то формирование выбранного закона частотного управления (за исключением закона  $U_1/f_1 = U_{1Н}/f_H = \text{const}$ ) осуществляется в замкнутом контуре с помощью введения обратных связей по переменным двигателя, хотя и при этом динамические характеристики привода остаются невысокими.

Таковыми переменными двигателя могут быть ток и ЭДС статора ( $I_1, E_s$ ), основной магнитный поток АД ( $\Phi$ ), угловая скорость ротора ( $\omega$ ) или абсолютное скольжение ( $s_a$ ). Наиболее простым и доступным сигналом, является ток статора, именно он используется в большинстве приводов широкого применения при частотном управлении.

Из замкнутых систем частотного управления АД наиболее широкое распространение получили системы стабилизации потокосцепления: статора  $\Psi_1 = \text{const}$ , взаимоиндукции  $\Psi_m = \text{const}$ , ротора  $\Psi_2 = \text{const}$  [5, 6]. Каждый из этих законов частотного управления обеспечивает определённые электромеханические свойства и энергетические показатели АД.

Для анализа этих свойств и показателей авторами публикации были разработаны детальные алгоритмы расчёта параметров схемы замещения, механических и электромеханических характеристик АД при указанных законах стабилизации потокосцепления.

При управлении АД по закону стабилизации  $\Psi_1 = \text{const}$  непрерывно устраняется или компенсируется влияние на электромагнитные процессы в АД падения напряжения на сопротивлении статора  $r_1$  схемы замещения (СЗ) АД, поэтому этот закон частотного управления так же называют законом управления с  $IR$ - компенсацией.

Рассматривая частотное управление АД по закону  $\Psi_1 = \text{const}$  на основании общеизвестного соотношения между действующими



значениями ЭДС  $E$ , потокосцепления  $\Psi$  и угловой скорости  $\omega_1$   
 $E = \omega_1 \cdot \Psi$ , можно записать пропорцию [5, 6]:

$$\frac{E_s}{\omega_1} = \frac{E_{s.H}}{\omega_{1H}} = const. \quad (5)$$

где  $E_{s.H}$  – номинальное значение

Из неё же можем найти и действующее значение ЭДС статора:

$$E_s = E_{s.H} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1H}} = \alpha \cdot E_{s.H}. \quad (6)$$

Механическая характеристика будет выражаться параметрическим уравнением:

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_a}{s_{ak}} + \frac{s_{ak}}{s_a}} \\ \omega &= \omega_{0H} \cdot (\alpha - s_a) \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где  $M_k$  – критический момент двигателя,

$$M_k = \frac{3 \cdot E_{s.H}^2}{2 \cdot \omega_{0H} \cdot x'_{к.ном}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}; \quad (8)$$

$\omega_{0H}$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора АД при номинальной частоте переменного тока питающей сети, рад/с;

$x'_{к.ном}$  – индуктивное номинальное сопротивление обмоток статора и ротора АД при номинальной частоте питающего напряжения для режима короткого замыкания (при неподвижном роторе), Ом;

$s_a$  – абсолютное скольжение,  $s_a = \alpha \cdot s$ ;

$s_{ak}$  – абсолютное критическое скольжение

$$s_{ak} = \pm \frac{r''_2}{x'_{к.ном}}, \quad (9)$$

где  $r''_2$  – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, для Г-образной схемы замещения, Ом;





Параметрическое уравнение электромеханической характеристики  $I_1=f(\omega)$  имеет вид:

$$I_1 = \frac{E_{s.H}}{\sqrt{R_{B,A}^2 + (x_1 + X_{B,A})^2}} \Bigg|_{\omega = \omega_{0H} \cdot (\alpha - s_a)}, \quad (10)$$

где  $R_{B,A}$  – «внутреннее» активное сопротивление АД при номинальной частоте и данном значении абсолютного скольжения  $s_a$ , Ом;

$X_{B,A}$  – «внутреннее» индуктивное сопротивление АД при номинальной частоте и данном значении абсолютного скольжения  $s_a$ , Ом;

$x_1$  - индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора, Ом;

Уравнение электромеханической характеристики  $I'_2=f(\omega)$ :

$$I'_2 = \frac{E_{s.H}}{\sqrt{\left(\frac{r'_{2}}{s_a}\right)^2 + x'_{к.ном}{}^2}} \Bigg|_{\omega = \omega_{0H} \cdot (\alpha - s_a)}. \quad (11)$$

При реализации этого закона частотного управления необходимо обеспечивать на обмотке статора АД напряжение:

$$U = \alpha \cdot E_{s.H} \cdot \frac{Z'_{AD}}{\sqrt{R_{B,A}^2 + (x_1 + X_{B,A})^2}}, \quad (12)$$

где  $Z'_{AD}$  – полное сопротивление цепи АД при данном абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ , Ом.

Алгоритм расчёта характеристик АД по представленной выше методике согласно работ [5, 6] рассматривался авторами ранее в работе [7], где результаты расчёта сравнивались с аналогичными



результатами полученными по методике представленной в работе [8]. При этом в обоих случаях расчёт параметров СЗ АД ( $r_1, r'_2, x_1, x'_2, x_\mu$ ) проводился по алгоритму приведенному в работе [9]. Имеющееся несовпадение механических и электромеханических характеристик в диапазоне угловых скоростей от критической и меньших критической угловой скорости для двигательного режима и от критической, и больших критической угловой скорости для генераторного режима, рассчитанных по указанным методикам, объясняется тем, что ЭДС статора  $E_S$  в методике [5, 6] рассчитывалась из векторной диаграммы геометрически, а в методике [8] из выражения через действующие значения её параметров.

Для частотного управления при стабилизации потокосцепления по закону  $\Psi_m = const$ , запишем пропорцию [5, 6]:

$$\frac{E_1}{\omega_1} = \frac{E_{1.н}}{\omega_{1.н}} = const \quad (13)$$

Тогда действующее значение ЭДС взаимоиндукции:

$$E_1 = \alpha \cdot E_{1.н} \quad (14)$$

Номинальное значение ЭДС взаимоиндукции  $E_{1.н}$  находим из выражения:

$$E_{1.н} = \sqrt{\left( U_n \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - I_{1.н} \cdot x_1 \right)^2 + \left( U_n \cdot \cos \varphi_n - I_{1.н} \cdot r_1 \right)^2} \quad (15)$$

где  $\cos \varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности, о.е;

Механическая характеристика АД при частотном управлении по закону  $\Psi_m = const$  определяется параметрическим уравнением (7).

Критический момент будет равен:

$$M_k = \frac{3 \cdot E_{1.н}^2}{2 \cdot \omega_{0н} \cdot x'_{2.н}}, \quad (16)$$



где  $x'_{2.н}$  – индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора СЗ АД, при номинальной частоте, Ом.

Абсолютное критическое скольжение:

$$s_{ak} = \pm \frac{r'_{2}}{x'_{2.н}}, \quad (17)$$

Уравнение электромеханической характеристики  $I_1=f(\omega)$  имеет следующий вид:

$$I_1 = \frac{E_{1.н}}{\sqrt{R_{B,A}^2 + X_{B,A}^2}} \left. \vphantom{I_1} \right\} \cdot \quad (18)$$
$$\omega = \omega_{0н} \cdot (\alpha - s_a)$$

Уравнение электромеханической характеристики  $I'_2=f(\omega)$ :

$$I'_2 = \frac{E_{1.н}}{\sqrt{\left(\frac{r'_{2}}{s_a}\right)^2 + x'_{2.н}{}^2}} \left. \vphantom{I'_2} \right\} \cdot \quad (19)$$
$$\omega = \omega_{0н} \cdot (\alpha - s_a)$$

Необходимая величина действующего значения напряжения при частотном управлении по закону  $\Psi_m=const$  исходя из эквивалентной СЗ АД, может быть вычислена по формуле:

$$U = \alpha \cdot E_{1.н} \cdot \frac{Z'_{АД}}{Z_{B,A}} \quad (20)$$

Алгоритм подпрограммы вычисления параметров  $s_a$ ,  $M$ ,  $\omega$ ,  $R_{B,A}$ ,  $X_{B,A}$ ,  $Z'_{АД}$ ,  $Z_{B,A}$ ,  $I_1$ ,  $I'_2$ ,  $U$  в алгоритме расчёта механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для  $\Psi_m=const$  по методике [5,6] представлена на рисунке 1.

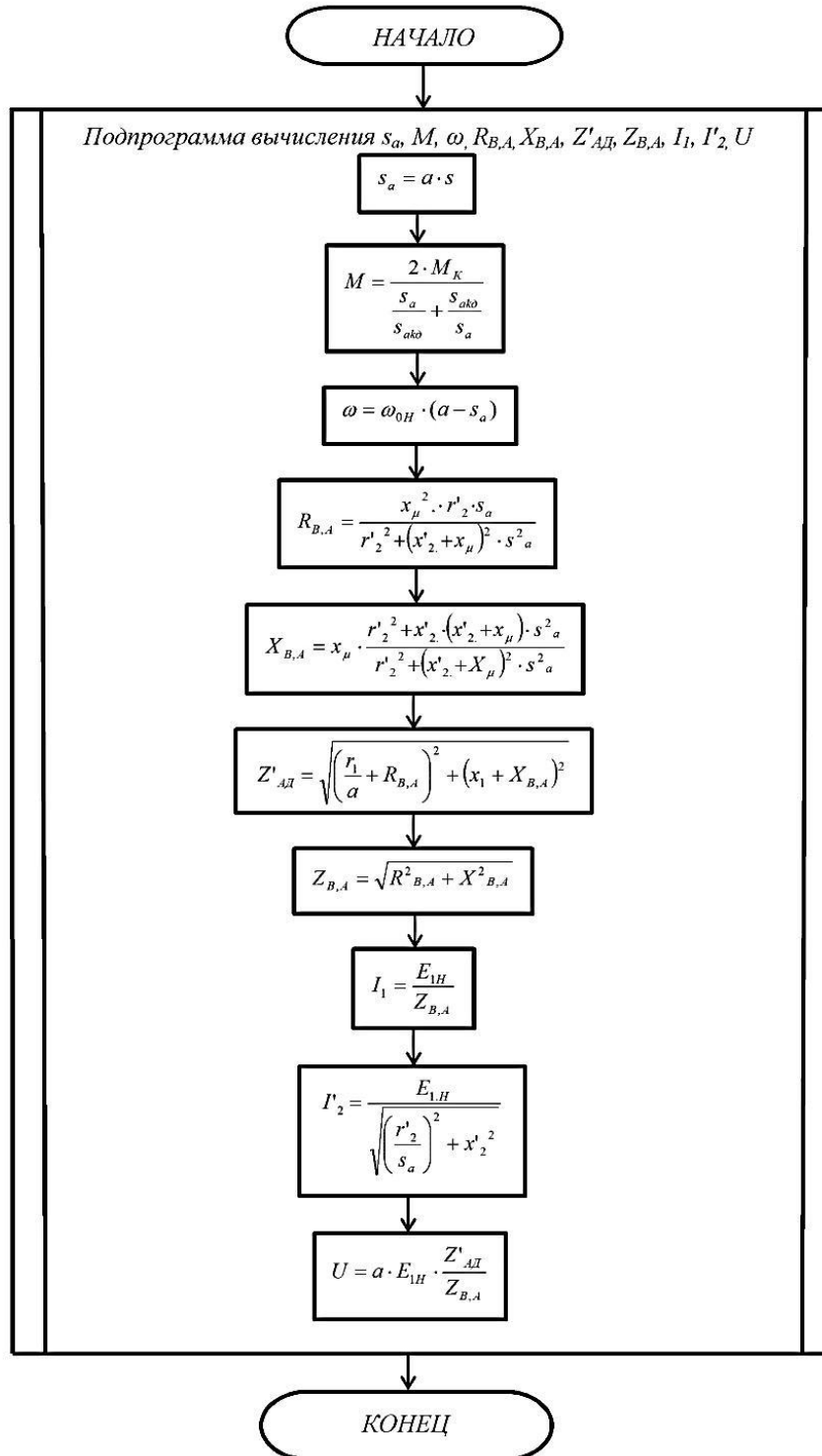


Рис. 1. Алгоритм подпрограммы вычисления параметров



$s_a, M, \omega, R_{B,A}, X_{B,A}, Z'_{AD}, Z_{B,A}, I_1, I_2, U$  в алгоритме расчёта механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для  $\Psi_m = const$  по методике [5, 6]

Указанный алгоритм расчёта механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для  $\Psi_m = const$  будет аналогичен основному алгоритму расчёта, представленному на рисунке 8 при  $\Psi_1 = const$  работы [7].

Для частотного управления АД при стабилизации потокосцепления по закону  $\Psi_2 = const$  запишем пропорцию:

$$\frac{E'_2}{\omega_1} = \frac{E'_{2н}}{\omega_{1н}} = const, \quad (21)$$

где  $E'_2$  – приведенное значение ЭДС, индуцированной потокосцеплением ротора, В;

$E'_{2н}$  – приведенное значение ЭДС ротора при номинальной угловой скорости  $\omega_{1н} = 2\pi \cdot f_n$ , В.

Тогда:

$$E'_2 = E'_{2н} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1н}} = a \cdot E'_{2н}, \quad (22)$$

Принимая во внимание, что  $E'_{2н} = \omega_{1н} \cdot \Psi_{2н}$ .

Тогда действующее значение номинального потокосцепления ротора определим из потокосцепления взаимоиндукции  $\Psi_{mн}$  при максимальной нагрузке:

$$\Psi_{2н} = \Psi_{mн} \cdot \cos\varphi_2 = \Psi_{mн} \cdot \frac{s_{ак}}{\sqrt{s_{ак}^2 + s_n^2}}, \quad (23)$$

где  $s_{ак} = \frac{r'_2}{x'_2}$  – абсолютное критическое скольжение, о.е.

Соответственно

$$\Psi_{mн} = \frac{E'_{2н}}{\omega_{1н}} \quad (24)$$

Значение тока статора:

$$I_1 = E'_{2н} \cdot \sqrt{s_a^2 \cdot \left[ \frac{1}{r'_{2^2}} + \frac{1}{(x_\mu \cdot s_{ак})^2} + \frac{2}{x_\mu \cdot s_{ак} \cdot r'_2} \right] + \frac{1}{x_\mu}} \quad (25)$$



ротора:

$$I'_2 = s_a \cdot \frac{E'_{2н}}{r'_{2}}. \quad (26)$$

Тогда электромагнитный момент трехфазного АД:

$$M = \frac{3 \cdot I'^2_{2} \cdot r'_{2}}{\omega_0 \cdot s} = \frac{3 \cdot I'^2_{2} \cdot r'_{2}}{\omega_{0н} \cdot s_a}. \quad (27)$$

Выразив из выражения приведенного тока ротора  $I'_2$  абсолютное скольжение  $s_a$  и подставив его в выражение электромагнитного момента, получим:

$$M = 3 \cdot \frac{E'_{2н}}{\omega_{0н}} \cdot I'^2_{2}. \quad (28)$$

Учитывая, что  $\omega_{0н} = \frac{\omega_{1н}}{p} \cdot \frac{E'_{2н}}{\omega_{1н}} = \Psi_{2н}$ , получим

$$M = 3 \cdot p \cdot \Psi_{2н} \cdot I'^2_{2} = c \cdot I'^2_{2}, \quad (29)$$

где  $c = 3 \cdot p \cdot \Psi_{2н}$ ;

$p$  – число пар полюсов обмотки статора.

Подставив в выражение момента  $M(28)$  выражение тока ротора  $I'_2$  (26) получим:

$$\begin{aligned} M &= 3 \cdot p \cdot \Psi_{2н} \cdot \frac{E'_{2н}}{r'_{2}} \cdot s_a = 3 \cdot p \cdot \Psi_{2н} \cdot \frac{E'_{2н}}{r'_{2}} \cdot \frac{\omega_0}{\omega} \\ &= 3 \cdot p \cdot \Psi_{2н} \cdot \frac{E'_{2н}}{r'_{2}} \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_{1н}} \cdot p = \frac{3 \cdot (p \cdot \Psi_{2н})^2}{r'_{2}} \cdot (\omega_0 - \omega) \end{aligned} \quad (30)$$

Обозначив  $\beta = \frac{3 \cdot (p \cdot \Psi_{2н})^2}{r'_{2}}$  и выразив  $\omega_0 = \alpha \cdot \omega_{0н}$ , тогда

получим окончательное уравнение механической характеристики АД при частотном управлении по закону  $\Psi_2 = const$ :



$$\omega = \alpha \cdot \omega_{0н} - \frac{M}{\beta} \quad (31)$$

где  $\beta$  - модуль жёсткости механической характеристики.

При постоянной жёсткости  $\beta$ , механическая характеристика АД становится линейной, аналогичной двигателю постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) и ограничивается режимом насыщения магнитопровода ( $\approx 1,5 \dots 2 \cdot M_n$ ).

Необходимая величина действующего значения напряжения, подаваемого на фазную обмотку статора АД при частотном управлении по закону  $\Psi_2 = const$  рассчитывается из эквивалентной Т-образной СЗ АД по формуле:

$$U = \omega_{1н} \cdot \Psi_{2н} \cdot \frac{s_a}{r'_2} \cdot \sqrt{R^2(\alpha, s_a) + X^2(\alpha, s_a)}, \quad (32)$$

где  $R(\alpha, s) = \frac{r_1}{k_r} + \frac{\alpha \cdot r'_2}{k_s \cdot s_a}$  – активное сопротивление АД при данном

абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ , Ом;

$X(\alpha, s_a) = \alpha \cdot \left( x'_{к.ном} + \frac{x'_{к.ном}}{x_\mu} \right) - \frac{r_1}{x_\mu} \cdot \frac{r'_2}{s_a}$  – индуктивное

сопротивление АД при данном абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ , Ом;

$k_r = \frac{x_\mu}{x'_2 + x_\mu}$  – коэффициент магнитной связи ротора;

$k_s = \frac{x_\mu}{x_1 + x_\mu}$  – коэффициент магнитной связи статора;

$x'_{к.ном} = x_1 + x'_2$ .

Алгоритм расчёта механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для  $\Psi_2 = const$  по методике [5, 6] представлен на рисунке 2. В алгоритме расчёт характеристик АД проводится на рабочем участке механической характеристике от  $2M_n$  до  $-2M_n$ , т.е. при изменении относительного момента  $\mu$  от 2 до -2.

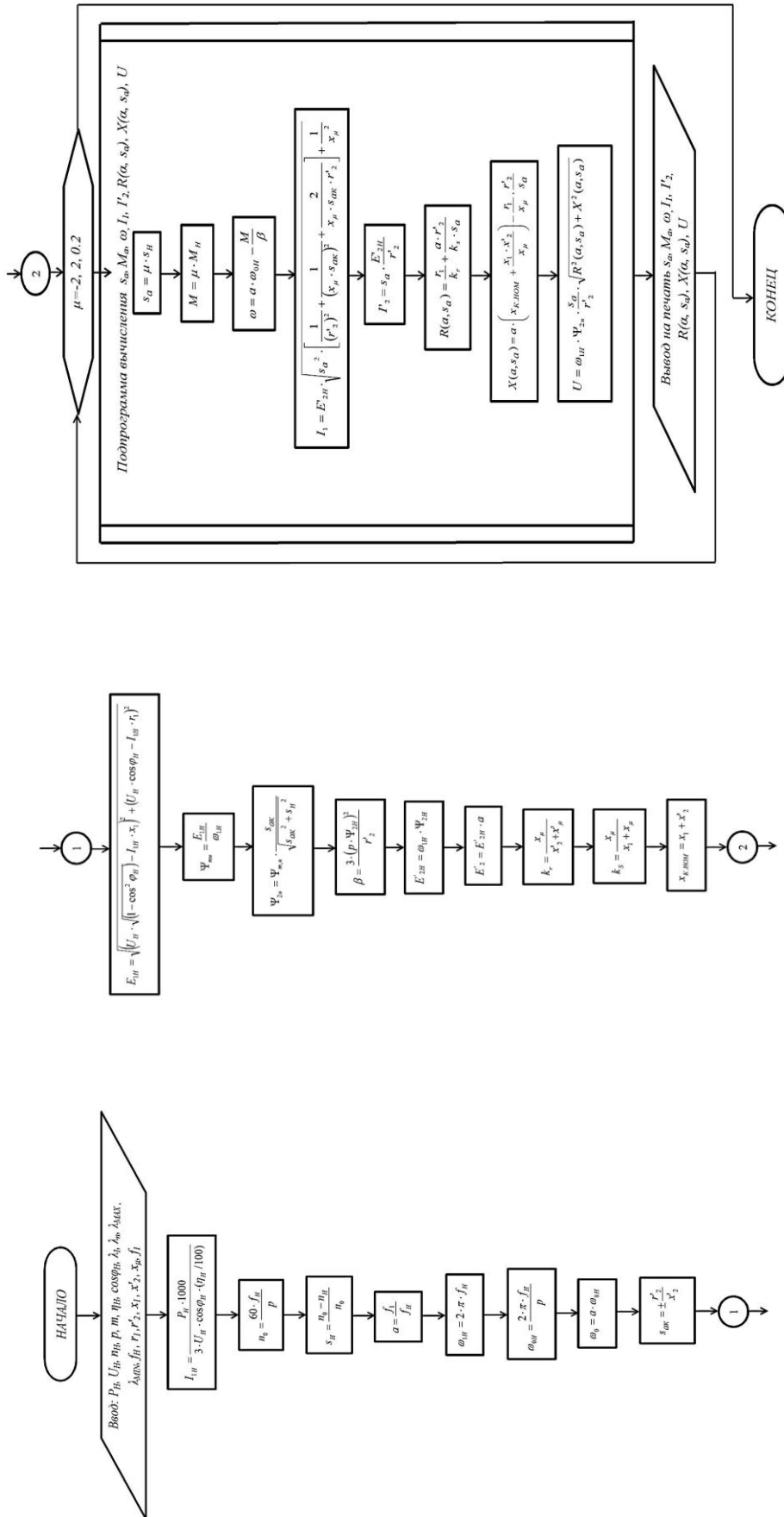


Рис. 2. Алгоритм расчёта механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для  $\Psi_2 = const$  по методике [5, 6]





где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя, кВт;  
 $U_H$  – номинальное напряжение питания (фазное), В;  
 $n_H$  – номинальная частота вращения, об/мин;  
 $\cos\varphi_H$  – номинальный коэффициент мощности, о.е;  
 $\eta_H$  – номинальный коэффициент полезного действия двигателя, %;  
 $\lambda_{MAX}$  – кратность максимального момента к номинальному, о.е;  
 $\lambda_{II}$  – кратность пускового момента к номинальному, о.е;  
 $\lambda_I$  – кратность пускового тока к номинальному, о.е;  
 $\lambda_{MIN}$  – кратность минимального момента к номинальному, о.е;  
 $f_H$  – номинальная частота переменного тока питающей сети, Гц;  
 $r_1$  – активное сопротивление обмотки статора, Ом;  
 $r'_2$  – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;  
 $x_1$  – индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора, Ом;  
 $x'_2$  – индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;  
 $x_\mu$  – индуктивное сопротивление ветви намагничивания, Ом;  
 $f_1$  – текущая частота переменного тока питающей сети, Гц;  
 $I_{IH}$  – номинальный фазный ток статора, А;  
 $n_0$  – синхронная частота вращения магнитного поля статора, мин<sup>-1</sup>;  
 $s_H$  – номинальное скольжение АД, о.е;  
 $\alpha$  – относительная частота питающего напряжения, о.е;  
 $\omega_{IH}$  – номинальная угловая скорость переменного тока питающей сети, рад/с;  
 $\omega_{0H}$  – синхронная угловая скорость АД при номинальной частоте  $f_H$  переменного тока питающей сети, рад/с;  
 $\omega_0$  – синхронная угловая скорость АД при текущей частоте  $f_1$  питающей сети, рад/с;  
 $s_{ак}$  – абсолютное критическое скольжение при законе управления  $\Psi_m$ ;  
 $E_{IH}$  – значение номинальной ЭДС взаимоиндукции, В;  
 $\Psi_{mн}$  – номинальное значение потокосцепления взаимоиндукции, В·с;  
 $\Psi_{2н}$  – номинальное значение потокосцепления ротора, В·с;  
 $\beta$  – модуль жёсткости механической характеристики;



$E'_{2H}$  – значение номинальной ЭДС, индуцируемой потокосцеплением ротора при номинальной частоте питающего напряжения, В;

$E'_2$  – значение ЭДС, индуцируемой потокосцеплением ротора при текущей частоте  $f_1$  питающего напряжения, В;

$k_r$  – коэффициент магнитной связи ротора;

$k_s$  – коэффициент магнитной связи статора;

$x_{K.HOM}$  – индуктивное номинальное сопротивление обмоток статора и ротора АД при номинальной частоте питающего напряжения для режима короткого замыкания (при неподвижном роторе), Ом;

$s_a$  – абсолютное скольжение;

$\mu$  – относительный момент механической характеристики АД, о.е.;

$M$  – расчётный момент механической характеристики АД, Н·м;

$\omega$  – текущее значение угловой скорости ротора АД,  $c^{-1}$ .

$I_1$  – расчётный ток статора АД электромеханической характеристики, А;

$I'_2$  – расчётный ток ротора, приведенный к обмотке статора, А;

$R(\alpha, s_a)$  – активное сопротивление АД при данном абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ , Ом.

$X(\alpha, s_a)$  – индуктивное сопротивление АД при данном абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ , Ом.

$U$  – изменяемое напряжение питания на обмотках статора АД при частотном регулировании для  $\Psi_2 = \text{const}$ , В.

Рассматривая эти законы регулирования, построим для каждого из законов механические и электромеханические характеристики вначале для номинального режима ( $f_H = 50$  Гц) на примере двигателя серии АИР с техническими характеристиками, приведенными в (табл. 1).

Таблица 1 - Технические характеристики электродвигателя АИР 160S2

Р, кВт	$n_H, \text{мин}^{-1}$	КПД, %	$\cos \varphi$	$\lambda_r = \frac{I_{II}}{I_H}$	$\lambda_n = \frac{M_{II}}{M_H}$	$\lambda_{MAX} = \frac{M_K}{M_H}$	$\lambda_{MIN} = \frac{M_{MIN}}{M_H}$
15	2930	88,7	0,89	7,0	2,1	3,0	2,0

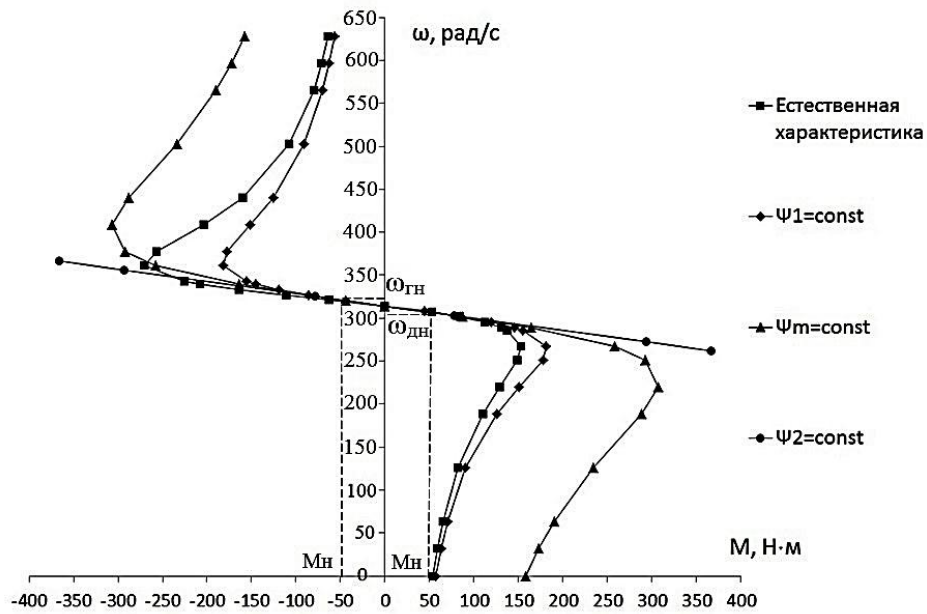


Рис. 3. Механические характеристики  $M=f(\omega)$  (естественная,  $\Psi_1 = const$ ,  $\Psi_m = const$ ,  $\Psi_2 = const$ ) для двигателя АИР160S2

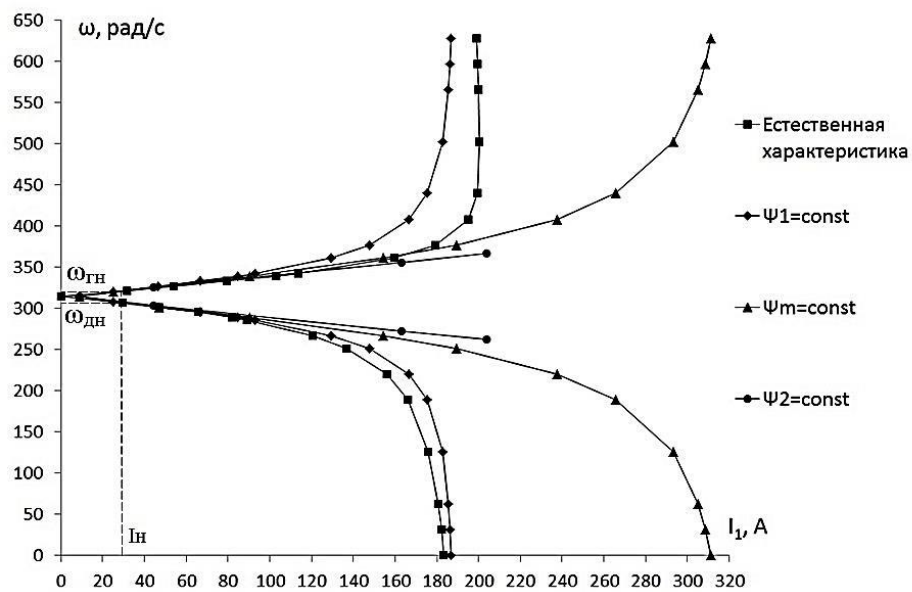


Рис. 4. Электромеханические характеристики  $I_1=f(\omega)$  (естественная,  $\Psi_1 = const$ ,  $\Psi_m = const$ ,  $\Psi_2 = const$ ) для двигателя АИР 160S2

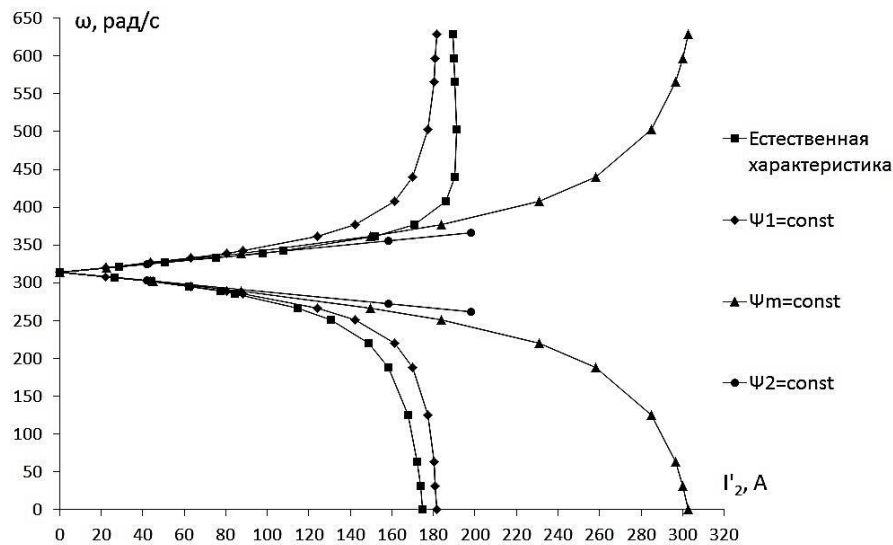


Рис. 5. Электромеханические характеристики  $I'_2=f(\omega)$  (естественная,  $\Psi_1=const$ ,  $\Psi_m=const$ ,  $\Psi_2=const$ ) для двигателя АИР 160S2

Из полученных характеристик рассчитанных и построенных при номинальной частоте сети 50 Гц (рис.3...рис.5) видно, что критический момент АД при частотном управлении по закону  $\Psi_1=const$  близок к критическому моменту двигателя на естественной характеристике, то же самое можно сказать и про токи. При законе  $\Psi_m=const$  критический момент значительно превышает критический момент на естественной механической характеристике. При частотном управлении по закону  $\Psi_2=const$  критический момент на механической характеристике отсутствует, характеристика линейна и может строиться только для рабочей части характеристики, т.е до момента равного  $1,5 \dots 2 \cdot M_n$ , так как дальнейшее увеличение момента невозможно реализовать из-за значительного увеличения тока обмоток статора.

Для того, что бы проанализировать характеристики при изменении частоты  $f_1$  питающего напряжения  $U_1$  для двигателя АИР 160S2 построим искусственные характеристики (рис.6...рис.8) при значениях частот напряжений обмотки статора 50,25,10 и 5 Гц.

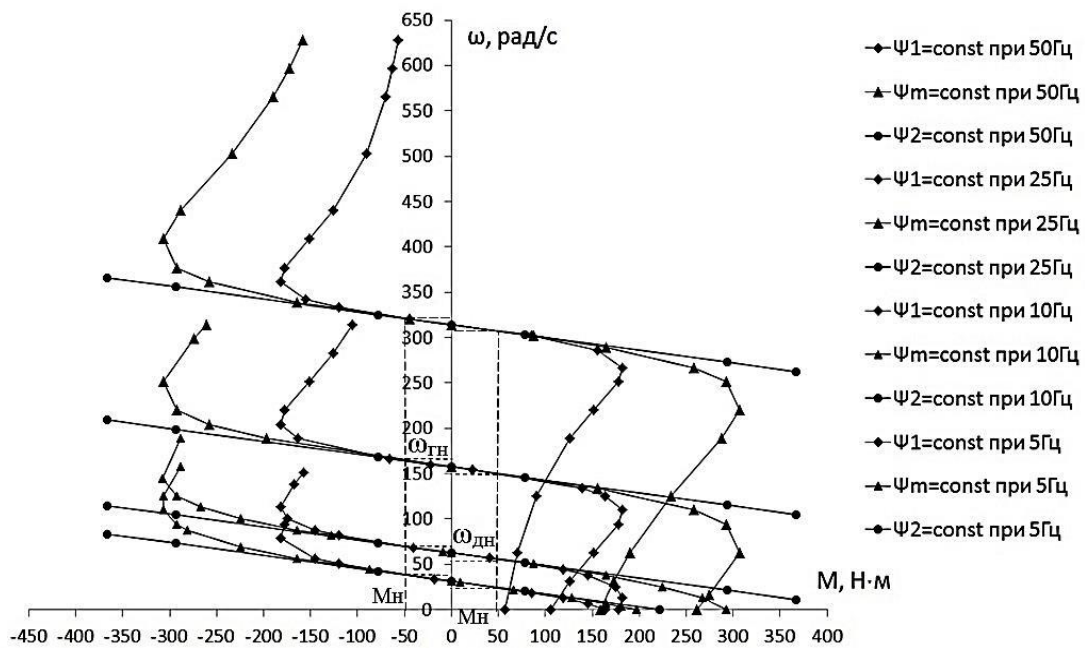


Рис. 6. Механические характеристики при разных значениях частот напряжений обмотки статора  $M=f(\omega)$  ( $\Psi_1 = const, \Psi_m = const, \Psi_2 = const$ ) для двигателя АИР 160S2

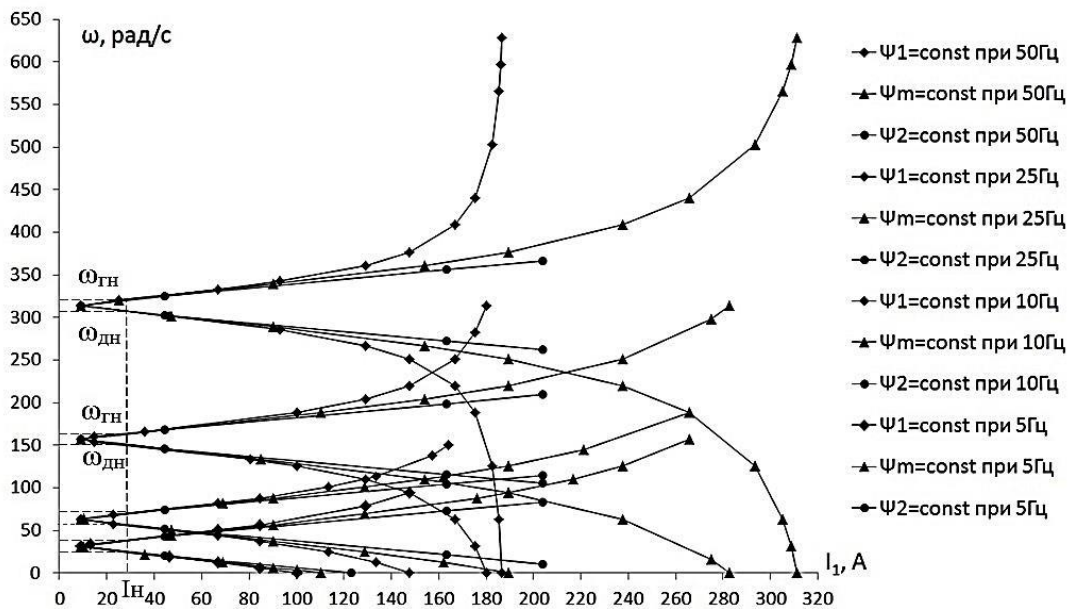


Рис. 7. Электромеханические характеристики при разных значениях частот напряжений обмотки статора  $I_1=f(\omega)$  ( $\Psi_1 = const, \Psi_m = const, \Psi_2 = const$ ) для двигателя АИР 160S2

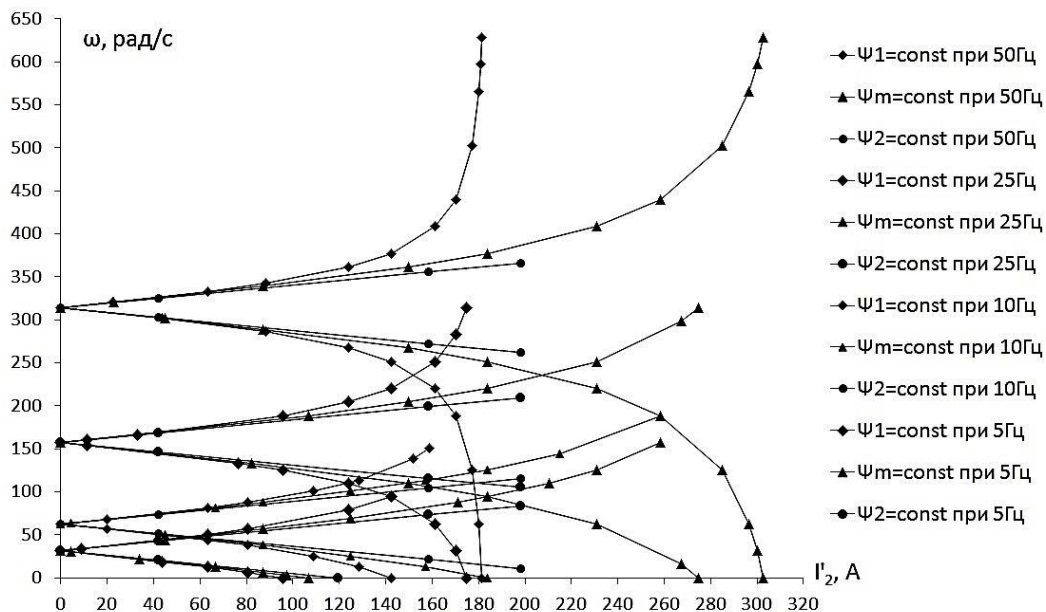


Рис. 8. Электромеханические характеристики при разных значениях частот напряжений обмотки статора  
 $I_2=f(\omega) (\Psi_1=const, \Psi_m=const, \Psi_2=const)$  для двигателя АИР 160S2

Как видим из полученных характеристик (рис.6...рис.8) при изменении частоты напряжения обмотки статора механические характеристики смещаются параллельно, т.е. жёсткость механических характеристик остаётся неизменной для всего диапазона относительных частот  $\alpha$ , поэтому все характеристики подобны (конгруэнтны). Из расчётов критических моментов выражения (8) (16) видно, что они не зависят от частоты статора и одинаковы как в двигательном, так и в генераторном режиме.

**Выводы.** Проведённые расчёты показывают, что при ограничении тока статора в пределах  $1 \dots 1,5 I_{1н}$  наибольший момент развивает АД, управляемый по закону  $\Psi_2=const$  за ним идёт управление по законам  $\Psi_m=const$   $\Psi_1=const$ , хотя следует признать, что разница в развиваемых моментах при этом незначительна. Механические характеристики АД при одинаковом ограничении тока статора в указанном пределе практически совпадают друг с другом, т.е. идентичны. Следовательно, при разработке методик расчёта частотно-регулируемого асинхронного электропривода для производственных механизмов, расчёт механических и электромеханических характеристик в пределах указанного диапазона изменения тока статора может производиться при любом законе стабилизации потока возбуждения АД.

*Литература*

1. *Виноградов А.Б.* Векторное управление электроприводами переменного тока /А.Б.Виноградов / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2008. - 98 с.
2. *Булгаков А.А.* Частотное управление асинхронными двигателями /А.А.Булгаков//– М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.
3. *Сабинин Ю.А.* Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы /Ю.А.Сабинин, В.Л.Грузов// – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 126 с.
4. *Эпштейн И.И.* Автоматизированный электропривод переменного тока. – М.: Энергоиздат. – 1982. – 192 с.
5. *Фираго Б.И.* Теория электропривода / Б.И.Фираго, Л.Б.Павлячик// – М.: Техноперспектива, 2007. – 588 с.
6. *Фираго Б.И.* Расчёты по электроприводу производственных машин и механизмов: учебное пособие. – Минск: Техноперспектива, 2012. –639с.
7. *Прищепов М.А.*. Расчёт статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном регулировании скорости и стабилизации потока возбуждения статора /М.А.Прищепов, Д.М.Иванов, Е.М. Прищепова //Агропанорама, 2016. - №6. – с.20-30.
8. *Чернышев А.Ю.* Электропривод переменного тока /А.Ю.Чернышев, Ю.Н.Дементьев, И.А.Чернышев// учебное пособие; Томский Политехнический Университет. - Томск: Издательство Томского Политехнического университета, 2011. - 203 с.
9. *Прищепов М.А.* Расчёт параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным и построение их естественных механических и электромеханических характеристик /М.А.Прищепов, Д.М.Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама, 2016.-№5.-с. 20-32.
10. Асинхронные двигатели каталог ОАО «Могилёвский завод «Электродвигатель» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mez.by>. – Дата доступа: 15.01.2018г.



**РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНИХ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ В  
РУШІЙНОМУ І ГЕНЕРАТОРНОМУ РЕЖИМАХ ПРИ  
ЧАСТОТНОМУ КЕРУВАННІ**

М.А.Прищепов, О.М.Прищепова, Д.М.Іванов

*Анотація*

У статті розглянуто питання, що стосуються частотно-регульованого асинхронного електроприводу. Наведено основні статичні закони частотного управління. Для найбільш широко поширених законів стабілізації потокозчеплення статора, ротора, взаємодукції розроблені детальні алгоритми розрахунку статичних характеристик АД і проведено їх порівняння.

**CALCULATION OF MECHANICAL AND  
ELECTROMECHANICAL CHARACTERISTICS OF  
ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS IN IMPELLENT  
AND GENERATING MODES AT FREQUENCY  
MANAGEMENT**

M. Prishchepov, O. Prischepova, D. Ivanov

*Summary*

Process breaking-in and tests of mechanical transfers is the important finishing operation at manufacturing and repair of mechanical transfers. The given operation is carried out as idling (without loading), and under loading. In quality mover asynchronous electric drives are used. Thus, the special attention is given mechanical and electromechanical characteristics of these electric drives.

The article deals with questions relating to variable-frequency electric drive. The main static laws of frequency control are given. For the most widespread laws of stabilization of the stator-rotor, mutual induction, detailed algorithms for calculating the static characteristics of an induction motor and their comparison have been developed and compared.





УДК 66.086.2

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ПРОГРАМІ MATLAB

**Дубініна С. В. інженер**

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*Тел. (0619) 42-11-74*

**Анотація.** В роботі надані результати математичного моделювання електричного поля, створеного циліндричними електродами з використанням функції комплексного потенціалу та програмних засобів MATLAB. Представлено лістинг програм для побудови топології потенціалу та напруженості електричного поля.

**Ключові слова** – комплексний потенціал, напруженість, електричне поле, електрод.

*Постановка проблеми.* Розрахунок параметрів електричного поля зустрічається в багатьох задачах електротехніки і електротехнологій, зокрема, при проектуванні електродних водонагрівачів, електросепараторів, електрофільтрів та інших пристроїв електронно-іонної технології [1].

Розрахунок електричного поля для більшості електродних систем, за винятком безкінечних паралельних пластин та коаксіальних циліндрів, викликає значні складності. У зв'язку з тим, що багато прикладних задач потребує аналітичного представлення залежностей складових вектора напруженості електричного поля від координат, розв'язання рівняння Лапласа числовими методами є недостатнім.

Тому є актуальним дослідження аналітичних методів опису електричного поля складних систем електродів з аналізом результатів в програмі MATLAB.

*Аналіз останніх досліджень.* На даний час розроблено ряд математичних методів для вирішення електростатичної задачі: метод Гріна, методи теорії функції комплексної змінної, наближені, числові та інші методи [2,3].

Досить поширеними в електротехніці є електроди у вигляді паралельних циліндрів. В таких електродних системах параметри електричного поля не залежать від однієї з координат, і поля, створені такими електродними системами, можна вважати плоскими.



Розрахунок будь-якого плоского поля зводиться до рішення двомірного рівняння Лапласа при заданих граничних умовах, тобто знаходженню потенціалу  $\varphi(x, y)$ . При розв'язанні задачі Діріхле можуть використовуватися методи теорії функції комплексної змінної, тому що поле, при довжині електродів багато більшій за відстань між ними, можна розглядати як таке, що залежить тільки від двох координат. Одним з цих методів є метод заданого комплексного потенціалу [2].

*Формулювання цілей статті.* Робота направлена на розробку та дослідження в програмі MATLAB математичної моделі електричного поля паралельних циліндрів.

*Основна частина.* Комплексний потенціал електричного поля поза межами циліндричних електродів при умові, коли відстань між осями циліндрів перевищує їх діаметр, задається виразом [2]:

$$W = \frac{i(U_1 - U_2)}{2 \ln D} \ln(z - D) \frac{R}{z}, \quad (1)$$

де  $W$  - комплексний потенціал, В;

$U$  - потенціали електродів, В;

$z$  - комплексна координата, м;

$D$  - відстань між осями циліндрів, м;

$R$  - радіус циліндрів, м.

Для визначення напруженості електричного поля з використанням заданої формулою (1) комплексного потенціалу використовується формула [1]:

$$\vec{E} = -i \frac{dW}{dz}. \quad (2)$$

Для розрахунку складових вектора напруженості електричного поля за формулою (2) необхідно взяти похідну від комплексного потенціалу, з якої виділити дійсну та уявну частини, після цього отрима-



ти комплексно спряжену величину. Після помноження отриманої функції на  $-i$ , буде знайдена комплексна функція від координат. Дійсна частина функції буде відповідати  $X$ - складовій напруженості поля, а уявна -  $Y$ - складовій. Наведений алгоритм дуже часто приводить до складних громіздких виразів, що суттєво ускладнює розв'язання електростатичної задачі. В таких випадках доцільно використовувати програмні засоби MATLAB.

Ще більше ускладнюється задача, коли потрібно знайти вирази для сили, яка діє на поляризовану частинку в неоднорідному електричному полі [4]:

$$\vec{F} \equiv \frac{dW_z}{dz} \overline{\frac{d^2W_z}{dz^2}} \quad (3)$$

Для побудови топології електричного поля та поля сил візьмемо першу та другу похідні від комплексного потенціалу:

$$\frac{dW_z}{dz} = i \frac{D(U_1 - U_2)}{\frac{2 \ln D}{R} z(z - D)}; \quad (4)$$

$$\frac{d^2W_z}{dz^2} = -i \frac{D(U_1 - U_2)(2z - D)}{\frac{2 \ln D}{R} z^2(z - D)^2}. \quad (5)$$

Отримані формули дозволяють побудувати в програмі MATLAB розподіл потенціалу в міжелектродній області, складові вектора напруженості електричного поля та вектора сил, що діє на поляризовані частинки. Для цього використовувались наступні оператори MATLAB: «conj»- перетворення в комплексно спряжену функцію; «real» - виділення дійсної частини комплексної функції; «imag» - виділення уявної частини комплексної функції [5].

Лістинги програми для візуалізації потенціалу, складових напруженості електричного поля та складових сили показані в таблиці 1. Отримані за результатами моделювання залежності при  $U_1 = 0\text{В}$ ,  $U_2 = 1\text{В}$ ,  $D=0,1\text{ м}$ ,  $R=0,01\text{ м}$  представлені на рис.1.

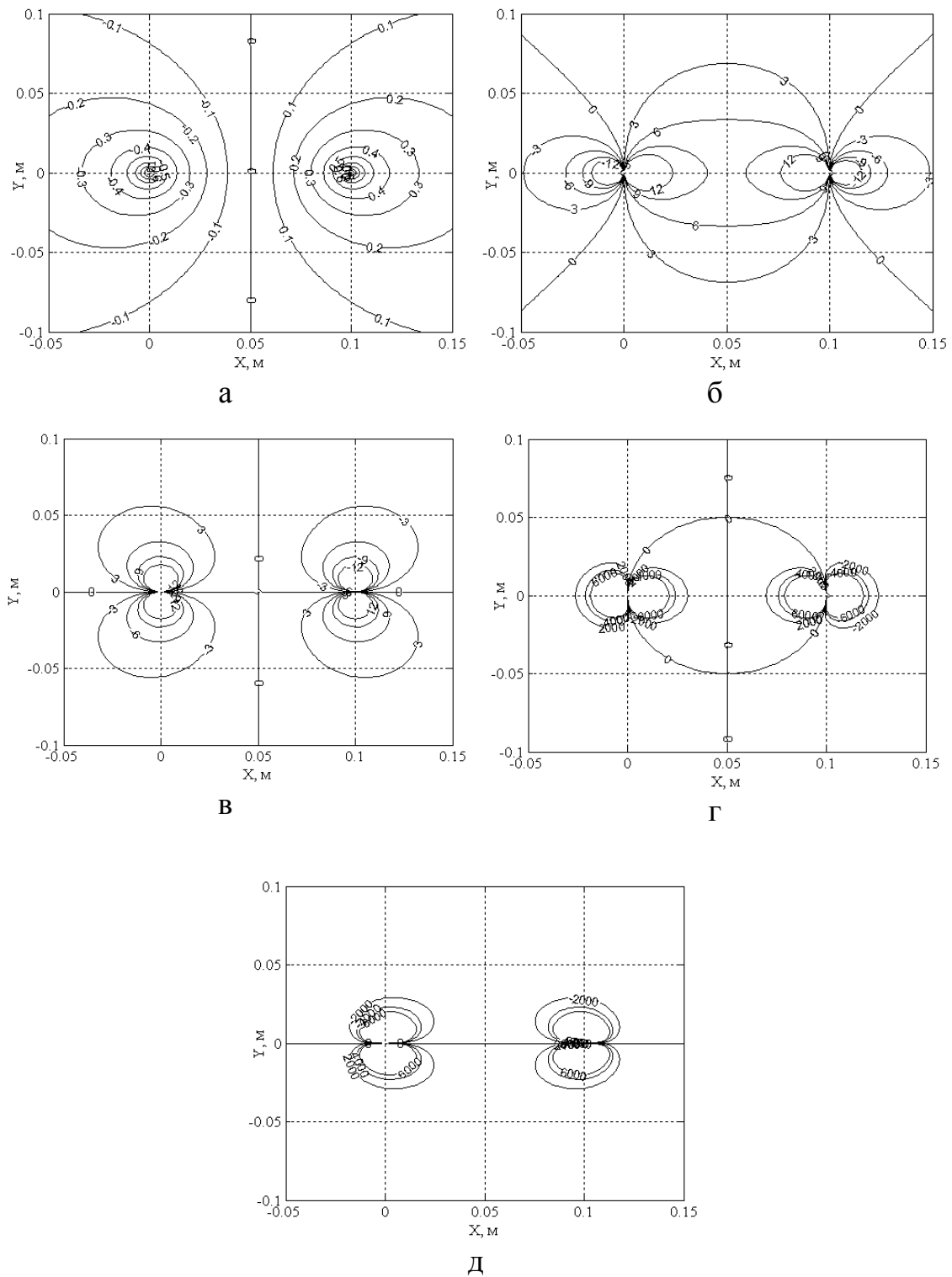


Рис. 1. Результати моделювання електричного поля:

- а - потенціал електричного поля;
- б - X- складова напруженості електричного поля;
- в - Y- складова напруженості електричного поля;
- г - X- складова сили;
- д - Y- складова сили



Таблиця 1

## Лістинг програми MATLAB для розрахунку параметрів електричного поля

Параметр	Лістинг
Потенціал	<pre>[x,y]=meshgrid(-0.05:0.002:0.15,-0.1:0.002:0.1); z=x+i*y; U1=0; U2=1; D=0.1; R=0.01; W=0.5*i*((U1-U2).*log((z-D)./z))./log(D/R) F=real(z); S=imag(z);N=imag(W);g=-1:0.1:1; [c,h]=contour(F,S,N,g);</pre>
Напруженість	<pre>[x,y]=meshgrid(-0.05:0.002:0.15,-0.1:0.002:0.1) z=x+i*y;U1=0; U2=1; D=0.1; R=0.01; W1=conj(0.5*D*((U1-U2)./log(D/R))./(z-D)./z); F=real(z);S=imag(z);N=real(W1);g=-12:3:12 [c,h]=contour(F,S,N,g);</pre>
Сила	<pre>[x,y]=meshgrid(-0.05:0.002:0.15,-0.1:0.002:0.1) z=x+i*y;U1=0; U2=1; D=0.1; R=0.01 W1=i*0.5*D*((U1-U2)./log(D/R))./(z-D)./z); W2=-i*0.5*D*(U1-U2)*(2*z-D)./log(D/R)./(z-D).^2./z.^2 F=W1.*conj(W2);P=real(z);S=imag(z);N=imag(F) g=-6000:2000:6000; [c,h]=contour(P,S,N,g)</pre>

*Висновки.* Методи теорії функції комплексної змінної та використання програмних засобів MATLAB дозволили визначити параметри електричного поля: потенціал, компоненти вектора напруженості та компоненти вектора сили, що діє на поляризовану частинку як функції координат для циліндричних електродів. Отримані результати у вигляді лістингу програми можуть бути використані при проектуванні електротехнологічних установок, в яких використовується електричне поле.

*Література*

1. Живописцев Е. Н. Электротехнология и электрическое освещение / Е. Н. Живописцев, О. А. Косицын. - М.: Агропромиздат, 1990. - 303 с.
2. Миролубов Н.Н. Методы расчета электростатических полей / Н.Н. Миролубов, М.В. Костенко, М.Л. Левинштейн, Н.Н. Тиходеев. - М.: Высшая школа, 1963. - 415 с.
3. Лаврентьев М.А. Методы теории функции комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. - М.: Наука, 1987. - 740 с.
4. Назаренко І. П. Теоретичні дослідження взаємодії електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання. - Мелітополь: ТДАТУ, 2012. - Вип. 12, т. 1. - С. 35-45.
5. Чен К. MATLAB в математических исследованиях / К. Чен, П. Джиблин, А. Ирвинг. - М.: Мир, 2001. - 346 с.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРОГРАММЕ MATLAB

Дубинина С. В

### *Аннотация*

**В работе представлены результаты математического моделирования электростатического поля параллельных цилиндров, которое встречается во многих задачах электротехники. Для аналитического решения задачи использовались методы теории функции комплексной переменной, в частности, метод заданного комплексного потенциала. Получены решения для напряженности поля, градиента напряженности поля и произведения напряженности поля на градиент напряженности. Осуществлена визуализация в программе MATLAB потенциала поля, составляющих вектора напряженности электрического поля и составляющих вектора произведения напряженности поля на градиент напряженности. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании электротехнологического оборудования.**

## MODEL OF THE ELECTRIC FIELD IN THE MATLAB PROGRAMS

S. Dubinina

### *Summary*

**The results of mathematical simulation of the parallel cylinders electrostatic field, which is encountered in many electrical engineering problems, are presented in this paper. For the analytical solution of the problem, the methods of the theory of a complex function variable were used, in particular, the method of a given complex potential. Solutions are obtained for the field strength, the field strength gradient, and the product of the field strength by the intensity gradient. The field potential visualization in the MATLAB program is carried out that make up the electric field strength vector and the multiplication of product field strength and product components on the intensity gradient. The obtained results can be used in the design of electrotechnological equipment.**



УДК.629.114.2.075

## ВДОСКОНАЛЕННЯ СІМПЛЕКС МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ НЕЛДЕРА-МІДА З АПРОБАЦІЄЮ В БАГАТОВИМІРНОМУ ФАКТОРНОМУ ПРОСТОРИ

**Петров В.О. к.т.н.,**

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*Тел.: (0619) 42-57-97*

**Анотація** - Робота посвячена аналізу сукупності фундаментальних математичних і чисельних методів, орієнтованих на знаходження і ідентифікацію найкращих варіантів з безлічі альтернатив і дозволяють уникнути повного перебору і оцінювання можливих варіантів. У роботі представлена схема оптимізаційного пошуку в загальному вигляді та визначено ряд умов щоб представити завдання в придатній формі. Наведено класифікацію методів багатовимірної оптимізації, які, за своєю стратегією, носять ітераційний характер. Зазначено на переваги методів прямого пошуку, заснованих на обчисленні (визначенні) тільки значень цільової функції. Представлена еволюція симплекс методики для двовимірного пошуку на підставі демонстраційних схем (Симплекс - це сформований зразок в факторному просторі, що містить базову точку і кілька пробних точок.) і в тому числі більш досконалу стратегію прямого пошуку методом Нелдера-Міда. Пропонується вдосконалення методу Нелдера-Міда за рахунок наближення його до градієнтних методів. Для цього, при визначенні напрямку пошуку, необхідно враховувати вагову складову «якості» вершин симплекса щодо «гіршої» точки. Для цього формулу обчислення координат центру ваги потрібно проводити за модифікованою формулою.

**Ключові слова** – Методи оптимізації, параметри варіювання, симплекс, градієнт, вагова складова «якості», інтервал варіювання, цільова функція, ітерація.

*Постановка проблеми.* У практичній діяльності дослідників, інженерів частіше буває більш корисно визначити не поведінку об'єктів в цілому, а знайти таке поєднання параметрів досліджуваного об'єкта, при якому функціональні показники об'єкта будуть оптимальними.

Методи оптимізації ефективно застосовуються в самих різних областях професійної діяльності. Особливо значних успіхів досягнуто при проектуванні та аналізі роботи глобальних технічних систем. Прискорені темпи впровадження оптимізаційних розробок в інженерну практику обумовлено значним поширенням і інтенсивним вдосконаленням засобів обчислювальної техніки.

Процес оптимізації полягає в основі всієї інженерної діяльності, оскільки класичні функції інженера полягають в тому, щоб, з одного боку, проектувати нові, більш ефективні і менш дорогі технічні системи, а, з іншого боку, розробляти методи підвищення якості функціонування існуючих систем.

В найбільш загальному сенсі теорія оптимізації являє собою сукупність фундаментальних математичних і чисельних методів, орієнтованих на знаходження і ідентифікацію найкращих варіантів з множини альтернатив і дозволяють уникнути повного перебору і оцінювання можливих варіантів.

*Аналіз останніх досліджень.* Вимірність інженерних задач досить велика, а логіка пошукових алгоритмів вимагає від проектувальника наявності фундаментальних математичних знань.

Розглянемо схему досліджень об'єкта в загальному вигляді (Рис.1).

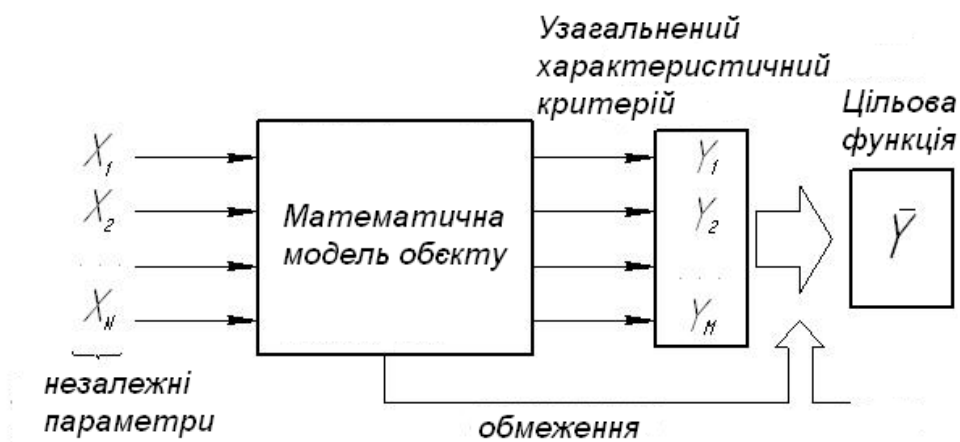


Рис. 1. Схема досліджень об'єкта

У загальному вигляді кількість параметрів може варіюватися від одного до декількох показників. Параметрів функціонування системи об'єкта теж може бути декількох.

Об'єкт може функціонувати в умовах обмеження. Математична модель об'єкта може бути або визначена у вигляді функціоналу, або задана неявно вираженими функціями, або може бути визначена емпіричним шляхом.

Щоб представити завдання в формі, придатній для оптимізаційного пошуку, необхідно виконати ряд умов:

- 1) Виявити, і, по можливості, мінімізувати кількість незалежних



змінних.

2) Визначити граничні значення системи (для кожного параметра визначити інтервал варіювання).

3) Розробити, виходячи з мети оптимізаційного дослідження, єдиний характеристичний критерій та, при цьому, перекопатися в тому, що цільова функція, визначена на основі даного характеристичного критерію, унімодальна. Іншими словами, цільова функція має єдиний екстремум в області варіювання незалежних параметрів.

4) Необхідно мати математичну модель, яка описує зв'язок між змінними і характеристичними критеріями. Якщо цього немає, то, в принципі, оптимізаційні дослідження можна провести на основі безпосереднього експериментування з системою.

*Формулювання цілей статті.*

Метою статті є аналіз оптимізаційних методів багатовимірного пошуку на основі вдосконалення симплекс методу Нелдера-Міда за рахунок наближення його до градієнтних методів.

*Основна частина.*

Методи багатовимірної оптимізації за своєю стратегією носять ітераційний характер. Вони поділяються на:

1) Методи прямого пошуку, засновані на обчисленні (визначенні) тільки значень цільової функції.

2) Градієнтні методи, в яких використовуються точні значення похідних.

3) Методи другого порядку, в яких поряд з першими похідними використовуються також другі похідні функції.

Одним із методів оптимізації є пошук по квадратному зразку (Рис. 2)

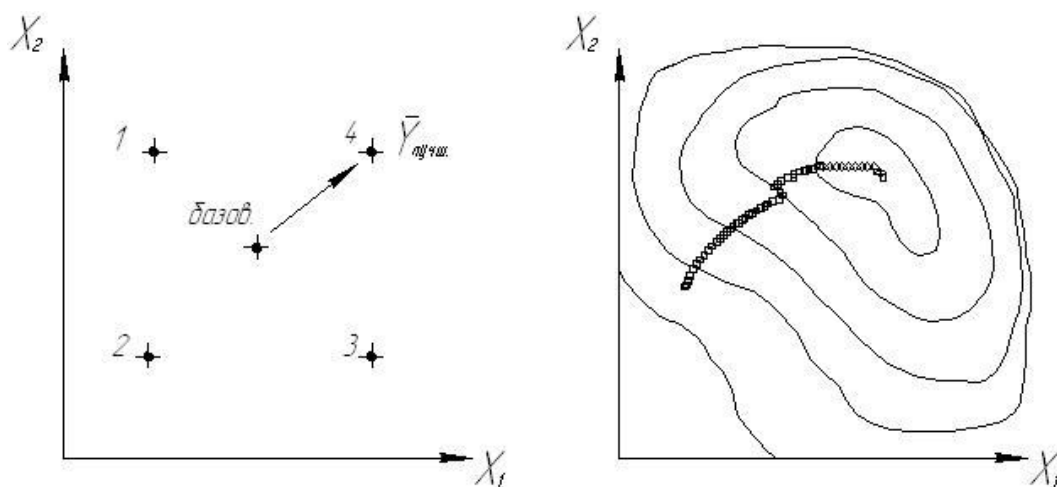


Рис. 2. Пошук по квадратному зразку

Квадратний зразок вимагає для однієї ітерації  $2N + 1$  обчислень цільової функції.

Більш економно використання регулярного симплекса - зразка, що містить  $N + 1$  точок. Для однієї ітерації достатньо обчислення цільової Функції 1 раз (Рис. 3).

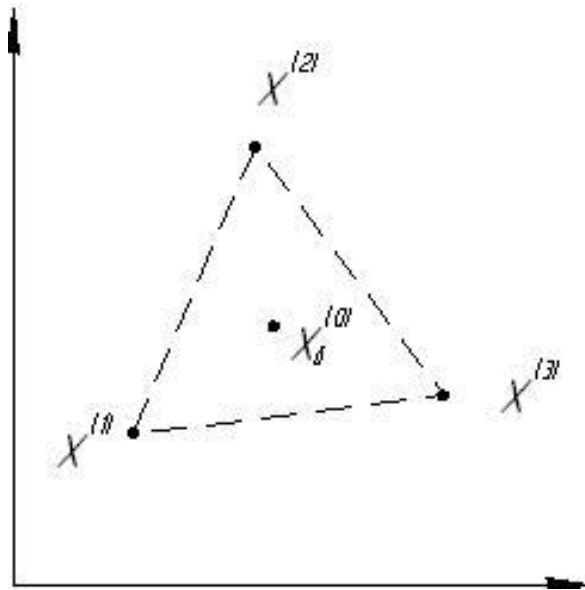


Рис. 3. Побудова регулярного симплекса в двовимірному просторі

$$X^{(i)} = \begin{cases} x_j^{(0)} + \delta_1, & \text{если } j \neq i, \\ x_j^{(0)} + \delta_2, & \text{если } j = i. \end{cases}$$

для  $i = 1, 2, 3 \dots N$ .

Збільшення  $i$  залежать тільки від обраного масштабного множника  $\alpha$  від розмірності факторного простору (Рис. 4).

$$\delta_1 = \left[ \frac{\sqrt{(N+1)} + N - 1}{N\sqrt{2}} \right] \alpha,$$

$$\delta_2 = \left[ \frac{\sqrt{(N+1)} - 1}{N\sqrt{2}} \right] \alpha,$$

при  $\alpha = 1$  ребра симплекса мають одиничну довжину.

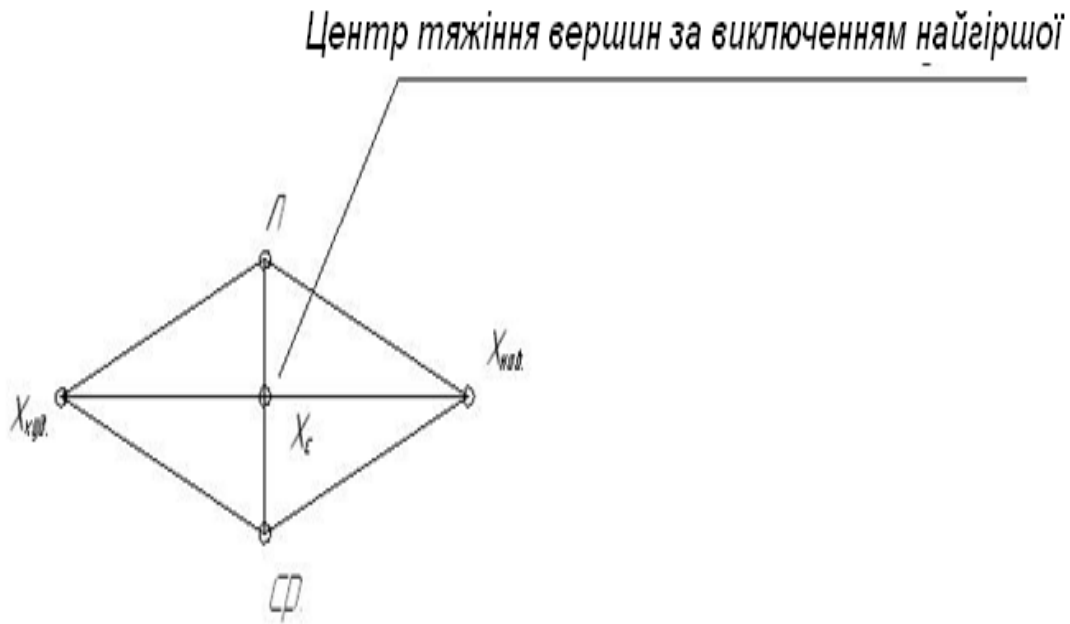


Рис. 4. Схема побудови нового симплекса

$$x_c = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x^{(i)},$$

$$x_{\text{нов}} = 2x_c - x_{\text{худ}}^{(j)}.$$

В результаті ітерацій маємо новий симплекс. Процедура триває до знаходження оптимуму.

Недоліком методу є низька швидкість просування до оптимуму що обумовлює велику кількість ітерацій.

Більш досконалою є стратегія прямого пошуку за методом Нелдера–Мида, автори якого відмовились від регулярності симплексу.

На відмінність від попереднього методу в цьому разі використовується інформація про «якість» нової точки. Значення цільової функції порівнюється з відповідними значеннями у вершинах симплексу, і, в залежності від результату порівняння на рівні пошуку, генерується ще одна, або декілька, нових точок.

Логіка методу відображена в роботі [2]. Алгоритм нараховує п'ять умовних переходів.

Протягом однієї ітерації можливі наступні варіанти перетворення форми симплексу (Рис.5):

- 1). розтягнення;
- 2). відбиття 1;
- 3). відбиття 2;
- 4). стискання 1;
- 5). стискання 2;
- 6). згортання 1;
- 7). згортання 2.

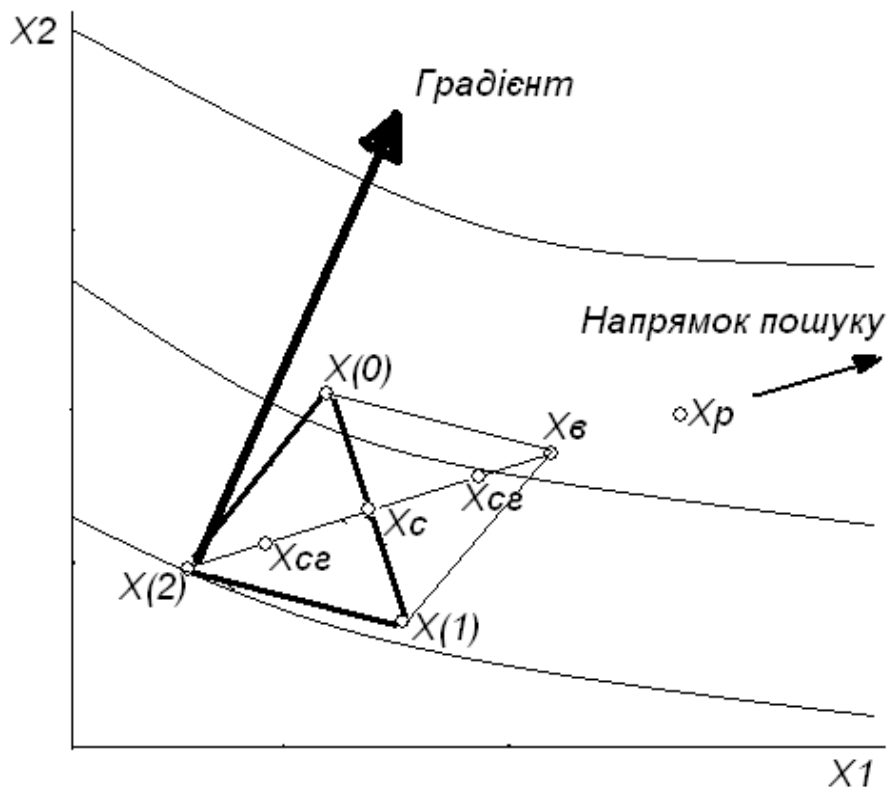


Рис. 5. Схема побудови нового симплекса Нелдера –Міда

Конформність симплексу забезпечує ефективність процедури пошуку оптимуму. Симплекси від ітерації до ітерації розтягуються в напрямку градієнта цільової функції, що значно пришвидшує пошук оптимуму. При наближенні до оптимуму алгоритм ефективно «гальмує» і стискається.

Для подальшого вдосконалення методу Нелдера-Міда є можливість наблизити його до градієнтних методів. Під час проведення ітерації пошук проходить в напрямку від «найгіршої» точки до центру тяжіння всіх інших вершин симплексу.

Пропонується, при розрахунку координат центру тяжіння, враховувати вагову складову «якості» вершин симплексу стосовно «найгіршої» точки.

Для цього формулу обчислення координат центру тяжіння потрібно проводити за модифікованою формулою:

$$x_c = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x^i (F^N - F^i)}{\sum_{i=0}^{N-1} (F^N - F^i)}$$

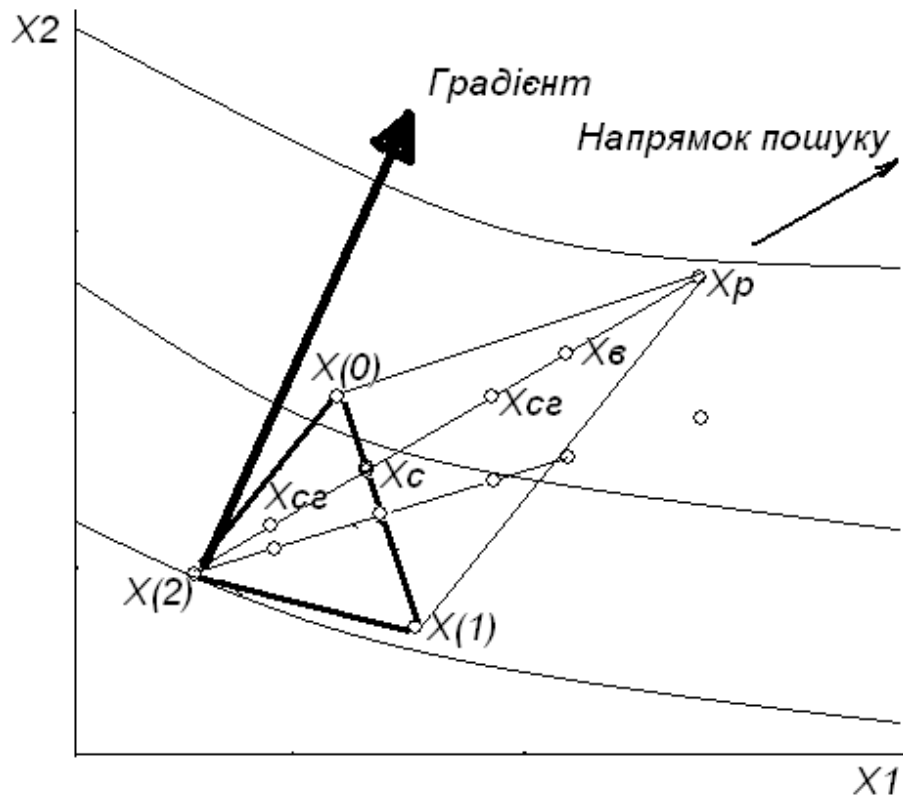


Рис. 6. Схема побудови нового модифікованого симплекса Нелдера –Мида

Як бачимо на рисунку 6 – напрямок пошуку модифікованого методу більш наближений до напрямку градієнта.

Для реалізації запропонованого методу можна надати такі рекомендації:

1. Потрібно створити наступні підпрограми:
  - перестановка двох строк масиву;
  - рангування строк масиву за значенням цільової функції;
  - розрахунку значення цільової функції;
  - розрахунку значення штрафної функції типу квадрату зрізки ( якщо пошук потрібно проводити в умовах обмеження).
2. Зручно використовувати масив розміром  $(N) * (N + 5)$

Ефективність алгоритму була перевірена із використанням пробної функції.

$$F_{\text{пробна}} = \sum_{i=1}^N C_i \cdot X_i^2$$



Метод впевнено працює у факторному просторі  $N=2 \dots 5$ .

У порівнянні з симплекс методом Нелдера-Міда, він сходиться в півтора рази швидше.

#### *Висновки.*

1. Модифікований метод достатньо простий і потребує тільки розрахунку цільової функції.

2. Метод надійно працює навіть у п'ятимірному факторному просторі і є достатньо ефективним та економічним.

3. Метод може бути застосований в різноманітних галузях інженерної практики як для пошуку оптимальних рішень, так і в якості складової програмного забезпечення адаптивних систем автоматизації.

#### *Література*

1. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Г.Реклейтис, А.Рейвиндран, К.Рэгсдел// в 2-х кн. Кн.1, М., Мир, 1986.
2. Петров В.А. Улучшение управляемости с/х МГА /В.А.Петров// Дис. Канд. техн. Наук.- Москва,1989.-178с.

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИМПЛЕКС-МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ НЕЛДЕРА-МИДА С АПОБАЦИЕЙ В МНОГОМЕРНОМ ФАКТОРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ.**

**Петров В.А.**

#### *Аннотация*

**В работе сделан анализ совокупности фундаментальных математических и численных методов, ориентированных на нахождение и идентификацию наилучших вариантов из множества альтернатив и позволяющих избежать полного перебора и оценивания возможных вариантов. В работе представлена схема оптимизационного поиска в общем виде и определен ряд условий чтобы представить задачу в пригодной форме. Приведена классификация методов многомерной оптимизации, которые по своей стратегии носят итерационный характер. Указано на преимущества методов прямого поиска, основанных на вычислении (определении) только значений целевой функции. Представлена эволюция симплекс методики для двумерного поиска на основании демонстрационных схем**



(Симплекс – это сформированный образец в факторном пространстве, содержащий базовую точку и несколько пробных точек.) и в том числе более совершенную стратегию прямого поиска по методу Нелдера–Мида. Предлагается усовершенствование метода Нелдера-Мида за счет приближения его к градиентным методам, для чего, при определении направления поиска учитывать весовую составляющую «качества» вершин симплекса относительно «худшей» точки. Для этого формулу вычисления координат центра тяжести нужно проводить по модифицированной формуле.

## IMPROVEMENT OF THE NIELDER-MIDA SIMPLEX-METHOD OF OPTIMIZATION WITH APOBACY IN A MULTIDIMENSIONAL FACTOR SPACE

V. Petrov

### *Summary*

The paper analyzes the aggregate of fundamental mathematical and numerical methods aimed at finding and identifying the best variants from a variety of alternatives and avoiding a complete search and evaluation of possible options. The paper presents a scheme of optimization search in general form and defines a number of conditions to present the problem in a suitable form. The classification of multidimensional optimization methods is given, which, according to their strategy, are iterative in nature. The advantages of direct search methods based on the calculation (definition) of only the values of the objective function are pointed out. The evolution of a two-dimensional simplex procedure for the search based on the demonstration circuits (simplex - is formed by the space pattern in a factor comprising a base point and a number of sampling points.), And including an improved strategy for direct search method Nelder -Mida. Proposed improvements Nelder-Mead method due to its proximity to the gradient method, which, in determining the direction of the search to take into account the weight component of the "quality" of the vertices on the "worst" point. For this, the formula for calculating the coordinates of the center of gravity must be carried out using the modified formula.



УДК 621.311.25:551.521.1

## ГЕЛИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО С КОНЦЕНТРАТОМ ЭНЕРГИИ

Стручаев Н.И., к.т.н.,  
Стёпин Ю.А., к.т.н.,  
Перова Н.П., инженер.

*Таврический государственный агротехнологический университет*  
E-mail: perovanatali86@gmail.com

**Аннотация** – предложена конструкция компактных индивидуальных гелиоэлектрических установок на примере гелиоэлектрического устройства с концентратором энергии для нагревания жидкости.

**Ключевые слова** – гелиоэлектрическое устройство с концентратором энергии, нагрев жидкостей, элементы собранные в одном корпусе, стеклопакет.

*Постановка проблемы.* Семидесятые годы XX столетия отмечены сильным мировым энергетическим кризисом. Энергетические катаклизмы послужили толчком к поиску альтернативных источников энергии [1]. Были достигнуты определенные успехи в Америке и странах Западной Европе. Эти успехи можно отнести к значительным в гелиоэнергетике, интенсивнее стала развиваться ветроэнергетика, появились установки по выработке биогаза, больше стали использоваться геотермальные источники, начали строиться объекты малой гидроэнергетики.

Гибкая система освоения новшеств, сильная государственная поддержка, позволили ввести в практику использования нетрадиционные источники энергии, в том числе и объекты гелиотехники в виде гелиоустановок и гелиосистем для нагрева воды [2].

*Анализ последних исследований.* Развитие гелиотехники для нагрева воды в силу объективных причин пошло по пути строительства гелиосистем с отдельными элементами [3] состоящими из: солнечного коллектора, бака накопителя, мембранного расширителя, системы





трубопроводов и других устройств. Эти системы были предназначены для обеспечения горячей водой достаточно крупных объектов с объемом потребления от 120...150 литров воды в сутки и более. В этих случаях брались солнечные коллекторы площадью от 1 м<sup>2</sup> и более. Большинство фирм строят солнечные коллекторы площадью около 2 м<sup>2</sup>, что позволяет получить в течение суток 200...250 литров с одного коллектора. Совмещённые системы [4] пока не получили широкого распространения.

*Постановка задания.* Предложенное устройство с концентратором энергии [5] для гелиоэлектрического нагрева жидкостей это один из вариантов использования солнечной энергии для нагрева жидкостей, (и воды, в частности) в объемах от 150 л. и менее.

Гелиоэлектрические устройства с концентратором энергии предлагаемого объема, позволят начать более широкое и глубокое освоение гелиотехники для бытовых целей.

*Основная часть.* Схема гелиоэлектрического устройства с концентратором энергии приведена на рис. 1. Оно состоит из ряда элементов собранных в едином корпусе. Стеклопакет 1, выполняет функцию прозрачной теплоизоляции и одного из элементов абсорбционного узла приема и преобразования солнечной энергии. 2 - тепловоспринимающая поверхность-абсорбер солнечного коллектора, с помощью которой энергия солнечного излучения улавливается и передается нагреваемой жидкости. Теплоизолирующая перегородка, поверхность которой покрыта материалом с большим коэффициентом отражения тепловой энергии - 3 совместно с абсорбером образует полость, в которой происходит нагревание жидкости и отделяет её от основного объема находящегося в баке-аккумуляторе - 6. Корпус солнечного коллектора, являющийся одновременно корпусом бака-аккумулятора – 5, покрыт теплоизоляцией выполняющей функцию сохранения тепла в нагретой жидкости и препятствует его оттоку в окружающую среду. Корпус – 5, совместно с баком-аккумулятором, стеклопакетом и другими элементами обеспечивают жёсткость всей конструкции, позволяющую ориентировать на солнце всё гелиоэлектрическое устрой-

ство с дополнительными поверхностями для концентрации солнечной энергии за счет поворотных шарнирных узлов.

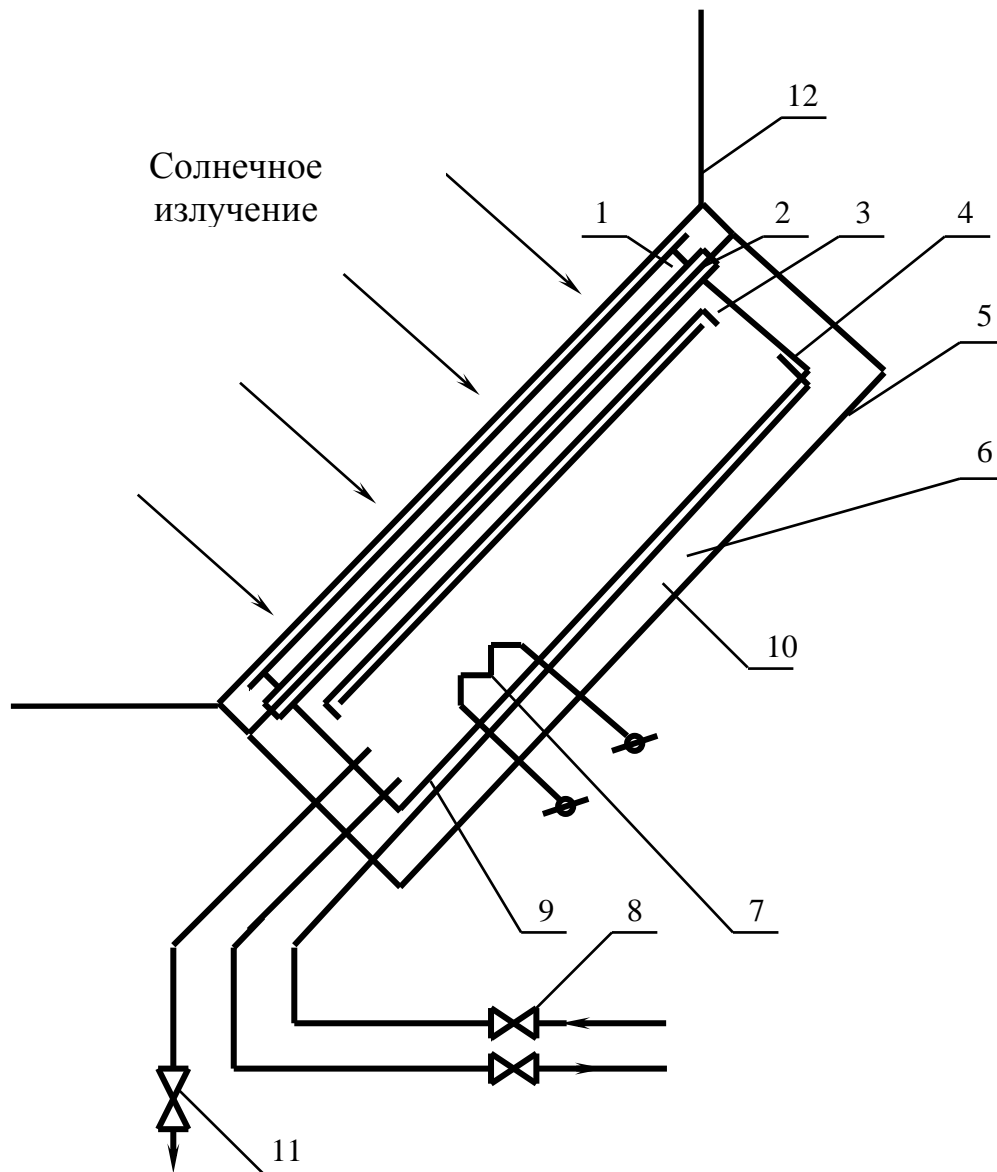


Рис.1. Гелиоэлектрическое устройство с концентратором энергии

1 – стеклопакет, 2 – тепловоспринимающая поверхность-абсорбер солнечного коллектора, 3 – теплоизолирующая перегородка поверхность которой покрыта материалом с большим коэффициентом отражения тепловой энергии, 4 - корпус бака-нагревателя, 5 – корпус солнечного коллектора, являющийся одновременно корпусом бака-аккумулятора, 6 – бак-аккумулятор, 7 - ТЭН с термостатом, 8 - запорный вентиль холодной воды 9 - бак-нагреватель, 10 - слив горячей воды, 11 – вентиль слива, 12 - дополнительные поверхности для концентрации солнечной энергии.



Гелиоэлектрическое устройство работает следующим образом: Через открытый запорный вентиль 8, холодная вода поступает в бак-аккумулятор 6 и заполняет его. Воздух вытесняется из него через дренажный клапан, который на схеме не обозначен, поскольку решение этой задачи не принципиально для данного случая и дренаж может быть выполнен любым способом, применяемым в гидротехнике. Одним из главных условий эффективной работы гелиоэлектрического устройства является заполнение его водой до уровня верхнего среза перегородки 3. Жидкость в полости между перегородкой и абсорбером за счет поглощенной солнечной теплоты нагревается, а благодаря естественной циркуляции поднимается и переливается в верхнюю часть бака. Таким образом, в результате многократного оборота, температура жидкости в баке достигает предельного уровня и стабилизируется. Опыт показывает, что даже при самом упрощенном способе теплоизоляции, температура жидкости превышает температуру окружающей среды на  $7...10\text{ C}^0$ . Более совершенные варианты конструкции обеспечивают температуру горячей воды  $65...90\text{ C}^0$ .

Если температура жидкости не достигла технологической нормы, необходимой для её применения - включается ТЭН - 7 с встроенным термостатом, имеющим настройку по температуре и жидкость нагревается до нормы. Отключение электроподогрева осуществляется автоматически.

При обеспечении постоянного подпора холодной воды, по мере расхода через трубопровод нагретой жидкости -10 будет происходить автоматическое включение и подогрев жидкости. В баке-аккумуляторе необходимо предусмотреть протекторную защиту от коррозии, в противном случае происходит активное разрушение его стенок. При длительном перерыве в пользовании горячей водой - электронагрев рекомендуется отключить от сети.

Гелиоэлектрические установки рекомендуется устанавливать в солнечных местах. Желательно, освещаемых солнцем в течение всего светового дня, хотя боковое освещение мало эффективно. В летнее время угол наклона абсорбера к горизонту принимается равным широте местности. Ориентировка по азимуту принимается прямо на Юг. При такой ориентировке гелиоэлектрической установки, предполагается максимальный результат по нагреву в летний период.



В зимнее время применение установки с использованием солнечного излучения предполагается ограничено. В значительной степени это зависит от широты местности и погодных условий. Практически гелиоэлектрическая установка будет работать как обычный электрический подогреватель жидкости. Во избежание размораживания следует провести утеплительные мероприятия или предусмотреть соответствующее конструктивное исполнение. Качество теплоизоляции и её соответствие требованиям сохранения теплового баланса очень важно и возможные ошибки в её расчетах могут существенно повлиять на эффективность работы устройства.

Годовая доля солнечной энергии – степень замещения газа, в покрытии тепловой нагрузки

$$f_{год} = \frac{\sum_{i=1}^{12} f \cdot Q_M^H}{\sum_{j=1}^{12} Q_M^H}, \quad (1)$$

где  $f_{год}$  – годовая солнечная энергия;

$f$  – месячная доля солнечной энергии;

$Q_M^H$  – месячная величина тепловой нагрузки, Дж.

Месячная доля солнечной энергии в покрытии тепловой нагрузки горячего водоснабжения определяется по формуле

$$f = \frac{Q_M^c}{Q_M^H} = \frac{(Q_M^H - Q_M^D)}{Q_M^H} = 1 - \frac{Q_M^D}{Q_M^H}, \quad (2)$$

где  $Q_M^H$  – месячное количество теплоты обеспечиваемое солнечной установкой, Дж;

$Q_M^D$  – месячное количество теплоты обеспечиваемое дополнительным источником энергии (в данном случае электронагреватель), Дж.

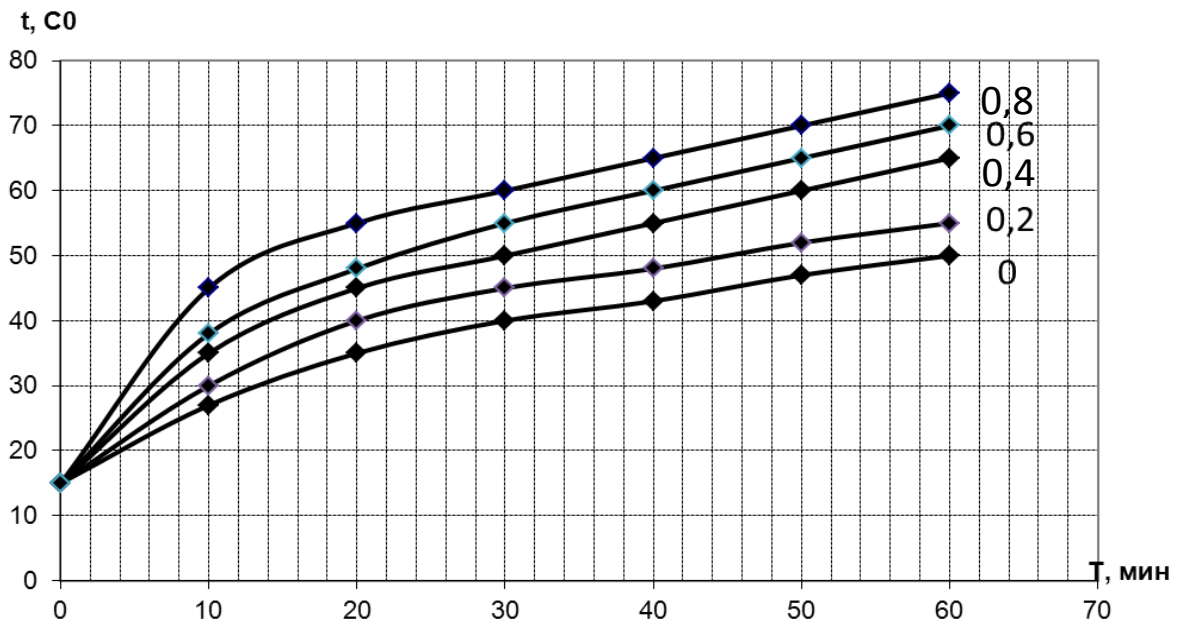


Рис. 2. Экспериментальные исследования нагрева теплоносителя при разных площадях концентрирующей поверхности

Проведены исследования по увеличению общей площади поглощения солнечной энергии за счет введения дополнительных отражателей (концентраторов) гелиоколлектора. Опыты проведены при температуре окружающей среды  $15\text{ C}^0$ . Каждые 10 минут фиксировалась температура нагрева теплоносителя. Установившиеся температура достигалась за 60 минут исследований. На рисунке 2 представлены кривые нагрева теплоносителя, при отсутствии отражателей солнечного излучения температура теплоносителя не превышала  $60\text{ C}^0$ .

Дополнительная площадь поглощения солнечной энергии гелиоколлектором оценивалась коэффициентом  $K_d$ :

$$K_d = \frac{S_d}{S_k} \quad (3)$$

$S_d$  – дополнительная площадь отражателя  $\text{см}^2$ ;

$S_k$  – основная площадь гелиоколлектора  $\text{см}^2$ ;

Максимальная установившаяся температура нагрева теплоносителя была достигнута при коэффициенте  $K_d = 0,8$  ( $75^0\text{ C}$ )



*Выводы.* Использование гелиоэлектрической установки с концентратором энергии в быту эффективнее по сравнению с электрическим водонагревателем того же объема в расчете на год. Эта эффективность тем выше, чем выше реальная среднедневная температура теплого периода года.

Четко определить круг применения гелиоэлектрических установок с концентратором энергии довольно сложно и в этом вопросе следует, давая рекомендации, предполагать что во многих случаях потребитель определит его сам и не исключено, что значительно расширит.

Установка дополнительной площади поглощения солнечной энергии гелиоколлектором позволяет увеличить температуру теплоносителя. При этом дополнительные расходы на установку концентраторов не превышают 5 процентов стоимости гелиоколлектора.

#### *Литература:*

1. *Берковский Б.М.* Возобновляемые источники энергии на службе человека / Б.М.Берковский, В.А.Кузьмиков. – М.: Наука, 1997 г. – 128 с.
2. *Кирюшатов А.И.* Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А.И. Кирюшатов. – М: Агропромиздат, 1991. – С. 3–40.
3. *Корчемный М.* Энергобережения в агропромышленном комплексе / М.Корчемный, В.Федорейко, В.Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001 г. – 564 с.
4. *Сонячний колектор. МПК<sup>7</sup> Г24J2/20.* – Пат. нім. №19945893.6. Опубл. 05.04.01. – 3 с.
5. *Степанова В.Э.* Возобновляемые источники энергии на сельскохозяйственных предприятиях / В.Э. Степанова. – М: Агропромиздат, 1988. – С. 22–63.
6. *Титко Р.* Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко – Варшава – Краків – Полтава, 2010. – С. 71 – 200.
7. *Харченко Н.В.* Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991 г. – 208 с.



## **ГЕЛІОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИСТРІЙ ІЗ КОНЦЕНТРАТОРОМ ЕНЕРГІЇ**

М.І. Стручаєв, Ю.О. Стьопін, Н.П. Перова

### *Анотація*

**Запропонована конструкція компактних індивідуальних геліоелектричних установок на прикладі геліоелектричного пристрою із концентратором енергії для нагріву рідини.**

## **HELIO-ELECTRIC SET WITH CONCENTRATOR OF ENERGY**

N. Struchaev, J. Stjopin, N. Perova

### *Summary*

**In the article is suggested conception of the compact helio-electric set cite as an example helio-electric devise for heating of liquid.**

**Use helio-electric with the concentrator of energy in a life is more effective than installation in comparison with an electric water heater of the same volume counting upon one year.**

**This efficiency the above, than above real среднедневная temperature of the warm period of year.**

**Precisely to define a circle of application helio-electric installations with the concentrator of energy it is rather difficult and in this question follows, giving the recommendation to assume that in many cases the consumer will define it and is possible, that will considerably expand.**

**Installation of the additional area of absorption of a solar energy helio-electric allows to increase temperature of the heat-carrier.**



УДК 664.834

**ТЕРМОСИФОННА ГЕЛІОСУШАРКА****Стручаєв М.І., к.т.н.,****Постол Ю.О., к.т.н.***Таврійський Державний Агротехнологічний Університет**Тел. (0619) 42-23-41*

**Анотація** – Проведено аналіз сушарок для сушіння насіння. Виявлено, що при їх роботі, сушіння відбувається під дією властивостей підігрітого в сушарці повітря, а саме високої температури і низької відносної вологості. Недоліком існуючих сушарок є те, що вони не дозволяють отримати достатньо низьку відносну вологість при помірній температурі, що необхідно при сушінні насіння. Для усунення проблеми виникнення цих недоліків запропоновано методику розрахунку процесу сушки в термосифонній геліосушарці та запропонована модернізована сушарка на яку отримано патент на корисну модель «Термосифонна геліосушарка», в якій реалізовано можливість підвищення ефективності роботи за рахунок попередньої підготовки повітря, а саме за рахунок ведення додаткових елементів попереднього охолодження сушильного агента, що знижує його вологовміст, а також використанню в роботі сушарки теплової енергії ґрунту, та сонячної енергії за допомогою термосифонів.

**Ключові слова** – Термосифонна геліосушарка, сушіння насіння, використання теплової енергії ґрунту та сонячної енергії за допомогою термосифонів, повітряний канал, вентилятор, конденсаційна зона термосифона, охолоджувач-підсушувач, випарювальна зона термосифона, патрубок відведення конденсату, повітряпідігрівач, сушильна камера.

**Постановка проблеми.** В даний час питання економії енергоресурсів є досить актуальним. Використання в якості установки для сушки насіння, елементів холодильних пристроїв набуває важливого значення, враховуючи, що, наприклад, холодильний коефіцієнт складає 2,5...5, а у кращих установок до 8. [1]. Це означає, що можливо зекономити 60...80 % теплової енергії, що витрачається на сушіння.





Тому, однією з основних попередніх операцій перед сушінням є видалення вологи з сушильного агента. Цього можна досягти послідовним пропусканням атмосферного повітря через випарник і конденсатор холодильних пристроїв.

*Аналіз останніх досягнень.* Робота присвячена розгляду питання підготовки сушильного агента шляхом зниження його вологовмісту. Оскільки додатковий охолоджувач-осушувач виконує технологічний прийом зниження вологовмісту сушильного агента, що впливає на наступні операції та їх результат, то його роль пов'язана з основним технологічним процесом сушіння. Існують різноманітні конструкції сушильних апаратів для рослинної сировини, що випускаються машинобудуванням [2,3,4], однак вони не охоплюють усього діапазону зміни параметрів сушильного агента.

До теперішнього часу досить повно охоплені високотемпературні сушильні установки, але сушильні установки ощадливої сушки представлені незначно. Аналіз конструкцій сучасних сушарок для сушіння насіння показав, що при їх роботі, сушіння відбувається під дією властивостей підігрітого в сушарці повітря, а саме високої температури і низької відносної вологості. Недоліком існуючих сушарок є те, що вони не дозволяють отримати достатньо низьку відносну вологість при помірній температурі, що необхідно при сушінні насіння. Відомі також сушарки з попередньою підготовкою повітря [5,6,7], однак вони потребують витрат теплової, механічної, або електричної енергії на попереднє охолодження сушильного агента.

*Формулювання цілей статті.* Для усунення проблеми виникнення цих недоліків запропоновано методику розрахунку процесу сушки в термосифоній геліосушарці та модернізована сушарка, на яку отримано патент на корисну модель «Термосифонна геліосушарка» [8], в якій реалізовано можливість підвищення ефективності роботи за рахунок попередньої підготовки повітря, а саме за рахунок ведення додаткових елементів попереднього охолодження сушильного агента, що знижує його вологовміст, а також використанню в роботі сушарки теплової енергії ґрунту, та сонячної енергії за допомогою термосифонів.

#### *Основна частина.*

Термосифонна геліосушарка для сушіння насіння дозволяє отримувати високоякісне насіння для насінництва з широкого різноманіття насіння овочевих і фруктових рослин з подальшим використанням отриманого насіння для посадки або комерційного обороту різних модифікацій. Насіння сушаться без хімічних

препаратів, з використанням запатентованої нами термосифонної геліосушарки [8]. Термосифонна геліосушарка для сушіння насіння включає повітряпідігрівач, вентилятор, сушильну камеру з решітчастою основою для розміщення насіння, дифузор і патрубков для під'єднання до повітряпідігрівача, згідно пропонованої корисної моделі, вентилятор розміщено перед входом встановленого охолоджувача-підсушувача з патрубком відведення конденсату і загальним повітряпроводом для під'єднання до повітряпідігрівача, повітряпідігрівач виконано у вигляді конденсаційної зони другого термосифона, а охолоджувач-підсушувач виконано у вигляді випарювальної зони першого термосифона і розміщено на шляху потоку повітря до повітряпідігрівача, патрубков відведення конденсату встановлено в нижній частині повітряпроводу, конденсаційну зону першого термосифона вмонтовано на виході з окремого повітряного каналу з вентилятором, випарювальна зона другого термосифона отримує енергію від геліоконцентратора-рефлектора. (рис.1).

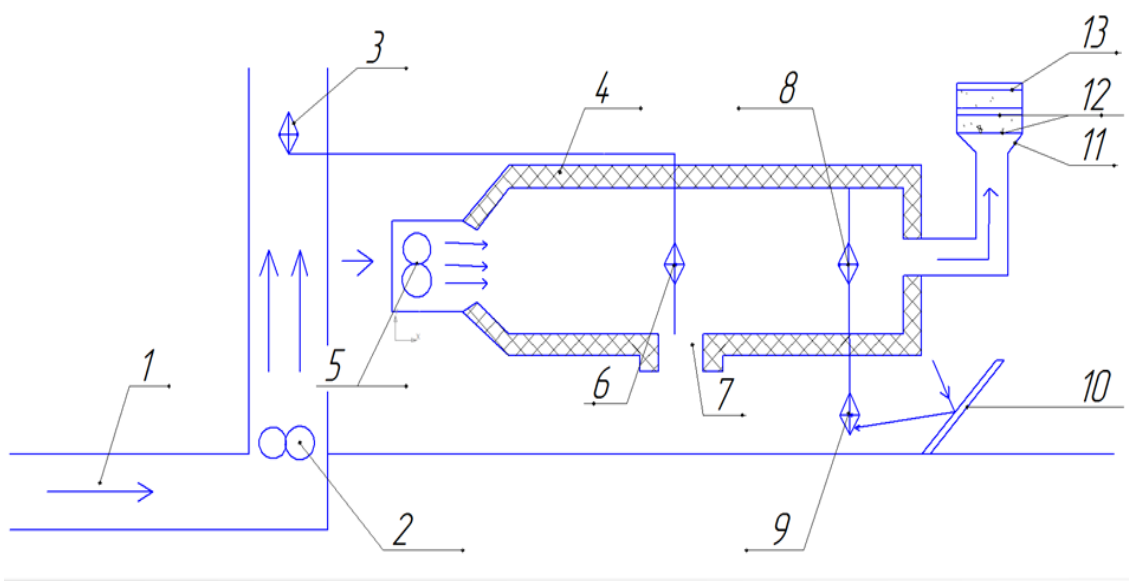


Рис. 1. Схема термосифонної геліосушарки:

1 - повітряний канал, 2 - вентилятор, 3 - конденсаційна зона першого термосифона, яку вмонтовано на виході з повітряного каналу, 4 - загальний повітряпровод, 5 - вентилятор, 6 - охолоджувач-підсушувач, виконаний у вигляді випарювальної зони першого термосифона, 7 - патрубков відведення конденсату, 8 - повітряпідігрівач, виконаний у вигляді конденсаційної зони другого термосифона, 9 - випарювальна зона другого термосифона, 10 - геліоконцентратор – рефлектор, 11 – дифузор, 12 - решітчаста основа, 13 - сушильна камера



Термосифонна геліосушарка для сушки насіння працює таким чином. Повітря, з повітряного каналу 1, під дією вентилятора 2, охолоджує конденсаційну зону 3 першого термосифона, відводячи теплову енергію від охолоджувача-підсушувача 6, виконаного, у вигляді випарювальної зони першого термосифона, та встановленого у загальному повітряпроводі 4, в який, вентилятором 5, подається зовнішнє повітря. При зниженні температури повітря нижче точки роси на охолоджувачі-підсушувачі 6, надлишкова волога випадає у вигляді конденсату водяних парів і відводиться за допомогою патрубку відведення конденсату 7, який розташовано у нижній точці повітряпроводу 4. Охолоджине та підсушине повітря, з якого видалено частину вологи далі рухається до повітряпідігрівача 8, виконаного у вигляді конденсаційної зони другого термосифона, яка з'єднана з випарювальною зоною 9, другого термосифона і отримує енергію від геліоконцентратора - рефлектора 10. Підігріте повітря з низькою відносною вологістю поступає по патрубку та дифузору 11, крізь решітчасту основу 12, сушильної камери 13, де завдяки низькій відносній вологості повітря, з насіння видалається частина вологи і відводиться разом з потоком повітря.

Термосифонна геліосушарка для сушки призначена для безперервного сушіння рослинної сировини, наприклад, насіння злаків, або овочевих культур. Агентом сушки є гаряче повітря, яке охолоджується і підсушується та передає енергію до оточуючого середовища завдяки роботі першого термосифона, який охолоджується повітрям з підземного повітряного каналу. Далі сухе, холодне повітря потрапляє в зону дії другого термосифона і отримує енергію від геліоконцентратора – рефлектора, підігріваючись до необхідної температури, при цьому його відносна вологість зменшується і воно використовується для сушки матеріалу. Висушений матеріал видалається через розвантажувальний отвір.

Для визначення кількості води, яка видалається з повітря, що використовується для сушіння насіння в додатковому охолоджувачі-осушувачі та розрахунку зменшення кількості енергії, необхідної для сушіння насіння шляхом використання термосифонної геліосушарки, в порівнянні зі звичайною, необхідно задатися наступними умовами: для сушіння використовуємо атмосферне повітря при початковій



температурі  $t_1=20$  °С і вологості  $\varphi_1 = 60\%$ . Подальший розрахунок виконуємо за  $Hd$ -діаграмі вологого повітря.

1. По  $Hd$ -діаграмі знаходимо точку «1» на перетині ліній  $t_1=20$ °С і  $\varphi_1=60\%$  і для неї визначаємо вологовміст (вміст води в кубометрі повітря) рівне  $d_1 = 10$  грамів на кг повітря і ентальпію  $H_1 = 42$  кДж/кг.

2. З точки «1» проводимо лінію  $d_1 = \text{const}$  до перетину з лінією  $\varphi = 100\%$ . Це буде точка роси 1'. Від точки 1' по лінії  $\varphi = 100\%$  опускаємося до перетину з ізотермою  $t_2 = 3$  °С отримаємо точку «2». Точка перетину «2» характеризує стан повітря на виході з додаткового охолоджувача-осушувача. У додатковому охолоджувачі-осушувачі, повітря охолоджується нижче точки роси до температури  $t_2 = 3$  °С, вологість його підвищується до  $\varphi_2 = 100\%$ . При цьому його вологовміст дорівнюватиме  $d_2 = 4,7$  г/кг, а ентальпія  $H_2 = 18$ кДж/кг.

Зменшення вологовмісту складе

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 10 - 4,7 = 5,3 \text{ г/кг.}$$

Тобто, при проходженні одного кілограма повітря через додатковий охолоджувач-осушувач, з нього видаляється 5,3 грами води у вигляді конденсату.

3. З точки «2» проводимо лінію  $d_1 = 4,7$  г/кг = const до перетину з ізотермою  $t_3 = 45$ °С, отримаємо точку «3». Точка перетину «3» характеризує стан повітря на виході з повітряпідігрівача, виконаного у вигляді конденсаційної зони другого термосифона, яка з'єднана з випарювальною зоною, другого термосифона і отримує енергію від геліоконцентратора – рефлектора. Для неї визначаємо вологовміст, рівний  $d_3 = 4,7$  грамів на кг повітря і ентальпію  $H_3 = 58$  кДж/кг, вологість повітря знижується до  $\varphi_3 = 7,5\%$ .

4. З точки «3» проводимо лінію  $H_3 = 58$  кДж/кг =const до перетину з лінією постійної відносної вологості  $\varphi_4 = 95\%$ , отримаємо точку «4». Точка «4» характеризує стан повітря на виході з сушильної камери. При цьому його вологовміст дорівнюватиме  $d_4 = 15$  г/кг, а ентальпія  $H_4 = 58$  кДж/кг.



Визначимо зміну вологовмісту вологого повітря, відносно 1 кг сухого повітря в процесі сушіння насіння.

$$\Delta d = d_4 - d_3 = 15 - 4,7 = 12,3 \text{ грам/кг.}$$

Тобто, 1 кілограм повітря може забрати з насіння 12,3 грама води і видалити її у вигляді водяної пари (дуже важливо, щоб пара не сконденсувалася у сушарці або на її виході, тому його відносна вологість повинна бути не нижче  $\varphi_4 = 95\%$ ).

Аналогічно виконуємо розрахунки для процесу сушіння насіння в сушарках без попереднього осушення повітря.

5. Визначимо збільшення продуктивності по відібраній з насіння вологи в сушарці з попереднім осушенням повітря в порівнянні зі звичайною сушаркою:

$$k = \frac{d_{\text{новий}} - d_{\text{звичайний}}}{d_{\text{новий}}} \cdot 100 = \frac{12,3 - 8}{12,3} \cdot 100 = 35\%$$

*Висновки.* В роботі проведено аналіз попередніх досліджень і виявленні недоліки у конструкції сушарок. З метою усунення виявлених недоліків запропоновано методику розрахунку підготовчих операцій перед сушінням насіння. Збільшення продуктивності по відібраній з насіння вологи в сушарці з попереднім осушенням повітря в порівнянні зі звичайною сушаркою, становить близько 35%. Також, в роботі пропонується модернізована сушарка, на яку отримано патент на корисну модель «Термосифонна геліосушарка» [8], в якій реалізовано можливість підвищення ефективності роботи за рахунок попередньої підготовки повітря, а саме за рахунок ведення додаткових елементів попереднього охолодження сушильного агента, що знижує його вологовміст, а також використанню в роботі сушарки теплової енергії ґрунту, та сонячної енергії за допомогою



термосифонів, що значно впливає на економію енергії, що витрачається на сушіння

*Література:*

1. *Большаков С.А.* Холодильная техника и технология продуктов питания: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / С.А. Большаков. – М.: Академия, 2003. – 304 с.
2. *Машины та обладнання переробних виробництв / О.В. Дацишин та ін.* – К.: Вища освіта, 2005. – 155 с.
3. *Наместников А.Ф.* Хранение и переработка овощей, плодов и ягод / А.Ф. Наместников. – М.: Высшая школа, 1972. – 312 с.
4. *Попова И.В.* Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: автореф. дис. к.т.н.: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / И.В. Попова. – Мичуринск: МичГАУ. – 2009. – 21 с.
5. *Стручаев М.І.* Патент.УА, №107561, Пароежекторний сушильний пристрій / Стручаев М.І., Петров В.О., Саплін С.А., опубл. 10.06.2016. Бюл. № 11.
6. *Стручаев М.І.* Патент.УА, №107871, Пристрій сушіння насіння для первинного насінництва / Стручаев М.І., Петров В.О., Тарасенко В.Г., опубл. 24.06.2016. Бюл. № 12.
7. *Стручаев М.І.* Патент.УА, №107799, Пристрій для сушіння насіння / Стручаев М.І., Петров В.О., Тарасенко В.Г., опубл. 24.06.2016. Бюл. № 12.
8. *Стручаев М.І.* Патент.УА, №125146, Термосифонна геліосушарка/ Стручаев М.І., Нікітіна М.Д., Постол Ю.О., опубл. 25.04.2018. Бюл. № 8.

## ТЕРМОСИФОННАЯ ГЕЛИОСУШИЛКА

Н.И.Стручаев, Ю.А.Постол

### *Аннотация*

**Проведен анализ сушилок для сушки семян. Обнаружено, что при их работе, сушка происходит под действием свойств подогретого в сушилке воздуха, а именно высокой температуры и низкой относительной влажности. Недостатком существующих**



сушилок является то, что они не позволяют получить достаточно низкую относительную влажность при умеренной температуре, что необходимо при сушке семян. Для устранения проблемы возникновения этих недостатков предложена методика расчета процесса сушки в термосифонной гелиосушилке и предложена модернизированная сушилка на которую получен патент на полезную модель «Термосифонная гелиосушилка», в которой реализована возможность повышения эффективности работы за счет предварительной подготовки воздуха, а именно за счет ведения дополнительных элементов предварительного охлаждения сушильного агента, снижающего его влагосодержание, а также использование в работе сушилки тепловой энергии почвы, и солнечной энергии с помощью термосифонов.

## THERMOSIPHON SOLAR DRYER

N. Struchayev, J. Postol.

### *Summary*

The analysis of dryers for drying of seeds is carried out. It was found that during their operation, the drying takes place under the influence of the properties of the air heated in the dryer, namely high temperature and low relative humidity. A disadvantage of existing dryers is that they do not allow to obtain a sufficiently low relative humidity at a moderate temperature, which is necessary for drying the seeds.

To eliminate the problem of these drawbacks, a procedure for calculating the drying process in a thermosiphon solar dryer has been proposed, and a modernized dryer has been proposed for which a patent has been obtained for the useful model "Thermosiphon Helio Dryer", in which the possibility of improving the efficiency of work due to preliminary air preparation is realized, namely, by maintaining additional elements pre-cooling drying agent, reducing its moisture content, as well as the use of the dryer thermal energy soil, and solar energy using thermosyphons.